

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.

Introducción

Un sismo de magnitud 5.9¹ ocurrió el día 13 de diciembre del 2004 a las 9:23 AM (hora local), localizándose a unos 25 kilómetros al Sur de Playa Los Cobanos, en el Departamento de Sonsonate. Se asignó una intensidad en la escala de Mercalli Modificada (MM) de V en San Salvador. Cabe mencionar que este evento fue el de mayor magnitud generado frente a la Costa Salvadoreña durante el año 2004.

Unas horas antes del sismo se registraron dos eventos en la misma zona, con magnitudes de 2.4 y 2.5. Posteriormente a las 9:23 am, se registraron una serie de réplicas con magnitudes entre 2.4 y 4.5.

A continuación se presenta la información de detalle sobre las características de esta sismicidad (profundidad focal, aceleraciones, mecanismo focal, etc.).

Características de la sismicidad

La figura 1 muestra el sismograma en la estación sísmica El Retiro (RTR, ubicada en el Volcán Ilimatepec en Santa Ana) para el periodo comprendido entre las 00:00 horas y las 24:00 horas UTC del día 13 de diciembre de 2004. Nótese la ocurrencia de la serie de réplicas, cuyas magnitudes oscilan entre 2.4 y 4.6. En la tabla 1 se presentan los parámetros principales de los sismos localizados.

Es importante mencionar que hasta el día 14 de diciembre se habían registrado 115 réplicas, de las cuales el 56% se generaron en las seis horas posteriores al evento principal. Después del día 14, ocurrieron algunos sismos de manera esporádica. En la figura 2 se presenta el número de sismos ocurridos por hora.

¹ Preliminarmente este sismo fue reportado con una magnitud de 6.1. Al integrar toda la información existente se obtuvo un valor de 5.9.

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.

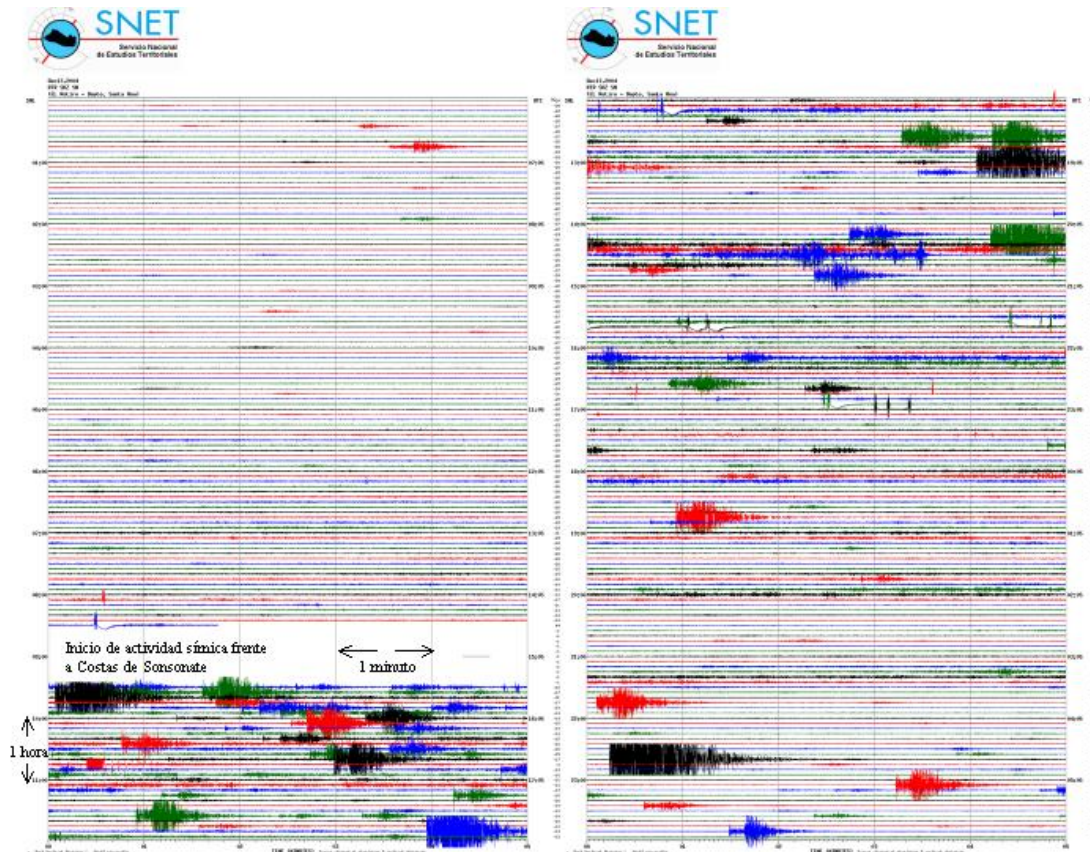


Figura 1: Registro de réplicas del sismo ocurrido el 13 de diciembre frente a Costa de Sonsonate, obtenido con estación sísmica El Retiro (RTR). La figura de la izquierda es el registro de las 00:00 a las 12:00 horas y el de la derecha de las 12:00 a las 24:00 horas (tiempo local). Por fallas técnicas en el sistema el registro del sismo de las 9:23 no aparece en esta figura.

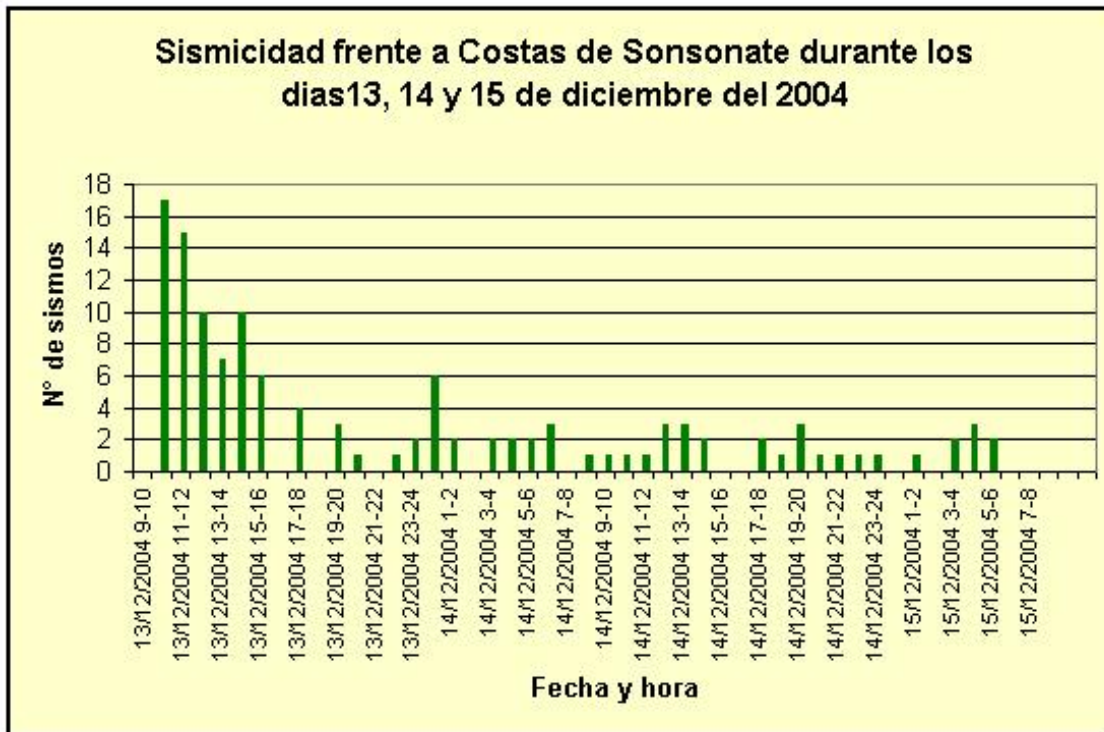


Figura 2: Número de sismos por hora ocurridos frente a Costa de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre del 2004.

Aceleraciones registradas.

Toda la red de estaciones acelerográficas digitales registraron el sismo principal, los valores máximos observados oscilaron en el rango de 4 a 57 cm/seg² . En la figura 3 se presenta el comportamiento de las aceleraciones registradas en cada estación para las tres componentes del movimiento del suelo (Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical).

En la figura 3 se puede observar que las estaciones Universidad Don Bosco (UDBS) y Unidad de Salud de La Herradura (HERR) muestran los valores más altos de aceleración, probablemente debido a efectos locales de sitio, ya que no son las estaciones más cercanas al epicentro.

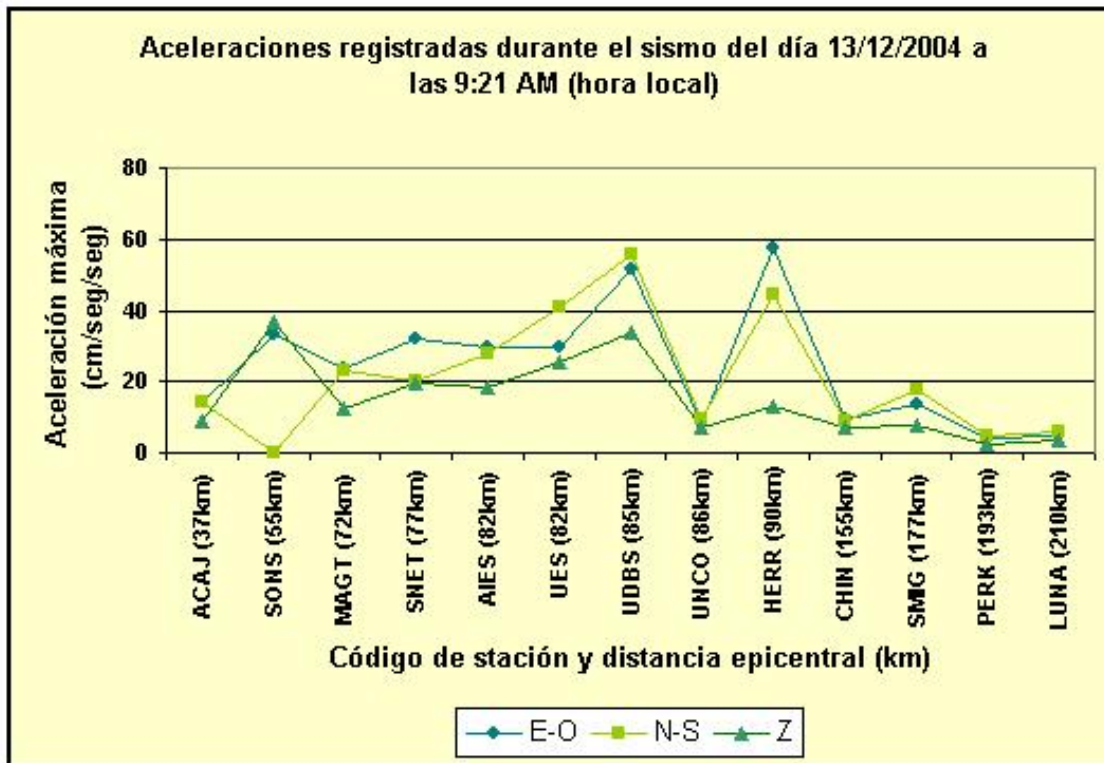


Figura 3: Aceleraciones registrada durante el sismo del 13 de diciembre del 2004 a las 9:21 AM (hora local). Además del valor máximo registrado en cada una de las componentes se presenta la distancia entre el epicentro del sismo y cada una de las estaciones.

Mecanismo focal

Con el objeto de definir el tipo falla que generó dicho sismo, se realizó el cálculo de su mecanismo focal utilizando el método de la polaridad de la onda P, usando datos registrados por las estaciones de SNET, INSIVUMEH (Guatemala), INETER(Nicaragua) y UCR (Cosa Rica).

En La figura 4 se presenta el mecanismo focal obtenido, en el cual se muestra la geometría de una falla tipo vertical, y es congruente con el resultado mostrado en el catálogo de mecanismos focales de la Universidad de Harvard (<http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>).

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.

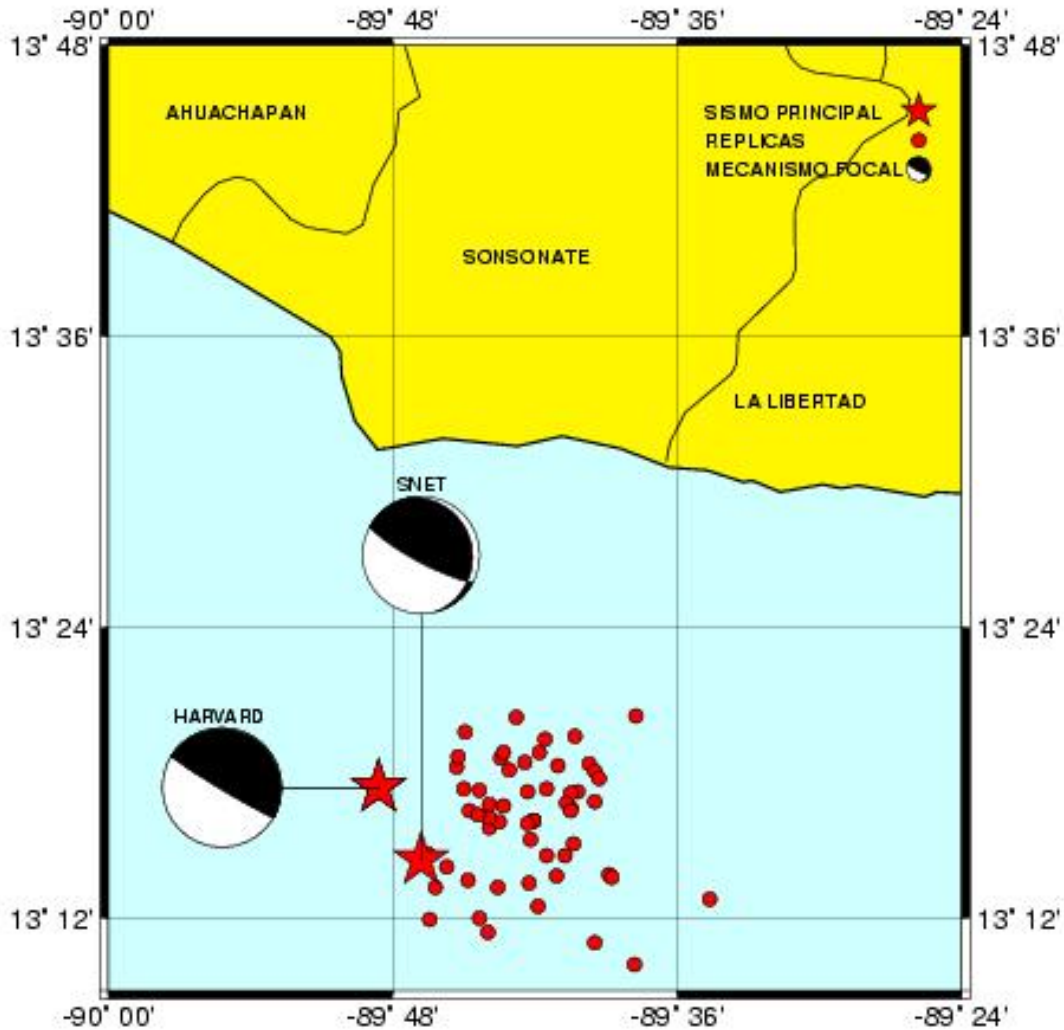


Figura 4: Epicentro y mecanismo focal de sismo ocurrido el 13 de diciembre del 2004 frente a Costas del Departamento de Sonsonate. También se muestran los epicentros de sus réplicas, cuyos parámetros principales se presentan en la tabla 1

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.

Análisis de esfuerzos estáticos de Coulomb.

Es importante notar que previo al sismo del 13 de diciembre de 2004, el territorio salvadoreño fue afectado por un sismo de magnitud $M_w = 6.3$ (NEIC) el 20 de noviembre de 2004, localizado frente a la costa del departamento de Ahuachapán. En este sentido, se realizó un análisis de la transferencia de esfuerzos estáticos de Coulomb, con el objeto de determinar si el sismo de noviembre actuó como disparo del sismo de diciembre, y como ambos a su vez pudieran haber afectado el estado de las fallas locales dentro del territorio.

La información sísmica utilizada para el análisis corresponde al catálogo del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), así como a parámetros sísmicos del National Earthquake Information Center (NEIC-USGS) y mecanismos focales del CMT de Harvard. El programa utilizado para el cálculo es el GNStress1_5 (Robinson R, Institute of Geological & Nuclear Sciences, New Zeland).

Se analizó la información sismológica de los eventos principales y de las nubes de réplicas, obteniéndose los parámetros siguientes para el modelo de transferencia de esfuerzos:

a) Sismo del 20 de noviembre de 2004, frente a Costas de El Salvador.

Hora (GMT)	:	22:01
Dirección (φ)	:	286°
Buzamiento (δ)	:	27°
Deslizamiento(λ)	:	70°
L ruptura	:	25 km
Ancho ruptura	:	22.5 km
Top del plano de falla	:	10 km
Centro del plano de falla	:	latitud: 13.250, longitud: -90.350
M_w	:	6.3 (NEIC).

b) Sismo del 13 de diciembre de 2004, frente a Costas de El Salvador.

Hora (GMT)	:	15:23
Dirección (φ)	:	301°
Buzamiento (δ)	:	3°
Deslizamiento(λ)	:	89°
L ruptura	:	10 km
Ancho ruptura	:	10 km
Top del plano de falla	:	35 km

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.

Centro del plano de falla : latitud: 13.290, longitud: -89.810
Mw : 6.0 (NEIC).

Para la evaluación de la transferencia de esfuerzos estáticos se consideraron los siguientes casos:

- a) Efecto del sismo del 20 de noviembre de 2004 (22:01 GMT) sobre el plano de falla del sismo del 13 de diciembre de 2004 (figura 5).
- b) Efecto del sismo del 20 de noviembre de 2004 sobre un plano de falla de desgarre dentro del territorio (ϕ : 110°; δ : 80°; λ : 180°, aproximadamente dirección Este-Oeste) véase figura 6.
- c) Efecto del sismo del 20 de noviembre de 2004 sobre un plano de falla de desgarre dentro del territorio (ϕ : 0°; δ : 80°; λ : 0°, aproximadamente dirección Norte-Sur) véase figura 7.
- d) Efecto del sismo del 13 de diciembre de 2004 sobre un plano de falla de desgarre dentro del territorio (ϕ : 110°; δ : 80°; λ : 180°, aproximadamente dirección Este-Oeste) véase figura 8.
- e) Efecto del sismo del 13 de diciembre de 2004 sobre un plano de falla de desgarre dentro del territorio (ϕ : 0°; δ : 80°; λ : 0°, aproximadamente dirección Norte-Sur) véase figura 9.

Los planos de falla de desgarre mencionados en los literales b, c, d, y e han sido definidos de acuerdo con fallas identificadas en la zona occidental del país (aproximadamente en la zona de Juayúa-Apaneca- Ahuachapán), en conjunto con el personal del Departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid, basado en imágenes de satélite para El Salvador y en la geología local previamente estudiada.

A continuación se muestra en forma gráfica cada uno de los casos especificados en los literales anteriores.

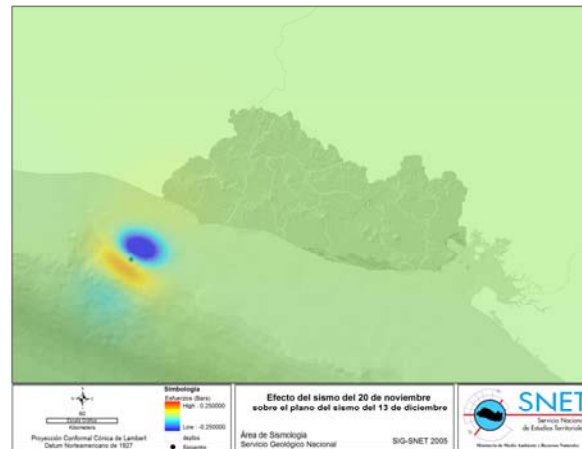


Figura 5: Efecto del sismo del 20 de noviembre sobre el plano del sismo del 13 de diciembre. El rango de esfuerzos está comprendido entre -0.25 bars y 0.25 bars. No se aprecia incremento de esfuerzo en la zona epicentral del sismo del 13 de diciembre.

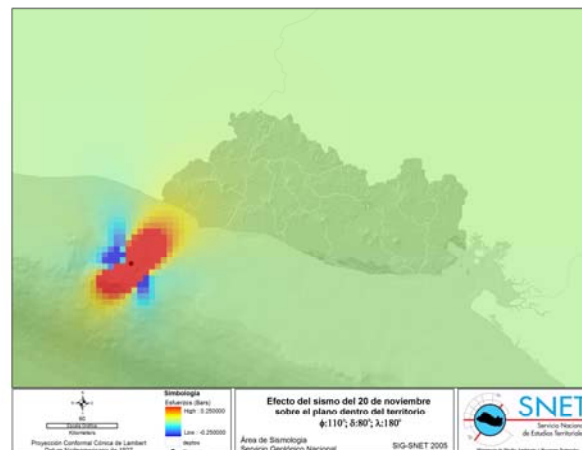


Figura 6: Efecto del sismo del 20 de noviembre sobre el plano dentro del territorio ($\phi: 110^\circ$; $\delta: 80^\circ$; $\lambda: 180^\circ$). Los esfuerzos han sido evaluados a 12 km de profundidad. El rango de esfuerzos está comprendido entre -0.25 bar y 0.25 bar. Probablemente exista un incremento de esfuerzos alrededor de 0.25 bar cerca de la costa.

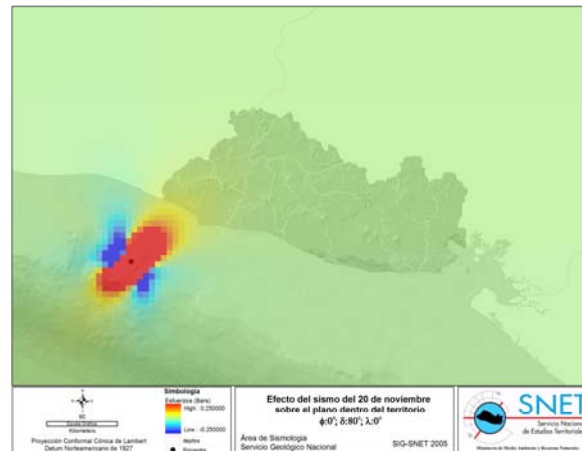


Figura 7: Efecto del sismo del 20 de noviembre sobre el plano dentro del territorio ($\phi: 0^\circ; \delta: 80^\circ; \lambda: 0^\circ$). Los esfuerzos han sido evaluados a 12 km de profundidad. El rango de esfuerzos está comprendido entre -0.25 bar y 0.25 bar. Probablemente exista un incremento de esfuerzos alrededor de 0.25 bar cerca de la costa.

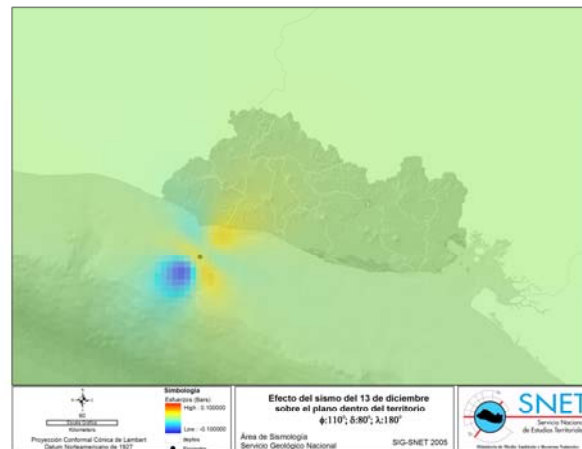


Figura 8: Efecto del sismo del 13 de diciembre sobre el plano dentro del territorio ($\phi: 110^\circ; \delta: 80^\circ; \lambda: 180^\circ$). Los esfuerzos han sido evaluados a 12 km de profundidad. El rango de esfuerzos está comprendido entre -0.1 bar y 0.1 bar. No se aprecia un incremento significativo de esfuerzos.

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.

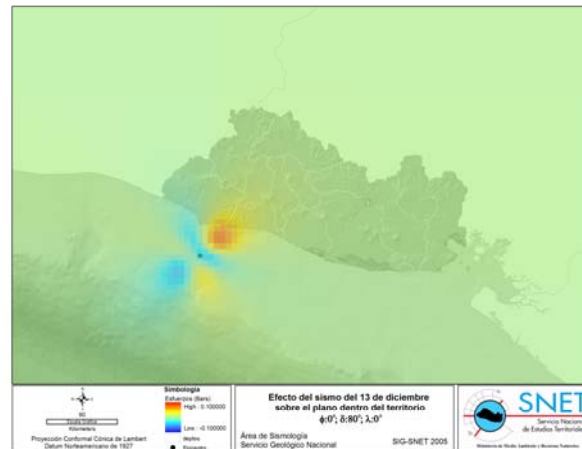


Figura 9: Efecto del sismo del 13 de diciembre sobre el plano dentro del territorio ($\phi: 0^\circ$; $\delta: 80^\circ$; $\lambda: 0^\circ$). Los esfuerzos han sido evaluados a 12 km de profundidad. El rango de esfuerzos está comprendido entre -0.1 bar y 0.1 bar. No se aprecia un incremento significativo de esfuerzos.

Discusión de Resultados

1. Este sismo como mucho otros suscitados en el Océano Pacífico fue acompañado por una serie de réplicas con magnitudes de hasta 4.6 y la mayoría de ellas ocurrieron en las primeras 6 horas posteriores al sismo principal (véase figuras 1 y 2). El hecho de que ocurrieran réplicas sentidas mantuvo alarmada a gran parte de la población salvadoreña.
2. El tipo de suelo tiene gran influencia en la magnitud del movimiento sísmico. Referido a este fenómeno, se compararon los datos registrados por la estación acelerográfica ubicada en el Puerto de Acajutla - Sonsonate (ACAJ), a unos 37 kilómetros del epicentro, con la estación de San Luis La Herradura - La Paz (HERR) a unos 90 kilómetros del epicentro. De acuerdo con los datos mostrados en la Figura 3, la estación de La Herradura registró valores de aceleración entre 3 y 4 veces más que la estación Acajutla, a pesar de estar ubicada a una distancia mucho mayor del epicentro. Para explicar este hecho es importante indicar que ACAJ se encuentra ubicada en un sitio rocoso y la estación HERR en suelos sedimentarios. Caso similar se observa en la estación UDBS- San Salvador ubicada sobre un espesor bastante considerable de tierra Blanca.

3. De acuerdo a datos del mecanismo focal el sismo fue generado por un tipo de falla de movimiento vertical a una profundidad mayor a 50 kilómetros. Este tipo de fallas pueden generar en algunos caso Tsunamis, afortunadamente, la magnitud y la profundidad a la que ocurrió este sismo no contribuyeron a la generación de este fenómeno.
4. Con relación a la evaluación de la transferencia de esfuerzos para los sismos del 20 de noviembre y 13 de diciembre de 2004, es importante indicar que el análisis consideró parámetros preliminares de los planos de falla de los sismos principales, a los cuales se tuvo acceso al momento de dicha evaluación (por ejemplo, el plano de falla del sismo del 13 de diciembre se estimó a partir de una expresión empírica), por lo que hasta este nivel, los resultados proporcionan una buena idea de la distribución de los esfuerzos inducidos en los planos analizados.
5. Los resultados obtenidos de la evaluación de la transferencia de esfuerzos indican que no hubo un incremento significativo de los esfuerzos dentro del territorio salvadoreño por efecto de los sismos del 20 de noviembre y 13 de diciembre. Normalmente, se ha observado que el mecanismo de disparo se provoca cuando se generan incrementos de esfuerzos superiores a 0.5 bar. Debajo de este valor los resultados son debatibles.

Tabla 1: Parámetros principales de sismos ocurridos frente a Costas del Departamento de Sonsonate los días 13, 14 y 15 de diciembre del 2004. Magnitud Mc es calculada usando la duración total del sismo y Magnitud MI es calculada usando la máxima amplitud.

Año	mes	día	hora (GMT)	minu tos	segu ndos	latitud (grados)	longitud (grados)	prof. (km)	n° est. usadas	RMS	mag. (Mc)	mag. (MI)
2004	12	13	5	50	49.7	13.226	-89.747	32.3	8	0.2	2.4	
2004	12	13	7	58	26.3	13.199	-89.774	32.8	9	0.5	2.5	
2004	12	13	15	23	41.7	13.244	-89.775	52.2	56	0.9		5.9
2004	12	13	15	28	38.4	13.289	-89.692	39.5	15	0.4	3.4	

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.

2004	12	13	15	36	24.1	13.305	-89.684	29.3	16	0.4	3.3	
2004	12	13	15	39	51.3	13.267	-89.701	33.6	16	0.4		4.0
2004	12	13	15	39	51.3	13.267	-89.701	33.6	16	0.4		4.0
2004	12	13	15	39	51.3	13.267	-89.701	33.6	16	0.4		4.0
2004	12	13	15	39	51.6	13.287	-89.670	44.5	15	0.3	3.6	4.0
2004	12	13	15	46	32.5	13.325	-89.672	38.9	10	0.2	2.9	
2004	12	13	15	52	0.2	13.306	-89.662	32.7	12	0.4	3.1	3.0
2004	12	13	15	53	47.8	13.286	-89.675	16.2	6	0.4	2.7	
2004	12	13	15	57	12.5	13.224	-89.704	16.8	9	0.2	2.4	
2004	12	13	16	3	5.9	13.276	-89.675	32.3	14	0.3	3.1	
2004	12	13	16	7	18.4	13.230	-89.648	33.0	8	0.1	3.1	
2004	12	13	16	7	29.3	13.304	-89.755	38.6	10	0.2	3.0	
2004	12	13	17	19	1.4	13.307	-89.707	31.8	10	0.3	2.9	
2004	12	13	17	53	44.0	13.262	-89.732	29.6	11	0.3	3.6	3.8
2004	12	13	17	58	9.7	13.328	-89.749	38.4	6	0.2	2.4	
2004	12	13	18	11	12.5	13.229	-89.685	32.0	6	0.2	2.5	
2004	12	13	20	18	59.7	13.314	-89.697	50.0	16	0.4	3.5	3.7
2004	12	14	1	34	35.0	13.228	-89.646	37.7	7	0.2	2.4	
2004	12	14	1	47	38.7	13.278	-89.732	33.4	6	0.2	2.3	
2004	12	14	3	44	53.7	13.301	-89.658	33.2	13	0.2	3.0	3.2
2004	12	14	4	40	1.9	13.339	-89.629	47.9	16	0.2	3.9	4.1

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.

2004	12	14	5	8	0.8	13.310	-89.724	33.2	16	0.2	3.1	3.0
2004	12	14	5	14	30.9	13.288	-89.739	33.4	8	0.1	2.6	
2004	12	14	5	25	23.0	13.279	-89.678	32.1	9	0.2	2.8	
2004	12	14	5	37	9.4	13.274	-89.675	31.9	7	0.1	2.6	
2004	12	14	5	39	44.1	13.280	-89.658	25.1	7	0.1	2.5	
2004	12	14	5	51	17.1	13.323	-89.693	32.3	8	0.1	2.9	
2004	12	14	6	13	44.4	13.338	-89.713	41.4	11	0.3	3.1	2.7
2004	12	14	9	21	45.9	13.266	-89.725	21.0	9	0.2	2.6	
2004	12	14	9	27	8.8	13.314	-89.722	32.4	8	0.2	2.5	
2004	12	14	10	41	52.6	13.269	-89.732	32.7	6	0.2	2.6	
2004	12	14	11	11	58.5	13.296	-89.655	33.3	11	0.2	2.9	
2004	12	14	11	48	14.8	13.265	-89.705	24.5	8	0.2	2.6	
2004	12	14	13	42	35.3	13.254	-89.703	33.4	11	0.2	3.2	
2004	12	14	14	21	40.3	13.190	-89.733	31.2	5	0.1	2.6	
2004	12	14	17	42	47.3	13.200	-89.739	13.2	7	0.3	2.6	
2004	12	14	17	57	20.8	13.243	-89.679	32.9	10	0.3	3.0	
2004	12	14	18	22	5.3	13.168	-89.630	40.8	21	0.3		4.6
2004	12	14	18	30	42.0	13.213	-89.577	32.3	4	0.3	2.7	
2004	12	14	18	34	9.1	13.235	-89.762	25.9	8	0.2	2.7	
2004	12	14	19	17	36.0	13.183	-89.658	13.1	7	0.2	2.5	
2004	12	14	22	13	25.3	13.287	-89.705	32.0	9	0.3	2.7	

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.

2004	12	14	22	24	41.8	13.302	-89.718	53.3	14	0.4	3.3	
2004	12	15	0	59	20.9	13.277	-89.722	32.8	12	0.4	3.1	3.2
2004	12	15	1	25	15.6	13.274	-89.746	31.0	14	0.3	3.3	3.5
2004	12	15	2	42	5.4	13.311	-89.754	48.8	12	0.3	3.3	3.4
2004	12	15	4	59	30.9	13.289	-89.750	31.7	8	0.2	2.8	
2004	12	15	6	36	48.3	13.121	-89.695	50.0	10	0.2	2.4	
2004	12	15	8	40	14.9	13.271	-89.740	43.7	11	0.3	3.0	
2004	12	15	9	28	33.9	13.243	-89.692	13.1	4	0.2	2.6	
2004	12	15	10	6	7.5	13.221	-89.770	35.8	6	0.3		
2004	12	15	15	15	44.4	13.208	-89.698	31.1	13	0.3	3.2	
2004	12	15	17	24	3.1	13.221	-89.726	10.6	5	0.1	2.4	
2004	12	15	19	46	24.5	13.251	-89.673	29.7	5	0.2	2.4	

Sismicidad frente a Playa Los Cobanos, Departamento de Sonsonate durante los días 13,14 y 15 de diciembre de 2004.