

# INFORME TÉCNICO: SISMO DE 7.2 FRENTE A COSTAS DE USULUTÁN 24 DE NOVIEMBRE DE 2016, 12:43:48 PM HORA LOCAL

*Fecha y hora de emisión: 28 de noviembre 2016, 5:00p m.*

## Generalidades

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) informa sobre actividad sísmica frente a las costas de El Salvador. La Red Sísmica Nacional de El Salvador registró a las 12:43 p.m. de ayer jueves 24 de noviembre de 2016 un sismo magnitud 7.2, con profundidad de 33 km e intensidad máxima de V escala de Mercalli Modificada, ubicado frente a las costas de Usulután y sentido en todo el territorio nacional.

A partir del evento principal, hasta las 16:00 de este día 28 de noviembre de 2016, se han registrado un total de 70 réplicas siendo la de mayor magnitud 5.0. De estas réplicas, 12 han sido reportadas como sentidas por la población, con una intensidad máxima de III. El último sismo sentido ocurrió a las 16:38 de ayer domingo 27 de noviembre, su magnitud fue de 4.4 y su intensidad de II. Hasta la hora de emisión de este informe, el último sismo registrado, no sentido, ocurrió hoy a las 14:57.

Por la magnitud del sismo, el Sistema Nacional de Protección Civil emitió una alerta de Tsunami, ya que se estimó un incremento en la altura del oleaje con énfasis en la zona de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, San Dionisio y Jucuarán en el depto. de Usulután. Esta alerta fue cancelada tres horas después, con base principalmente en los registros mareográficos del MARN. Sin embargo, se recomendó a la población movilizarse lejos de la zona costera

A continuación, se muestran los sismos localizados en el área epicentral de aproximadamente 1000 km<sup>2</sup>, y los parámetros del sismo de mayor magnitud (M7.2), ocurrido el 24 de noviembre de 2015.

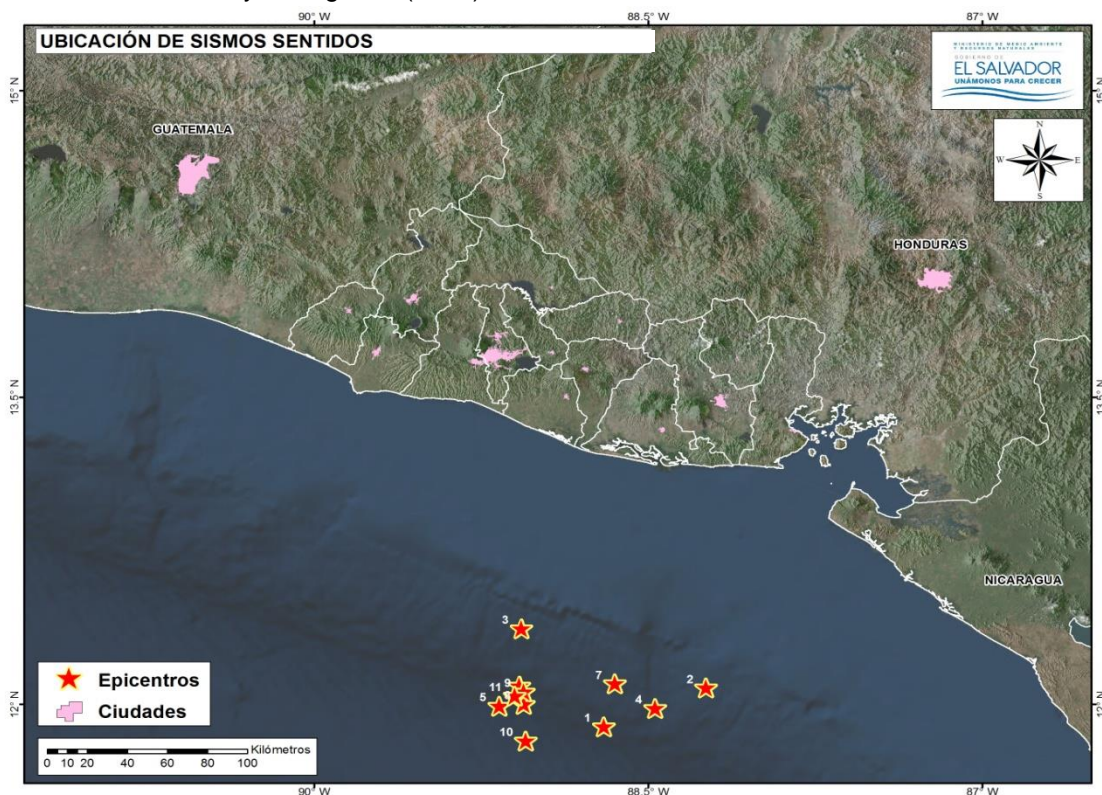


Figura 1 Mapa de sismos sentidos y sismo Principal de M 7.2 (numero 1), frente a costas de Usulután.

## Registro Acelerográfico

A continuación, en la figura 2 se muestra el registro sismográfico de la estación sismográfica instalada en el Cerro El Pacayal, ubicada aproximadamente a 180 km del área epicentral. Este sismógrafo posee un factor de amplificación o ganancia más elevado, permitiendo observar la saturación de la señal en los primeros segundos de registro el evento. Lo anterior, dificulta en la estimación de la exacta duración del evento. Sin embargo, permite apreciar el número de réplicas posteriores al sismo principal.

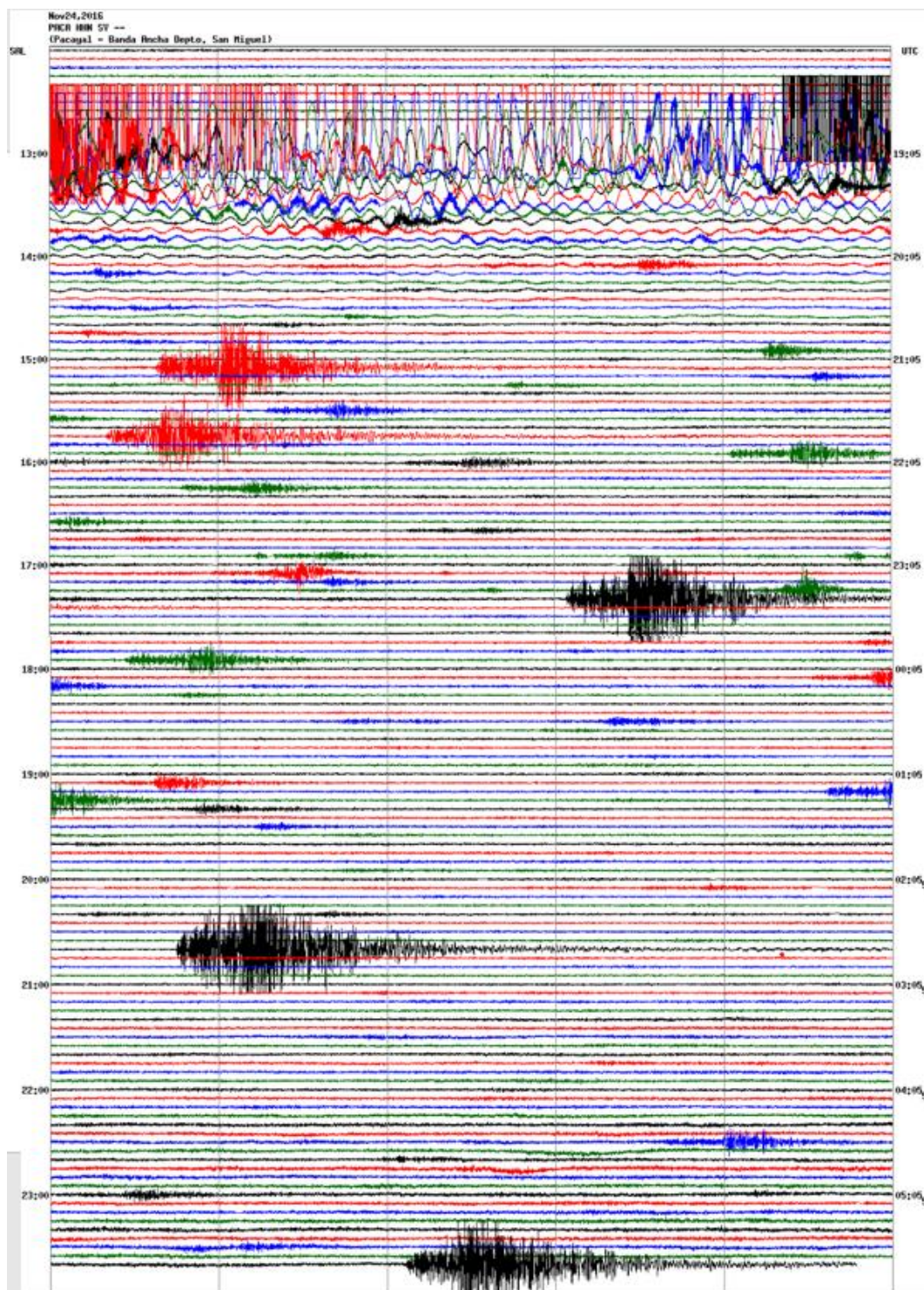


Figura 2 Registro sismográfico en estación sísmica Pacayal (PACA), ubicada aproximadamente a 180 km del área epicentral

Asimismo, en la figura 3 se muestra el registro del sismo extraído de la estación acelerográfica instalada dentro del Campus de la Universidad de San Vicente (UESV) y ubicada aproximadamente a 190 km del área epicentral. Como se puede observar, esta estación al ser un acelerógrafo posee un factor de amplificación muy bajo, apreciándose muy bien la duración tanto de la parte intensa del sismo, como su duración total. Sin embargo, dada la baja amplificación del equipo, no se pueden apreciar las réplicas.

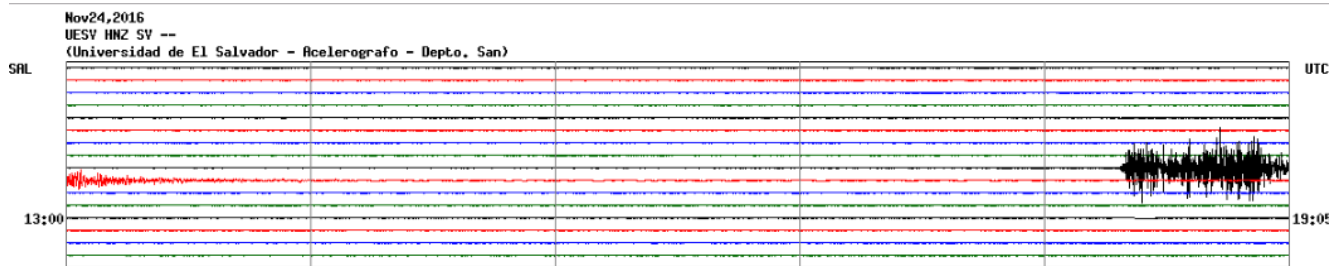


Figura 3 Registro sismográfico en estación acelerográfica de la Universidad de San Vicente (UESV), ubicada aproximadamente a 190 km del área epicentral

### Posible Amenaza por Tsunamis

De acuerdo a los procedimientos de monitoreo por tsunamis del MARN, al observarse una magnitud del sismo superior a 6.5 y una profundidad focal menor a los 50 km; se activa el protocolo por tsunamis dentro del Observatorio Ambiental.

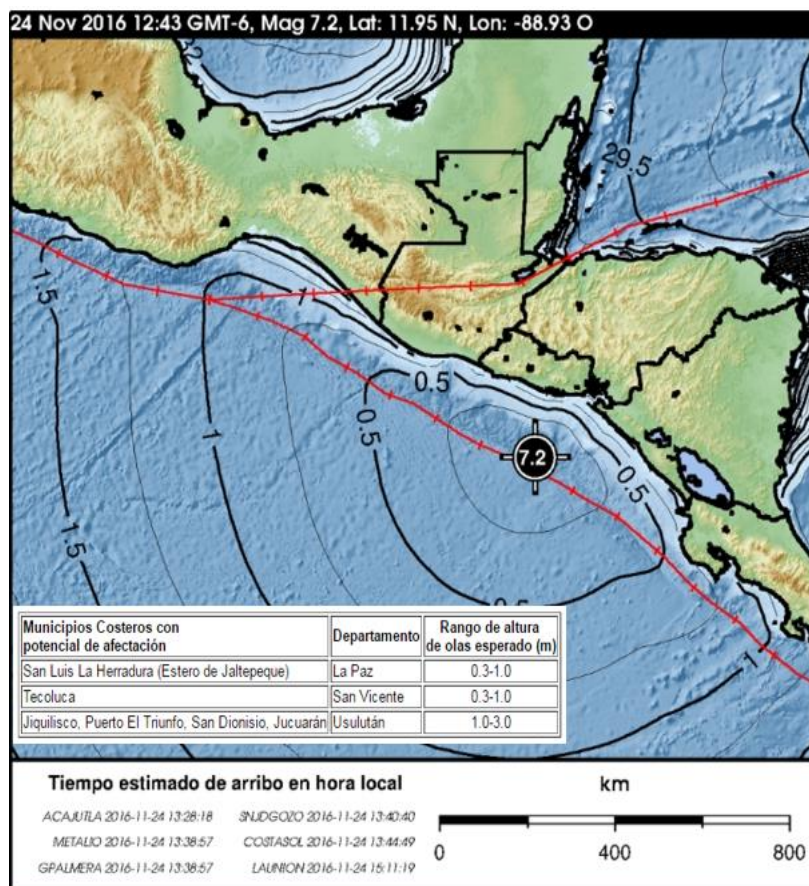


Figura 4. Tiempos de arribo y alturas estimadas para ciertas zonas costeras de El Salvador

Por lo que en un primer momento se envió un informe especial No.1, anunciando que con base en las características del sismo y a la información emitida por el Centro de Alerta de Tsunamis del Océano Pacífico (PTWC por sus siglas en inglés), el MARN estimaba que existía una amenaza de tsunami para la costa de El Salvador.

Asimismo, se estimó una posible variación de la altura del nivel del mar aproximadamente a partir de las **1:28 p.m.**, en las comunidades costeras de los municipios que se listan en la figura 4.

Entre los posibles impactos emitidos fueron: a) Un tsunami de 30 cm a 1 m de altura puede generar fuertes e inusuales corrientes oceánicas, e inundaciones de menor consideración en playas, esteros y bahías, zonas de puertos y muelles,

b) El arribo de las olas será observado cercano al ascenso de la marea, lo cual puede incrementar el grado de afectación de la zona costera.

Durante la emergencia, se utilizaron los productos gráficos del PTWC para corroborar las alturas estimadas de ola que podrían llegar a las costas salvadoreñas. Estas estimaciones tuvieron una buena correspondencia con las alturas estimadas por la aplicación del MARN, la cual contiene ya una base de datos pre-calculada para sismos de acuerdo a su magnitud y ubicación. A continuación, en la figura 5, se muestra el producto gráfico emitido por el PTWC, el cual en dicha estimación se utilizó una magnitud de 6.99 y una profundidad de 16 km.

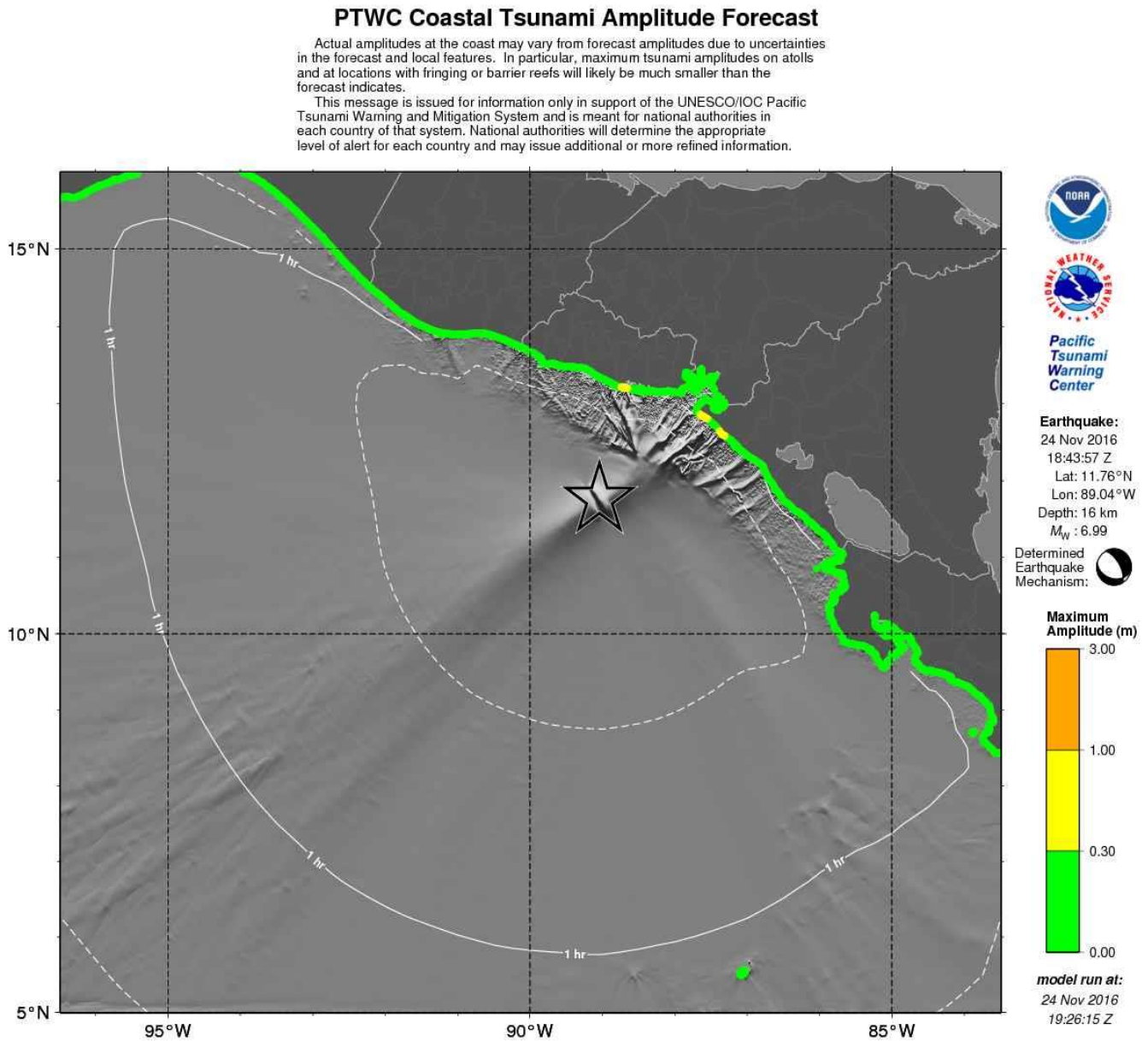


Figura 5. Producto gráfico de estimación de altura de ola por tsunami de sismo con magnitud 7.2

Adicionalmente, durante la alerta de tsunamis se venían obteniendo los registros de los mareógrafos de La Libertad y Acajutla, pertenecientes al MARN; y además se obtuvo la información de una boya (DART 32411) ubicada en aguas profundas, al Oeste de Panamá, a unos 1200 km de la Costa Salvadoreña. Cabe mencionar,

que en el mareógrafo de Acajutla se observó un cambio de 4cm sobre el nivel normal del mar, y en dicha boya se registró un cambio de 6cm. A continuación, en las figuras 6 y 7 se presenta la información suministrada.

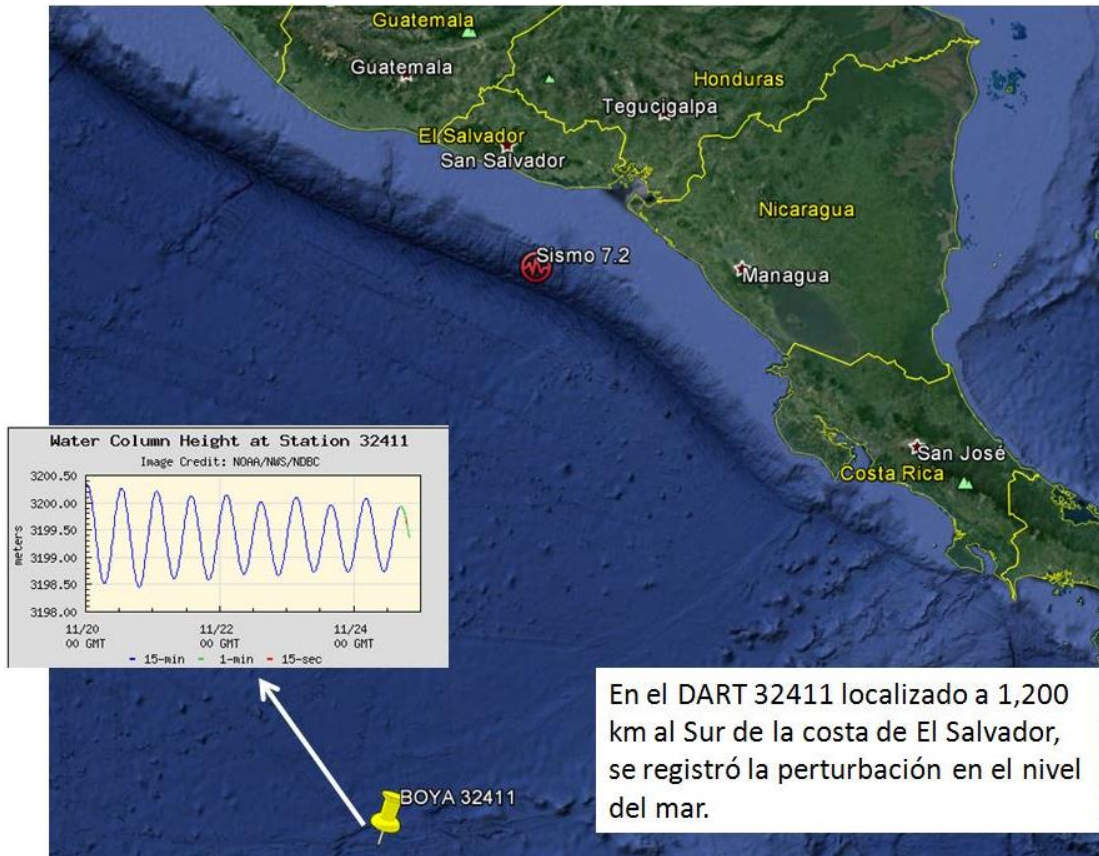
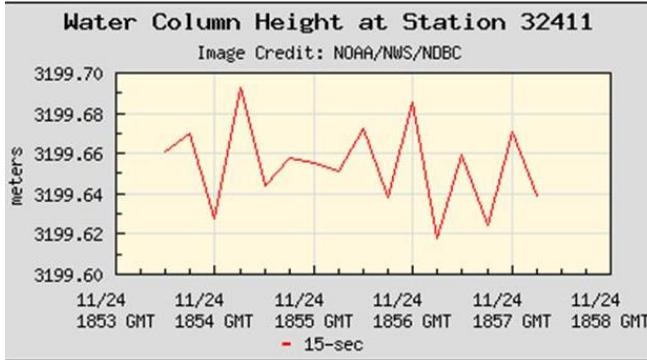


Figura 6. Ubicación de boya DART 32411 que registró una perturbación en el mar, tras sismo de 7.2



A las 12:43 (18:43 GMT) un sismo de magnitud 7.2 y profundidad 33 km generó una perturbación en el nivel del mar que se registró en el DART 32411 a las 12:54 (18:54 GMT) con altura, diferencia de valle a cresta, de 6 cm.

- Plot of 15-second data -



El DART 32411 está localizado en una profundidad de 3,199 m.

A las 12:56 (18:56 GMT) se registro otra variación en el nivel del mar de 6 cm.

Figura 7. Resultados de perturbación en el registro mareográfico de la boya DART 32411

## SISMO DE 7.2 FRENTE A COSTAS DE USULUTÁN 24 DE NOVIEMBRE DE 2016, 12:43:48 PM

Fecha local	Fecha UTC	Hora local	Hora UTC	Magnitud	Profundidad (km)	Latitud N (°)	Longitud O (°)
24-noviembre-2016	24-noviembre-2016	12:43:48	18:43:48	7.2	33.0	11.96	-88.84

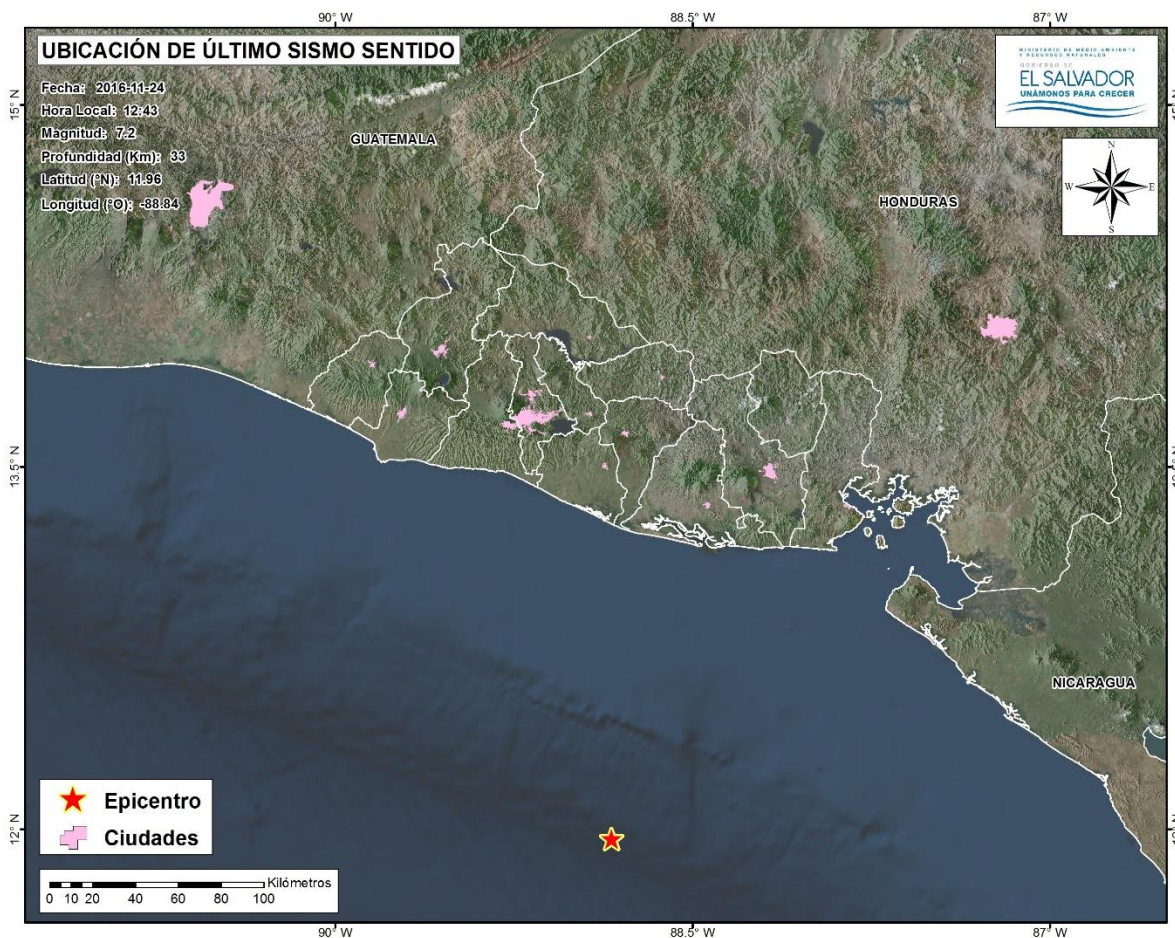


Figura 8 - Mapa de ubicación de epicentro del sismo principal, a escala (1:200,000)

Ciudades Principales
159 km al S de USULUTAN
170 km al S de ZACATECOLUCA
183 km al SSO de SAN MIGUEL
196 km al S de SAN SALVADOR
243 km al SSE de AHUACHAPAN

Poblados
148 km al S de PUERTO EL TRIUNFO
152 km al S de SAN DIONISIO
153 km al S de JIQUILISCO
153 km al S de SAN LUIS DE LA HERRADURA
157 km al SSO de JUCUARAN

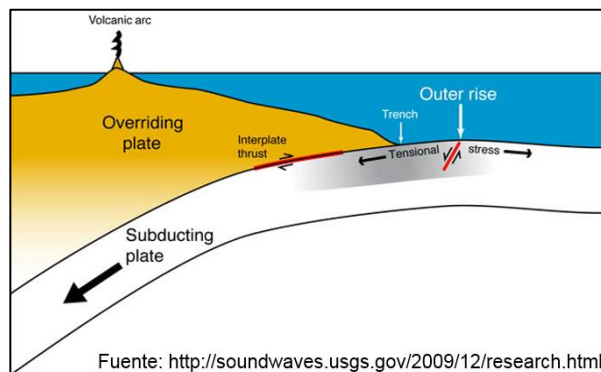
Tabla 1. Distancias y rumbos entre epicentro y localidades cercanas

### **Descripción del sismo**

El sismo del 24 de noviembre del año 2016, con magnitud de 7.2 y profundidad focal de 33 km, se ubicó aproximadamente a 163 km de las costas salvadoreñas. De manera general, este sismo ocurrió como resultado de la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe. Es importante destacar, que el epicentro del sismo principal se ubica muy próximo al límite de la Trinchera o fosa oceánica, así como también sus posteriores réplicas, las cuales algunas se ubican cerca y en las afueras de la misma (Ver figuras 1 y 8). Debido a lo anterior, este sismo se clasifica como de tipo Exterior Emergente, en inglés "Outer-Rise". (ver figura 9)

Estos tipos de sismos suelen ocurrir muy cerca de la trinchera de subducción hacia el sur de la costa centroamericana. El origen de estos sismos obedece especialmente a la deformación que sufre la Placa de Cocos al tratar de sumergirse debajo de la placa continental del Caribe; haciendo que la placa de Cocos sobrelleve un proceso de flexión, llamado en inglés "bending".

En este tipo de sismos es muy común obtener un mecanismo de falla Normal, con profundidades menores a los 50 km; es decir, que el lecho oceánico en vez de levantarse, éste se sumerge. Al realizar el análisis del Centroide del Tensor del Momento Sísmico, se obtiene un mecanismo de Falla Normal, lo cual corresponde al mecanismo típico obtenido para este tipo de sismo Exterior Emergente. Lo anterior es validado aún más con los mecanismos de falla normales obtenidos para las réplicas consecuentes.



Fuente: <http://soundwaves.usgs.gov/2009/12/research.html>  
 Figura 9. Esquema de sismos Exteriores Emergentes (Outer-Rise)

La Trinchera de Centroamérica corre paralela a la costa localizada a 150 km de ésta, donde la placa de Cocos empieza a sumergirse por debajo de la Placa del Caribe, alcanzando profundidades de 300 km por debajo del Istmo Centroamericano. La convergencia entre estas dos placas ha sido calculada en una tasa de 7-8 cm/año alcanzando magnitudes máximas cercanas a 8.1.

Si bien esta zona, difiere en sus mecanismos focales con el de tipos de sismos de Subducción Interfase (Falla Inversa predominante); suele presentar un potencial tsunamigénico considerable; como lo demuestran otras regiones del mundo con similar régimen tectónico. Por ejemplo, los sismos de Japón 1993 (M8.6), Indonesia 1977 (M8.3), Samoa 2009 (M8.1) y Centroamérica 1907 (M7.2). Aunado a esto, de acuerdo al estudio de simulaciones de Tsunamis, realizado por la Universidad Española de Cantabria, se pone de manifiesto la importancia de este tipo de sismos *Outer-Rise* en la generación de eventos tsunamigénicos (Ver figura 10). Por tal motivo, en las primeras horas de sucedido el evento, dada los parámetros de magnitud y localización, el MARN emitió una alerta de tsunami para las costas salvadoreñas, la cual fue acompañada por las organizaciones internacionales como el PTWC y el USGS.

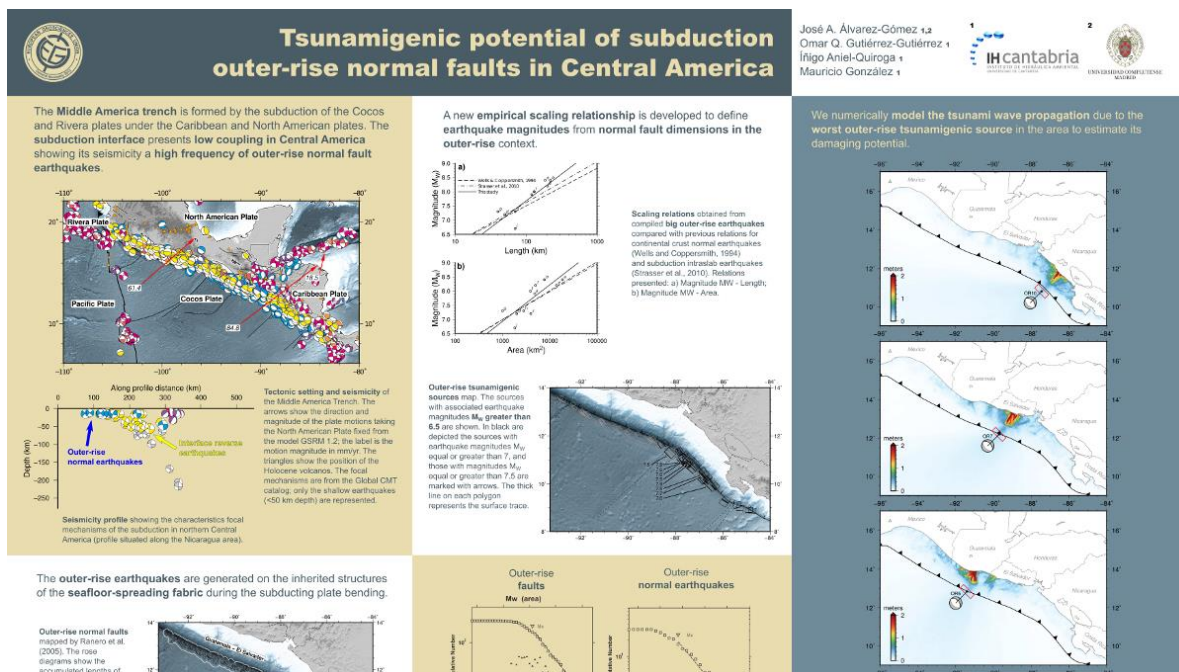


Figura 10. Poster de estudio de Universidad de Cantabria, mostrando simulaciones de tsunamis para eventos de tipo Outer-Rise



## Aspectos técnicos

### Mapa de aceleraciones máximas del terreno

De acuerdo con los modelos de predicción del movimiento fuerte, la intensidad del movimiento disminuye con la distancia, debido a la capacidad del terreno de amortiguar las ondas sísmicas a medida se aleja del área.

A continuación, en las figuras 11, 12 y 13 se muestran los mapas de aceleración máxima estimada del terreno (PGA máximo), para el evento sísmico en cuestión. Se muestra los resultados a nivel nacional y de manera específica para las zonas oriental y paracentral del país. Dichos mapas han sido generados mediante el programa *ShakeMap V3.5*, desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, sus siglas en inglés).

Se obtuvo como resultado un PGA máximo de 300 gales en el área epicentral (en el océano). El PGA máximo registrado en territorio alcanzó un máximo de 60 gales, específicamente en las planicies costeras de Usulután, San Vicente y La Paz.

Cabe mencionar, que la PGA registrada instrumentalmente fue en la estación acelerográfica ubicada en la Universidad Nacional de San Vicente (UESV), con un valor de 34.6 gales. Esta estación se encuentra alejada a 45 km de la Costa.

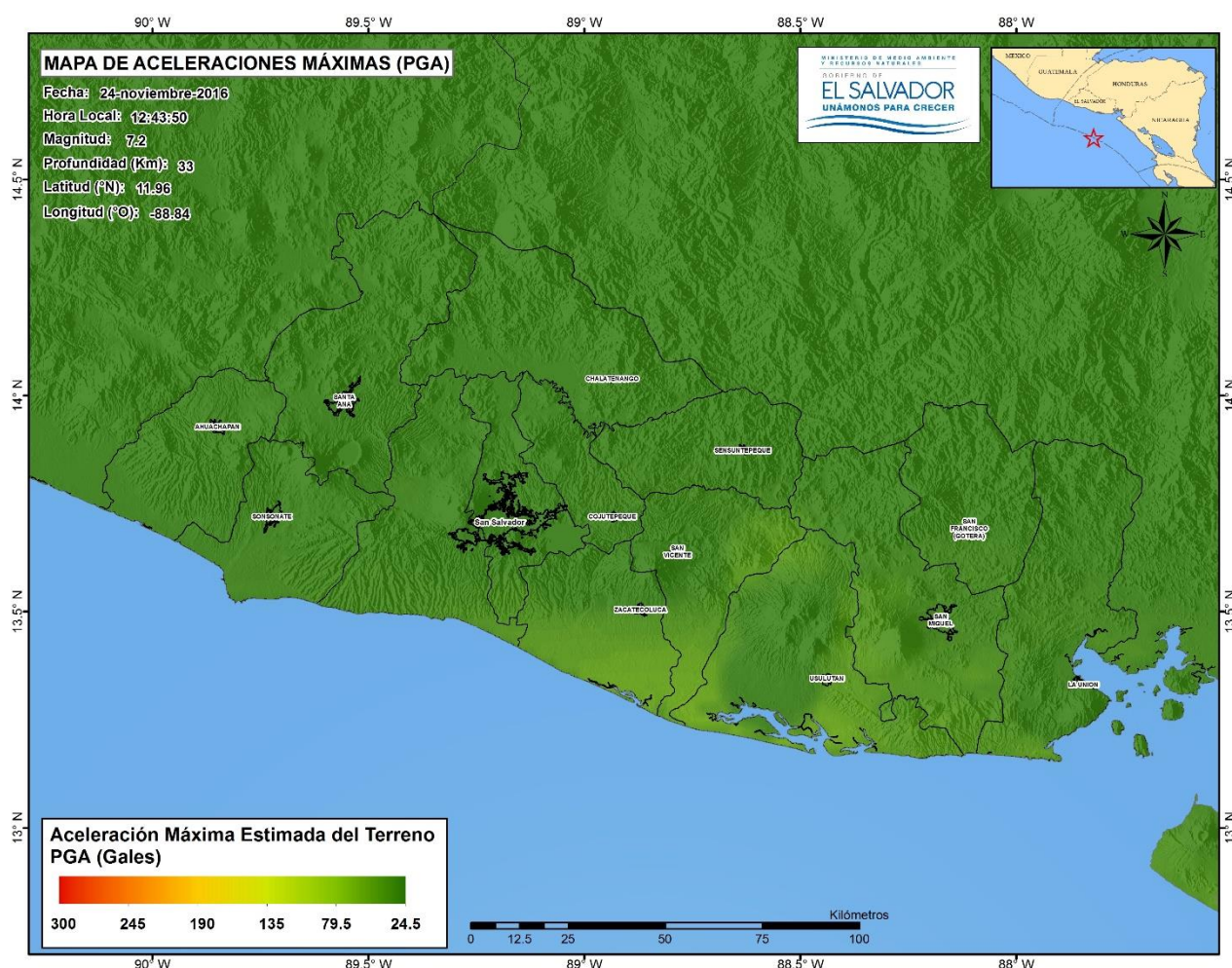


Figura 11 - Mapa de aceleraciones máximas estimadas del terreno (PGA) a escala nacional (1:1,150,000)

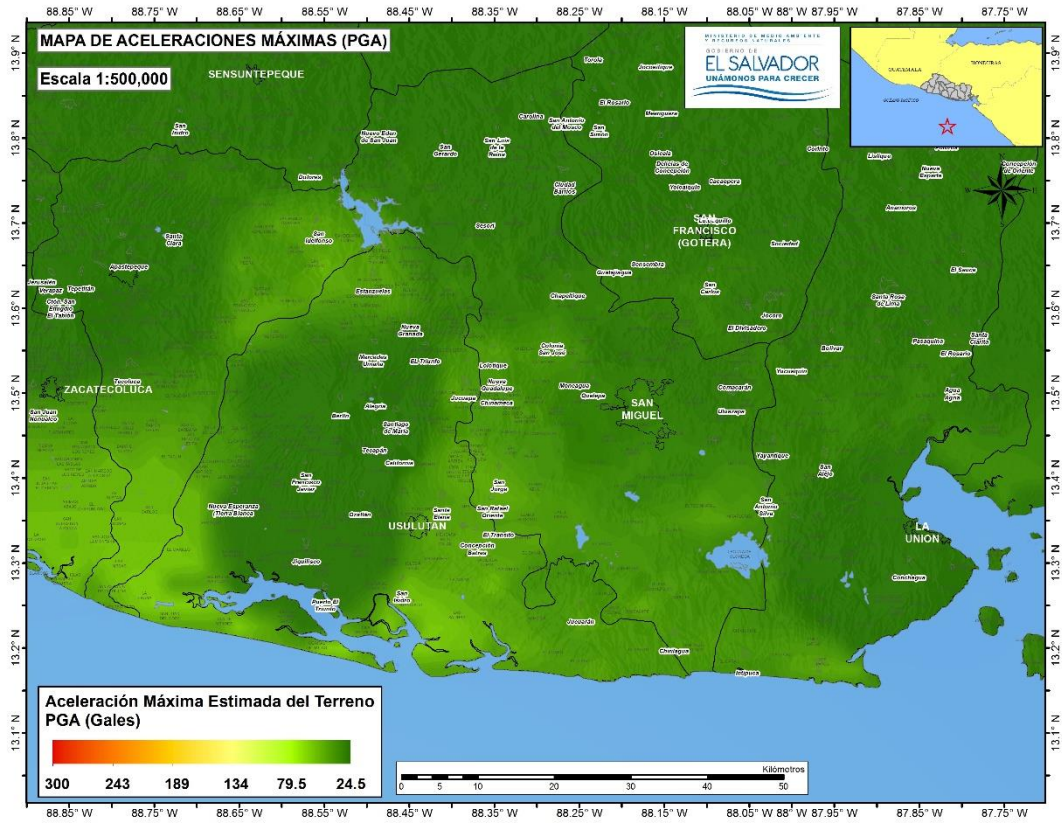


Figura 12 - Mapa de Intensidad Instrumental en zona oriental, a escala (1:500,000)

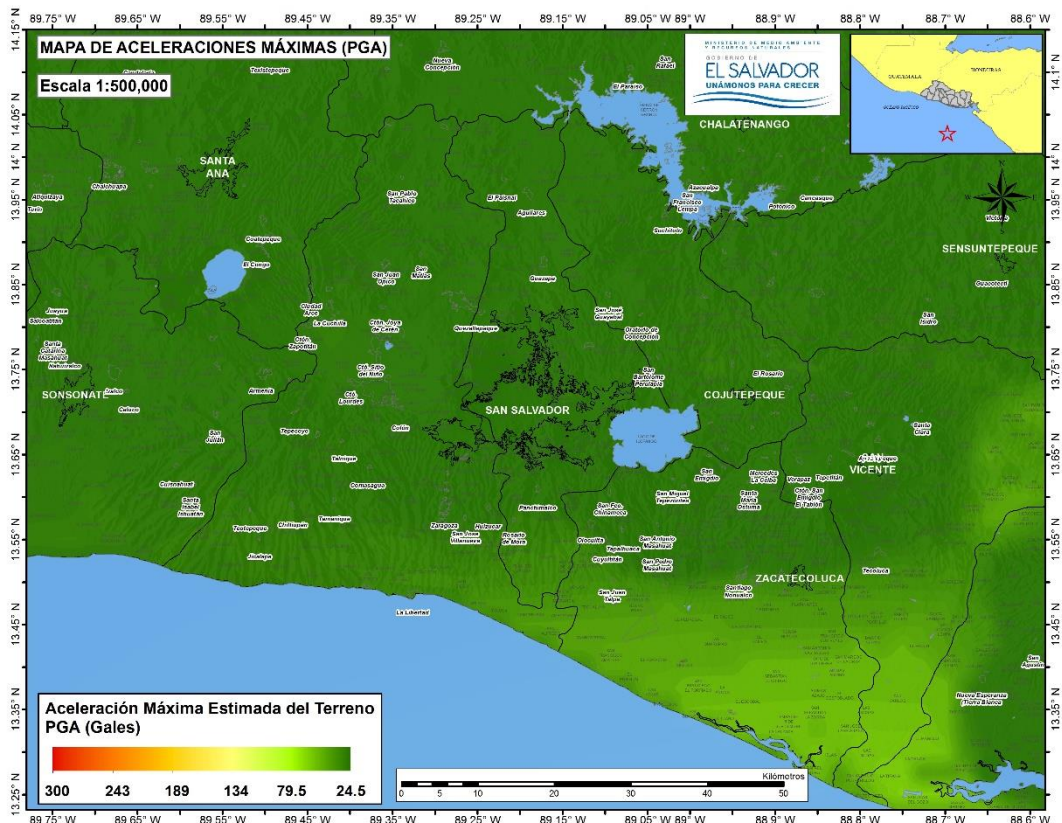


Figura 13 - Mapa de Intensidad Instrumental en zona paracentral, a escala (1:500,000)

### Mapa de intensidad instrumental

En las figuras 14, 15, 16 y 17 se presentan los mapas de intensidad instrumental, los cuales muestran gráficamente el movimiento del terreno y los posibles efectos causados por este sismo, en términos de niveles de intensidad sísmica instrumental, utilizando de base la escala de Mercalli Modificada.

Estas intensidades fueron calculadas automáticamente, a partir de la combinación de las velocidades y aceleraciones registradas en las estaciones sismológicas que transmiten datos en tiempo real. De la misma manera, se utilizó información sobre condiciones locales del suelo y modelos de predicción de movimiento fuerte que consideran la atenuación de la energía sísmica. (Wald et al, 2006) Para la ejecución del programa se consideró una malla equiespaciada a 0.01° en longitud y latitud (aproximadamente 1 km de resolución).

Se puede observar en los siguientes mapas, que las intensidades en el territorio oscilan predominantemente entre IV y V. Asimismo, se destacan que en las zonas más próximas a la costa (planicie costera de Usulután, San Vicente y La Paz) se alcanzan intensidades hasta de un valor de VI. Lo anterior, se debe a que son en éstas zonas con pendientes muy leves, donde se llegan a amplificar mayor las ondas sísmicas, haciendo el factor de efecto de sitio muy significativo en el cálculo de estas intensidades.

De la misma manera, si bien se tienen puntos de control con los valores de aceleración reales obtenidos con las estaciones sísmicas; estos resultados conllevan ciertas incertidumbres respecto al modelo de atenuación utilizado para el cálculo. En esta ocasión se utilizó el modelo de Youngs et al 1997, definido para fuentes de subducción en zonas de regímenes sísmicos activos. Por lo que, podrían sobreestimarse ciertos valores de intensidad instrumental al momento de realizar la interpolación sobre todo el territorio.

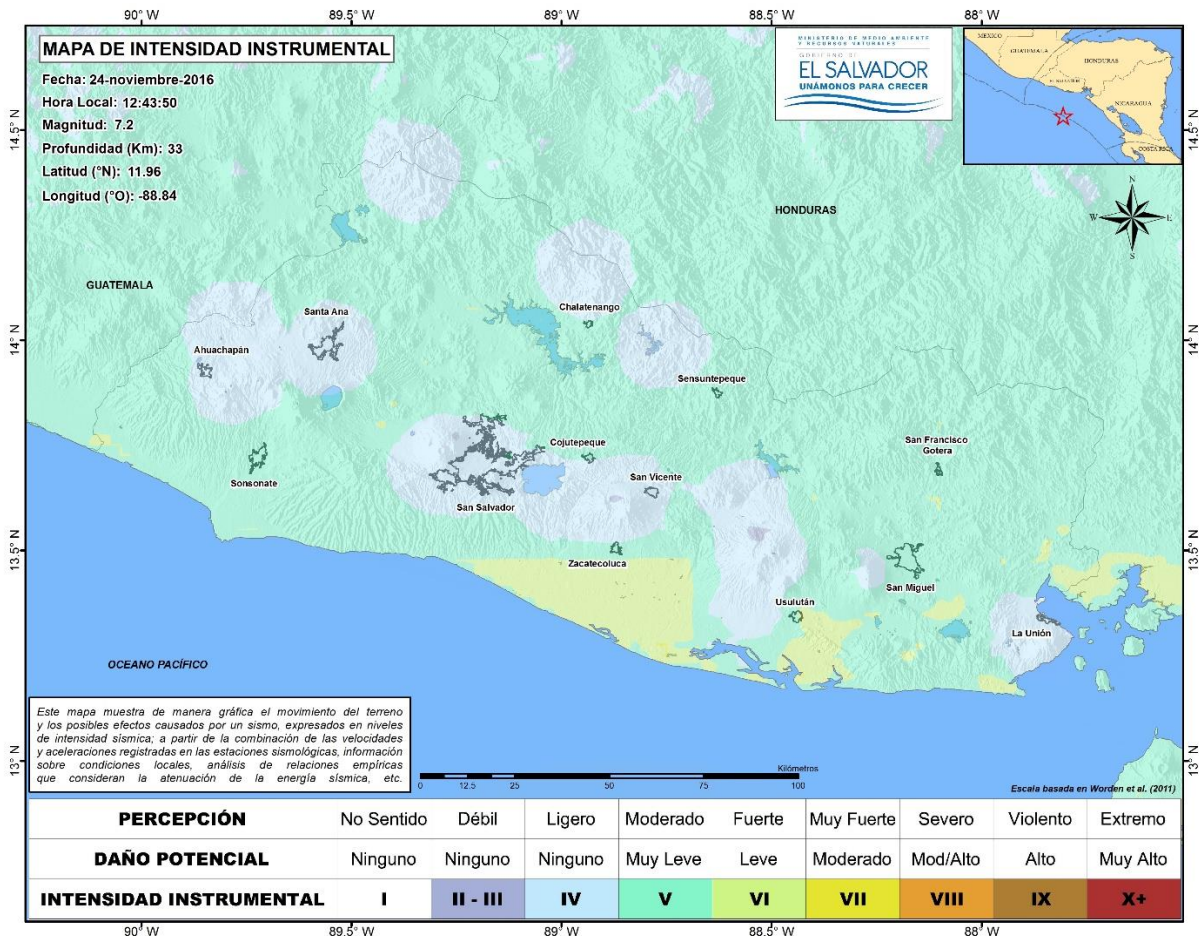


Figura 14 - Mapa de intensidad instrumental a escala nacional (1:1,150,000)

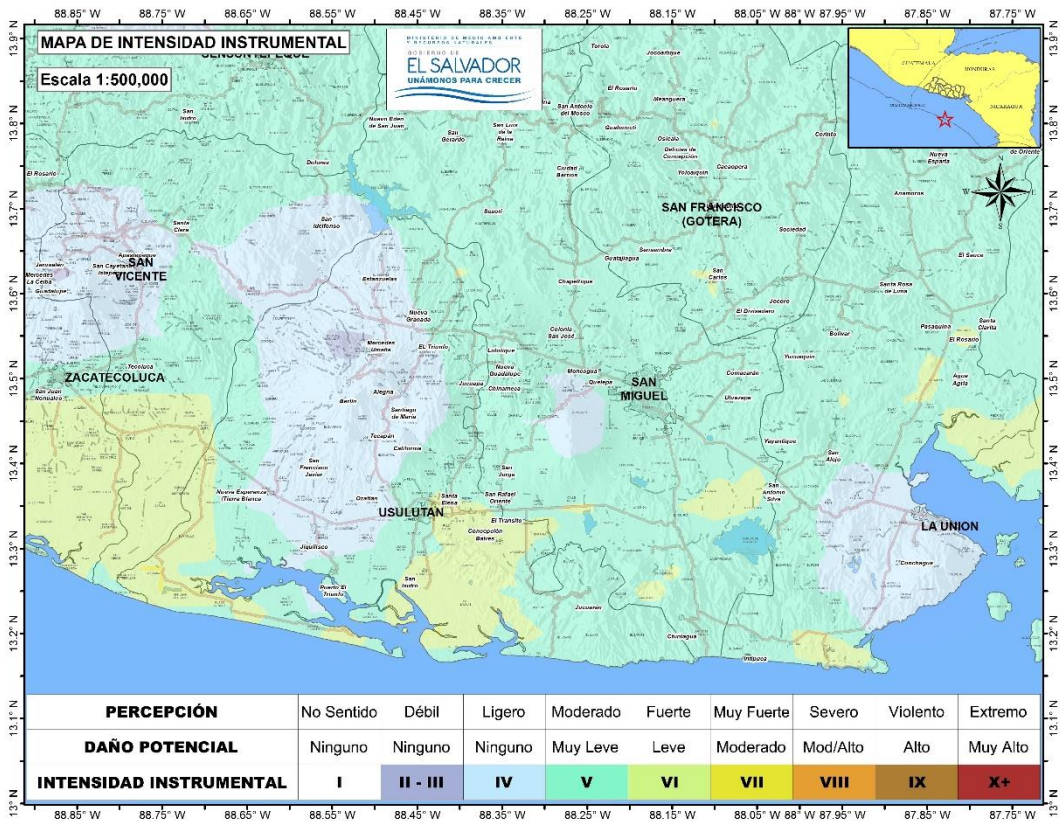


Figura 15 - Mapa de Intensidad Instrumental en zona oriental, a escala (1:500,000)

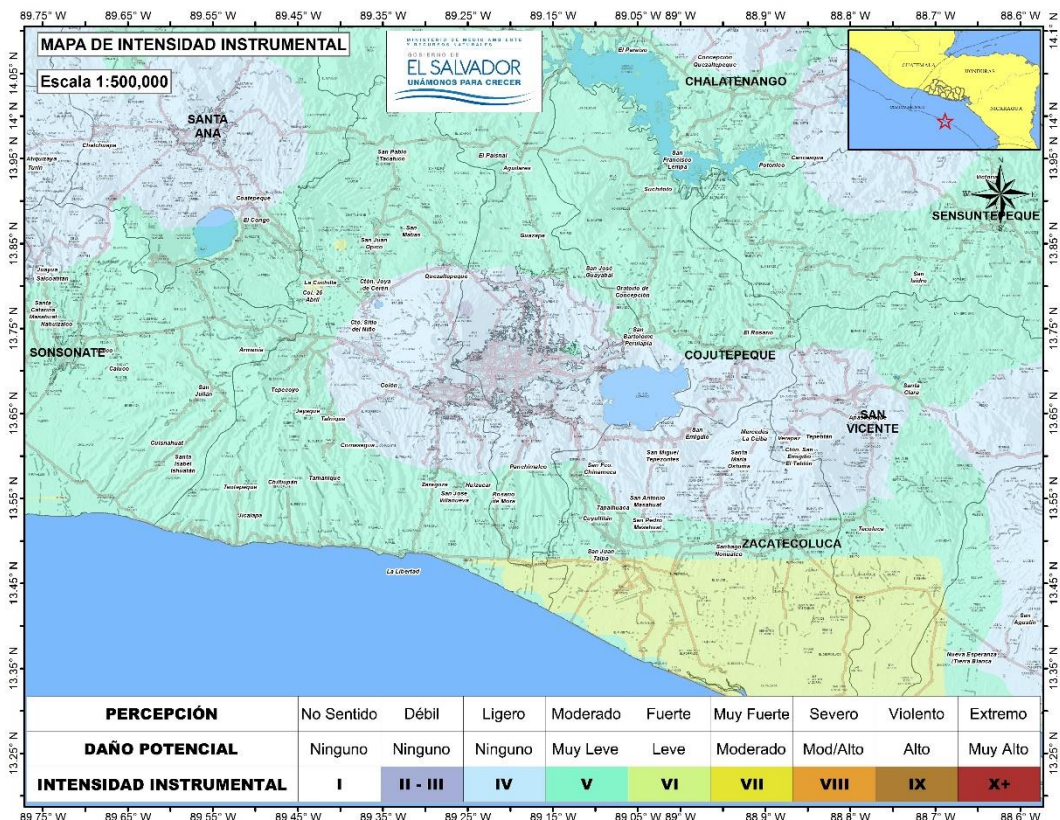


Figura 16 - Mapa de Intensidad Instrumental en zona paracentral, a escala (1:500,000)

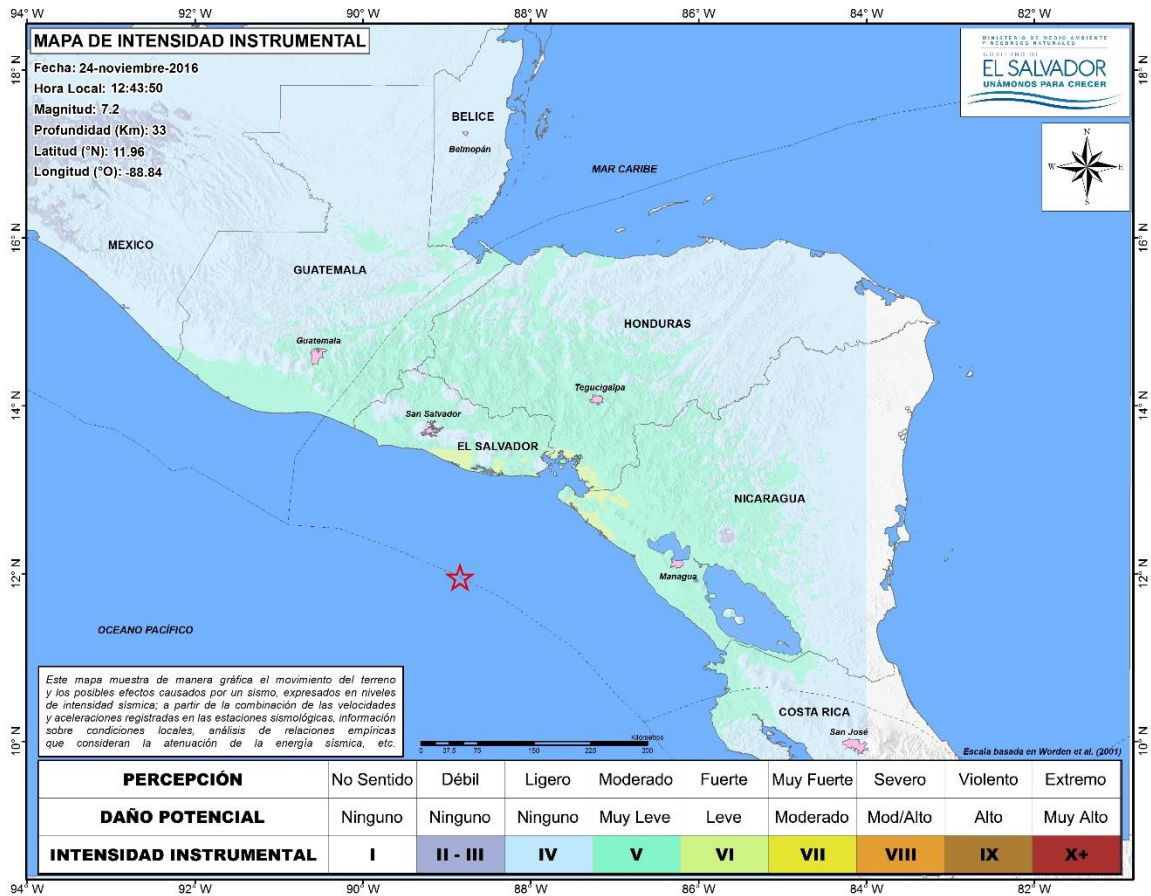


Figura 17 - Mapa de Intensidad Instrumental a escala regional

A continuación, en la tabla 2 se presenta un resumen del nivel de percepción del sismo en cuestión y los posibles daños potenciales que podrían sufrir ciertos tipos de estructuras, para cada una de las intensidades basadas en la escala Mercalli Modificada (IMM).

La sección sombreada en la tabla, representa las intensidades observadas en los mapas para el evento sísmico en cuestión, lo cual indicaría los posibles efectos que se podrían esperar en las localidades donde se ha registrado dicho nivel de intensidad (USGS, 2015)

(IMM)	Aceleración máxima del terreno (gales) 1 gal = 1 cm/s <sup>2</sup>	Niveles de percepción e impactos más probables en tipologías estructurales comunes
I	Menor a 0.5	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables. Únicamente registrado por las estaciones sísmológicas.
II - III	Entre 0.5 – 3	Perceptible sólo por algunas personas en reposo, o bien personas en pisos altos de edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar.
IV	Entre 3 – 45	Perceptible por la mayoría de personas dentro de los edificios. Sensación semejante al paso de un camión grande.
V	Entre 45 – 85	Perceptible casi por toda la zona cercana al epicentro. Pocos casos de agrietamiento en repellos de paredes; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos.

(IMM)	Aceleración máxima del terreno (gales) 1 gal = 1 cm/s <sup>2</sup>	Niveles de percepción e impactos más probables en tipologías estructurales comunes	
VI	Entre 85 – 125	Perceptible por todas las zonas cercanas al epicentro. La gente camina tambaleándose, Cuadros en la pared se mueven. Muebles cambian de posición. Paredes de yeso débil, estructuras de adobe, bahareque y de mampostería mal construidas podrían agrietarse o presentar colapso parcial. Podrían existir pequeños derrumbes en suelos inestables no consolidados.	
VII	Entre 125 – 216	Perceptible por personas en vehículos en movimiento. Ponerse de pie es difícil. Daños insignificantes en estructuras con buen diseño estructural y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas (mampostería no reforzada). Se podría presentar el colapso total de paredes de yeso, estructuras de adobe, bahareque y de mampostería pobremente construidas. Se podría presentar la caída de ladrillos sueltos, piedras, tejas, cornisas, parapetos y pórticos sin soporte lateral.	
VIII	Entre 216 – 392	Daños leves en estructuras con buen diseño estructural y construcción. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, presentando un posible colapso parcial. Daño severo en estructuras pobremente construidas. Mampostería seriamente dañada o destruida.	
IX	Entre 392 – 736	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras con buen diseño estructural y construcción, mostrando paredes fuera de plomo. Grandes daños en estructuras ordinarias bien construidas importantes edificios, con derrumbes parciales. Daños severos en estructuras ordinarias bien construidas, presentando un posible colapso total Estructuras podrían desplazarse fuera de sus fundaciones, especialmente las de marcos de madera. Tuberías subterráneas podrían sufrir daños.	
X +	Mayor a 736	X	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las estructuras de mampostería y a base de marcos estructurales podrían quedar destruidas junto a sus fundaciones. Puentes fuertemente dañados y necesitarían un reemplazo.
		XI	Pocas estructuras de mampostería, si las hubiera, permanecen en pie. Puentes destruidos. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio
		XII	Destrucción total o casi total. Los objetos saltan al aire. Grandes masas de roca son desplazadas. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Imposibilidad de mantenerse en pie al caminar.

Tabla 2 – Impactos más probables para cada una de las intensidades sísmicas basadas en la Intensidad de Mercalli Modificada (IMM)

### Energía liberada

La energía total liberada por un sismo es difícil de calcular con exactitud, debido a que ella es la suma de la energía disipada en forma térmica por la deformación en la zona de ruptura y la energía emitida como ondas sísmicas, siendo ésta última la única que puede ser estimada a partir de los sismogramas.

Debido a que la magnitud del sismo está relacionada con la energía disipada en forma de ondas, la energía liberada de este sismo se calculó de acuerdo a la siguiente relación de Gutenberg-Richter (*Kanamori, 1977*).

$$\log(E) = 11.8 + 1.5M_w$$

Donde E es la cantidad de energía, expresada en ergios y M la magnitud momento del sismo

Para este evento sísmico, con magnitud de 7.2, se obtuvo un valor de energía sísmica liberada de  $3.98 \times 10^{22}$  ergios, aproximadamente **17.80 %** de la energía producida por el sismo del 13 de enero del 2001 (7.7 Mw,  $E = 2.24 \times 10^{23}$  ergios); es decir, que el sismo del 13 de enero de 2001, liberó casi **6 veces más** energía que el sismo en cuestión

Asimismo, la cantidad de energía liberada por este sismo es **1.41 veces menor** que la energía calculada por otro sismo relevante en la zona, específicamente el ocurrido el 13 de octubre de 2014 (7.3 Mw,  $E = 5.62 \times 10^{22}$  ergios).

Es importante mencionar, que un incremento de una unidad de magnitud representa un aumento de energía sísmica de casi 32 veces (Ver figura 18).

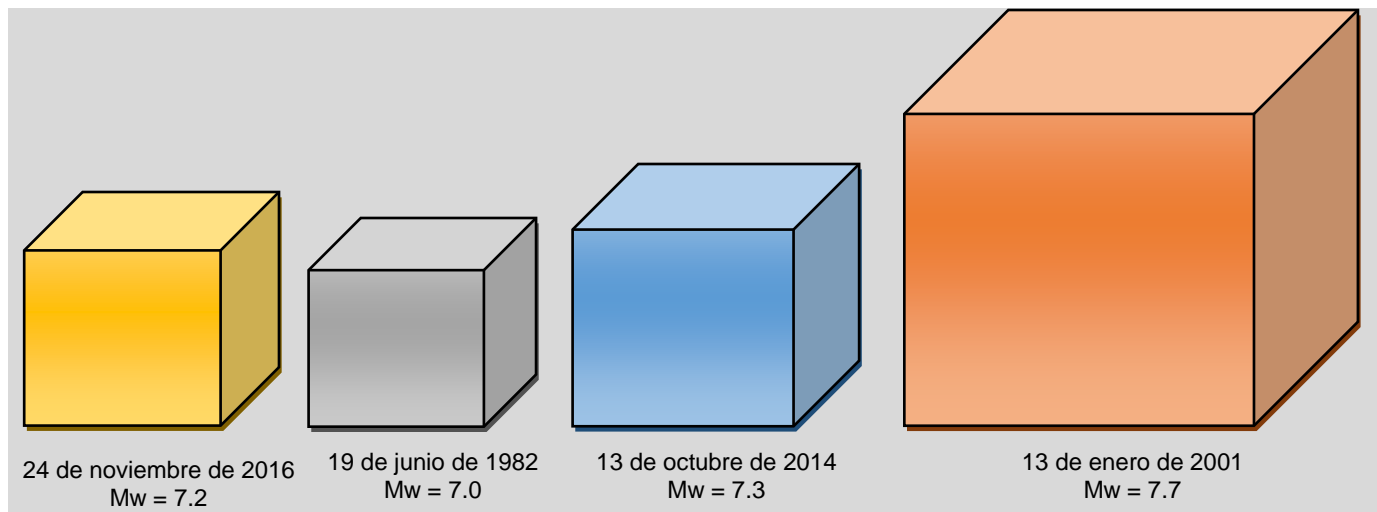


Figura 18 – Representación de comparación volúmenes de energía sísmica liberada para distintos sismos locales representativos y el sismo en cuestión

### **Duración del evento**

De acuerdo con el registro sismográfico de la estación acelerográfica de San Vicente (UESV), ubicada en el departamento de San Vicente, la duración total del evento fue de aproximadamente 3 minutos.

Por otro lado, de acuerdo con el registro del movimiento fuerte, que es una expresión del nivel de daño, la duración donde la percepción del sismo fue más intensa fue de 50 segundos. Esta duración es congruente con el tipo de la sismicidad de la zona de subducción.

### **Mecanismo de la fuente sísmica.**

Para conocer de mejor manera la fuente de un sismo, se estima mediante softwares especializados el tamaño y parámetros focales de la ruptura, a través del análisis del Centroide del tensor del momento sísmico (*CMT Analysis*, sus siglas en inglés).

De acuerdo al cálculo del Centroide del Tensor de Momento Sísmico, obtenido por el MARN mediante la aplicación “scmtv” incluido en el programa SeiscompP3, desarrollado por la organización GFZ Potsdam, Centro de Geociencias de Alemania; se ha obtenido que el mecanismo de ruptura para el sismo de 7.2 fue de **TIPO NORMAL PURO**, con una dirección acimutal paralela coincidente a la de la Trinchera; es decir con una dirección predominantemente NorOeste-SurEste.

Asimismo, es de recalcar que la magnitud momento (Mw) se estimó de 7.0 con una profundidad focal de 21 km. Esta información, es más certera que la que fue emitida en su momento a las autoridades, sin embargo, dada la emergencia y el juicio inicial de una posible amenaza por tsunamis, se emitió una magnitud de 7.2, la cual se determinó en base a las ondas primarias P.

La figura 19 muestra los planos de falla principal y auxiliar, así como los parámetros de dirección, buzamiento y deslizamiento ( $\Phi, \delta, \lambda$ ), obtenidos mediante este análisis.

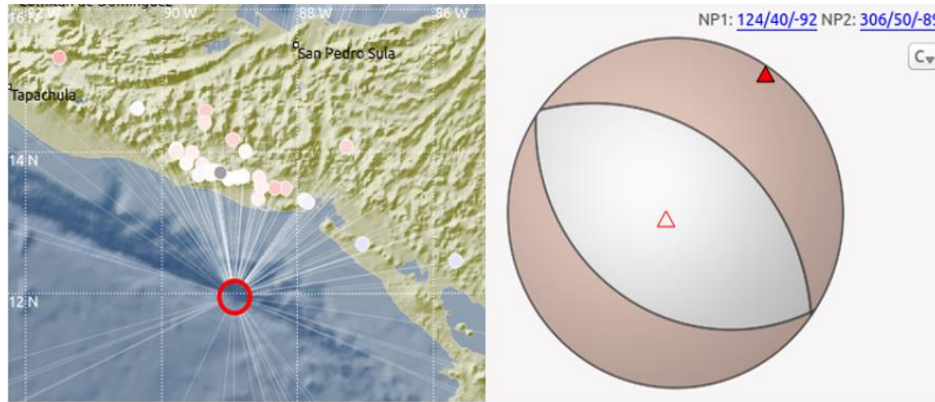


Figura 19. Mecanismo focal para el sismo de magnitud 7.2 del 24-11-2016

### SISMICIDAD HISTÓRICA

El 27 de agosto de 2012 se produjo un sismo a 134 km al sur de la ciudad de Usulután con una magnitud de 7.3 que generó un tsunami que golpeó la playa de Isla Méndez, en las costas de Usulután; causando lesiones en las personas que se encontraban en el lugar trabajando en la conservación de las tortugas marinas. Este sismo se asoció a la fuente de subducción interfase, con un mecanismo focal inverso.

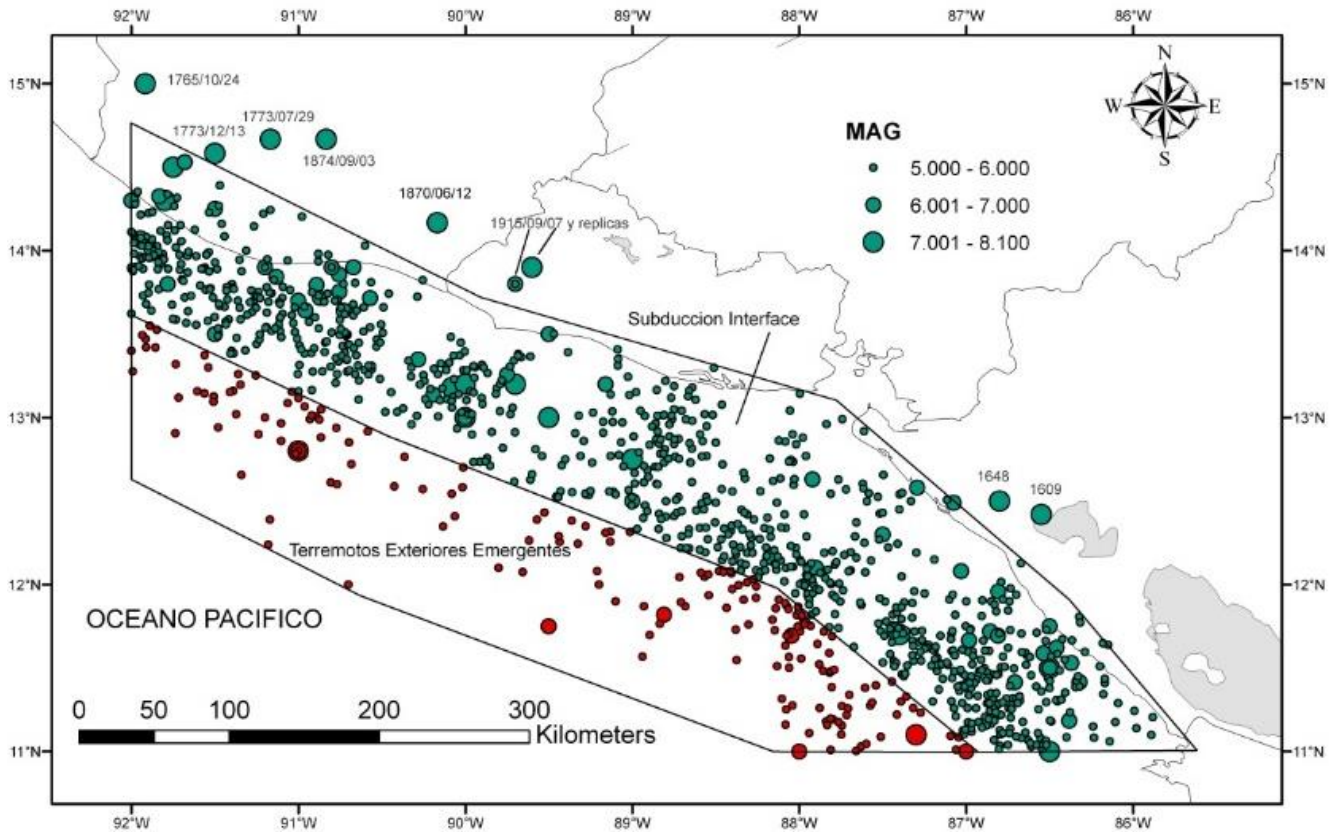


Figura 20. Delimitación geométrica para la Zona Subducción Interface. Fuente: Salazar et al. 2013



En la **tabla 2** adjunta, se presenta con más detalle una reseña histórica de los sismos más relevantes para estas zonas.

FECHA	HORA GMT	COORDENADAS GEOGRAFICAS	MAGNITUD	PROF (km)	INTENSIDAD MAXIMA (MM)	EPICENTRO	COMENTARIOS	REFERENCIA
19 de junio de 1982	06:21	13.30° N 89.30° O	7.0 PAS 6.0 ISC	82	VII en San Salvador	Océano Pacífico	Según informe de Cruz Roja Salvadoreña, 8 personas murieron y 96 resultaron heridas. Hubo un promedio de 5000 personas damnificadas	CIG (1983)
13 de enero de 2001	17:34	12.83° N 88.79° O	Mw=7.6	39.0	VII en San Salvador	Zona de Subducción	Se reportan 944 fallecidos, 1155 edificios públicos dañados, 108,261 viviendas destruidas, 19 hospitales dañados, 405 iglesias dañadas, 445 derrumbes (Fuente: COEN)	USGS
27 de agosto de 2012	04:37	1212.139° N -88.590° O	Mw= 7.3	28		Zona de Subducción	Se reportó un Tsunami en la zona de Isla Méndez en el departamento de Usulután	USGS
13 de octubre de 2014	03:51	12.5262°N -88.1225 O	Mw=7.3	40.5	VI en Usulután	Zona de Subducción	No se reportó Tsunami	MARN

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Alvarado, D., DeMets, C., Tikoff, B., Hernández, D., Wawrzyniec, T. F., Pullinger, C., Mattioli, G., Turner, H. L., Rodríguez, M., and Correa-Mora, F. (2011). "Forearc motion and deformation between El Salvador and Nicaragua: GPS, seismic, structural, and paleomagnetic observations." *Lithosphere*, 3(1), 3–21.
2. Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG) (1991), "Sismicidad en los alrededores del Volcán Conchagua, Febrero-Marzo 1991, Informe elaborado por Griselda Marroquín.
3. Kanamori, H. 1977. «The energy release in great earthquakes». *J. geophys. Res* 82 (20): 2981–2987.
4. Martínez H., M.A., (1978). *Cronología Sísmica y Eruptiva de la República de El Salvador a partir de 1520*, Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas, San Salvador.
5. Marroquín G, (2012). *Caracterización de las zonas sísmicas en el graben Central de El Salvador*. UES.
6. Molina, E., Marroquín, G., Escobar J., Talavera, E., Rojas, W., Climent, A., Camacho, E., Benito, B., Lindholm, C. 2008. «Evaluación de la Amenaza Sísmica en Centroamérica». *NORSAR Informe de Proyecto RESIS II*
7. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) 2015: <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>
8. Wald, D. J., Worden, B. C., Quitoriano, V., and Pankow, K. L. (2006). "ShakeMap® Manual." *Technical Manual, users guide, and software guide Version*.
9. White, R.A. & Harlow, D. (1993), "Destructive upper crustal earthquake in Central America since 1900" *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83, 4.