



*RED SÍSMICA DE PUERTO RICO*  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA  
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ  
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO –  
PO BOX 9017 | MAYAGÜEZ, PR 00681-9017  
787-833-8433, 787-265-5452 | FAX: 787-265-1684



## Secuencia sísmica Enero 2014

Red Sísmica de Puerto Rico  
Departamento de Geología, Recinto Universitario de Mayagüez  
Universidad de Puerto Rico  
Mayagüez, Puerto Rico

10 de febrero de 2014

### 1. Introducción

La Red Sísmica de Puerto Rico ha detectado y localizado una secuencia sísmica a partir de un terremoto principal el día 13 de enero de 2014 a las 00:01:05 UTC o 12:01:05 AM hora local y réplicas asociadas (ver figura 1). Esta actividad sísmica ocurrió en la zona sísmica de la Falla de los 19°N. Aunque esta zona ha sido definida por una falla hipotética de movimiento lateral sinistral que corre paralelamente a la costa norte de Puerto Rico a una distancia promedio de unos 70 km, aún no es claro qué o cuáles son las fallas geológicas que se encuentran en el área. Sin embargo, se estima que el proceso de ruptura no ha tomado lugar en la falla propuesta, y sus explicaciones se detallan más adelante. La manifestación de eventos como este pueden ayudar a esclarecer su naturaleza. Independientemente de la falla que generó esta secuencia, los mismos están directamente relacionados a la interacción de las placas de América del Norte y el Caribe. La zona noreste del Caribe posee una convergencia oblicua entre estas dos placas, donde la placa de América del Norte choca contra la del Caribe y se sumerge por debajo de ésta. La interfase entre estas dos placas es áspera, pero la colisión al ser continua resulta en atascamientos frecuentes, los cuales son superados una vez ocurren los terremotos, que es la liberación de la energía acumulada a lo largo de los años. A diferencia de otros eventos que ocurren en la Zona Sísmica del Sombrero o en la Trincheras de Puerto Rico más al noreste y norte, respectivamente, donde el movimiento es predominantemente vertical,

la zona de los 19°N es un área de movimiento predominantemente lateral. Sin embargo, el evento aparenta no tener relación con movimientos laterales, sino verticales como veremos mas adelante.

La microplaca de Puerto Rico y las Islas Vírgenes se encuentra entre las placas antes mencionadas. La constante interacción entre las placas va acumulando energía que se libera en forma de terremotos y a su vez va deformando la microplaca como resultado de ese choque. Los enjambres y secuencias sísmicas son reflejo de la deformación que ocurre mediante la liberación súbita de la energía. En el caso de eventos en fallas de movimiento horizontal las probabilidades de generar un tsunami son bajas, ya que el componente vertical es mínimo en este tipo de evento sísmico. Sin embargo, no se descarta totalmente debido a que muchos eventos no son puramente laterales solamente, sino que pueden ser oblicuos o que contengan tanto un componente lateral como horizontal. En dichos casos es posible que ocurran tsunamis pequeños. Según se explicará más adelante, el evento de las 12:01:05 AM ocurrió con un gran componente vertical de falla inversa y un pequeño componente sinistral de movimiento lateral. Sin embargo, no se han detectado cambios significativos en el nivel del mar (en los mareógrafos ni en las boyas DART) que sugieran que un tsunami se haya generado por causa del evento principal.

## **2.   Trasfondo histórico**

Los enjambres y secuencias sísmicas ocurren con frecuencia en diversas partes del mundo. En la región de Puerto Rico y las Islas Vírgenes se pueden detectar debido a la ubicación de instrumentos sismográficos sofisticados. Esta actividad sísmica se ha observado desde que la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) comenzó operaciones para mediados de la década de los 70. La instalación de mejores instrumentos y una mayor cantidad de los mismos en nuestra región ha garantizando un incremento en la detección de eventos más pequeños, y la localización de mayor cantidad de eventos sísmicos en los enjambres y secuencias.

El evento principal registrado el 13 de enero de 2014 se categoriza como el sismo más fuerte registrado en la RSPR desde el 2004. Eventos históricos en el área que aproximan el mismo lugar pueden ser los del 2 de mayo de 1787 y 28 de julio de 1943, ambos con daños asociados e intensidades superando los observados en este evento. Entre los eventos registrados por la RSPR

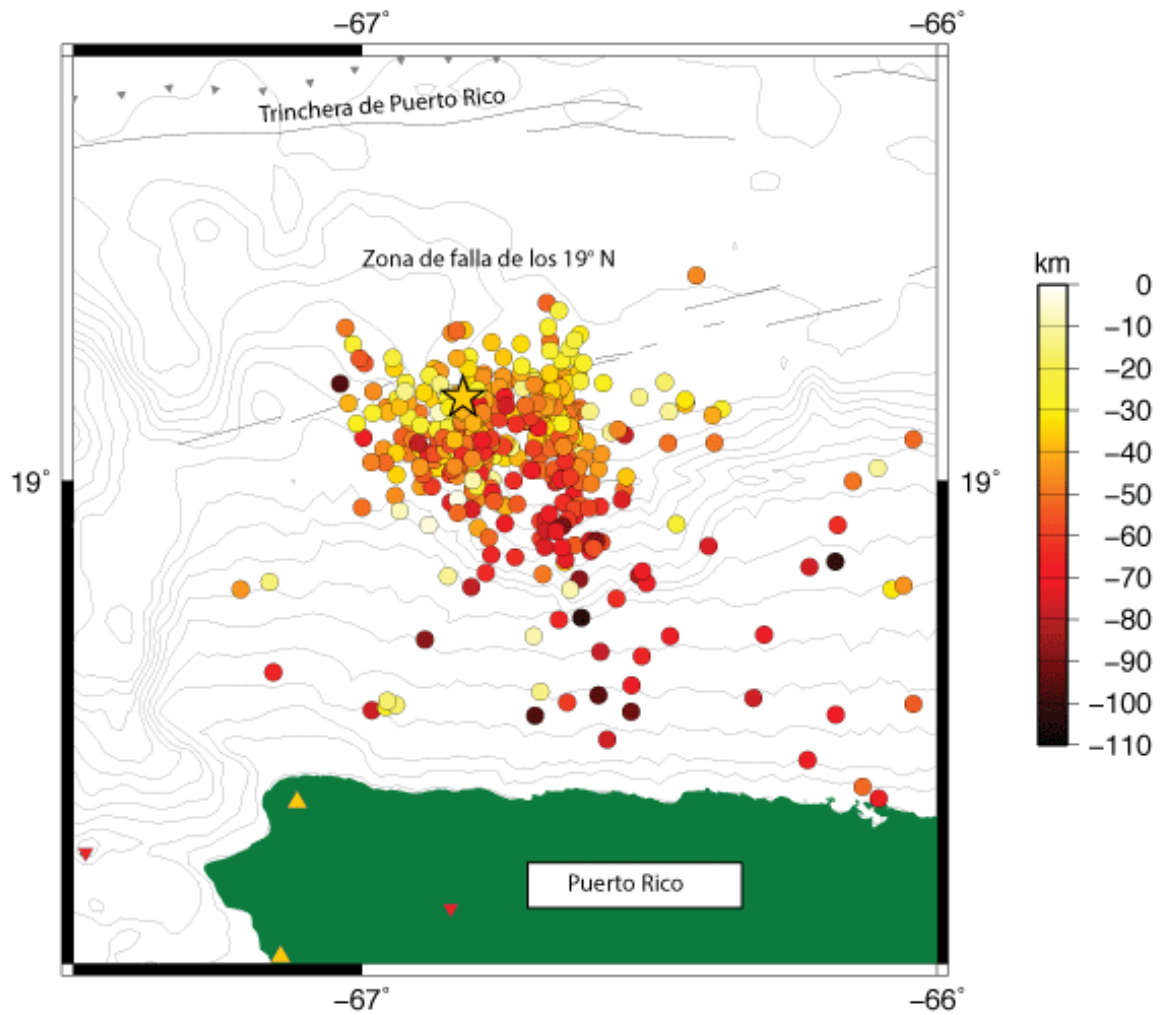


Figura 1: Mapa mostrando epicentro del evento principal (estrella) y las 466 réplicas registradas hasta el 31 de enero de 2014. Los eventos caen en la zona de la falla de los 19° Norte. Los colores de los eventos representan profundidad en kilómetros según la barra de colores a mano derecha del mapa. Triángulos representan estaciones sísmicas de la RSPR.

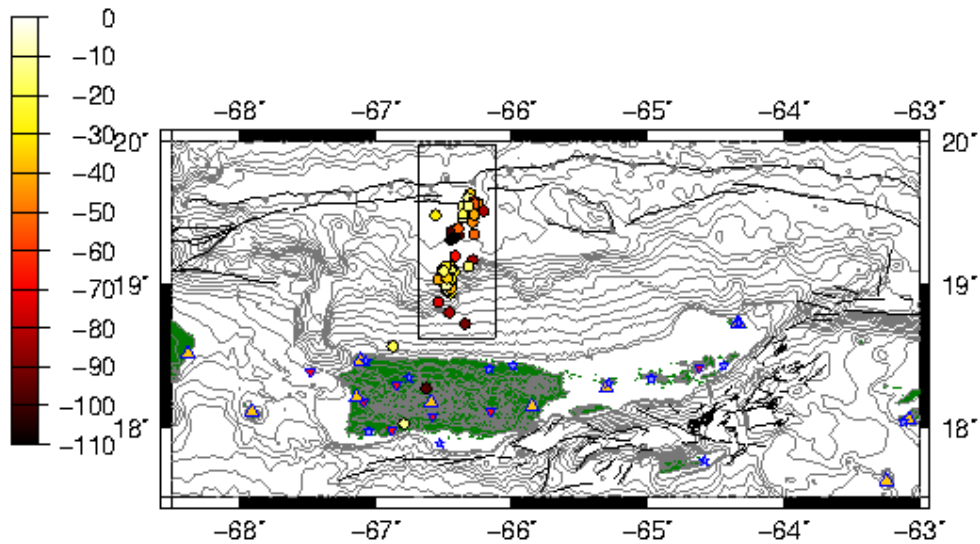
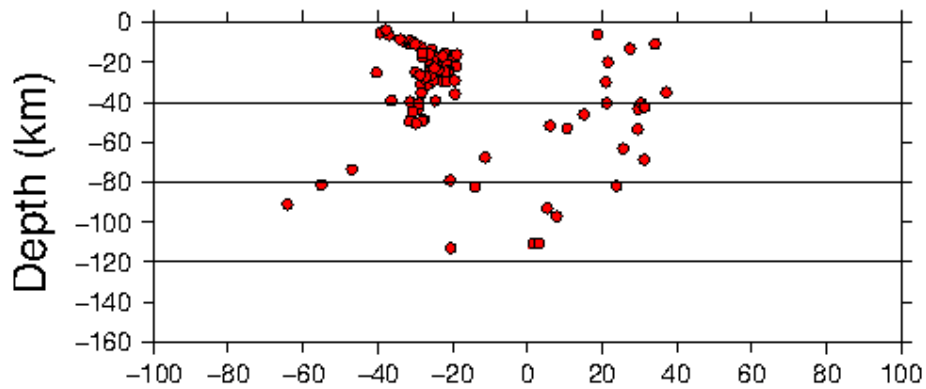
desde el 2004, se encuentra en segundo lugar un evento de Md 6.1 ocurrido a unos 26 km de profundidad en la Zona Sísmica del Sombrero el 11 de octubre de 2008 a las 6:40:16 AM hora local. Otros 24 eventos significativos se han registrado desde el 2004 cuyas magnitudes superan M5, incluyendo los dos eventos profundos del 2010 con epicentros en Aguas Buenas (24 de diciembre) y en Moca (16 de mayo). Secuencias sísmicas y/o enjambres han sucedido cercano a la zona de este evento del pasado 13 de enero. Durante los días 14 y 15 de febrero (ver figura 2) se registraron y procesaron más de 100 eventos con una distribución orientada norte-sur, al parecer muy similar a la observada en esta ocasión.

### 3. Actividad Sísmica

Al momento de publicar este reporte, la actividad sísmica asociada a este evento sísmico del 13 de enero, comprende de un total de 635 temblores, que incluyen 466 eventos localizados y 169 temblores indeterminados. Afortunadamente, gracias a la cobertura de estaciones, los eventos indeterminados (eventos pequeños que son registrados en una o dos estaciones; resultando en poca información para poder localizarlos) han sido mínimos. La figura 1 muestra la distribución de eventos registrados desde el 13 de enero hasta el 31 de enero de 2014. Se puede ver que los epicentros de los eventos (estrella en el caso del evento principal; círculos para las réplicas) se ubican en la zona de la Falla de los 19°N y la región Norte de Puerto Rico. Las réplicas asociadas a esta secuencia sísmica se caracterizan por tener magnitudes que variaron de 1.85 Md a 4.24 Md y profundidades que variaron de 3 km a 104 km. Del total de eventos localizados (466), 67 activaron los sistemas de localización automáticos de la RSPR, estos sistemas permiten una respuesta rápida para conocer los parámetros del evento sísmico y poder así determinar su potencial tsunamigénico. La figura 3 muestra la cantidad de eventos acumulados por fecha adaptándose a la fórmula empírica de Omori modificada.

La secuencia sísmica comenzó con el evento de magnitud 6.4 del lunes, 13 de enero de 2014 a las 04:01:05 UTC o 12:01:05 AM hora local. La localización final producida por analistas en la RSPR está dada por la latitud 19.1385°N, longitud -66.8231°E y profundidad 36 km. Este evento fue sentido en toda la isla pero la intensidad máxima registrada fue de V en la escala de Mercalli Modificada (MMI) en el municipio de Arecibo (ver la sección 5 para más detalles).

## Feb14-15\_2009



© 2013 Mar 19 23:43:32 generated by script PRViewplottergmt

Figura 2: Actividad sísmica observada durante los días 14 y 15 de febrero de 2009. Este enjambre consta de 104 eventos orientados particularmente de norte a sur. La secuencia del evento del 13 de enero de 2014 guarda una similitud con esta actividad, con la única excepción que en febrero 2009 no se observó evento principal en el enjambre.

Otros 6 eventos significativos en la secuencia ocurrieron entre el 13 y el 16 de enero, siendo 2 de ellos sentidos en Puerto Rico. Tres de estos eventos ocurrieron dentro de las 3 horas que siguieron al evento principal, el primero a las 03:08:08 AM hora local, el segundo a las 03:12:21 AM hora local y el tercero a las 06:50:02 AM hora local. La réplica más fuerte de toda la secuencia sísmica ocurrió el 14 de enero a las 08:08:50 AM hora local con una magnitud de 4.24 Md. Este evento de magnitud 4.24 Md fue ubicado en la latitud  $19.129^{\circ}N$  y la longitud  $-66.9183^{\circ}E$ , con profundidad de 42 km. El mismo fue reportado como sentido en las regiones norte, central, oeste y sur de Puerto Rico, con intensidad máxima de III en la escala de Mercalli Modificada (MMI) en el municipio de Mayagüez. Para este evento la RSPR recibió un total de 195 reportes de sismo sentido.

La figura 8 muestra la distribución de los eventos en el mapa y su dependencia de profundidad y magnitudes. La figura inferior muestra el mapa y una caja rectangular ubicada en una orientación de  $80^{\circ}$  hacia el noreste, en donde se pueden observar los eventos que caen dentro de dicha región en la figura superior. Esta figura logra visualizar la distribución de estos eventos en la dirección paralela a la falla de los  $19^{\circ}N$  cuyo rumbo es hacia el noreste. Del mismo modo se pueden observar en las figuras 6, 7, 9 los perfiles a  $20^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  y  $135^{\circ}$ , respectivamente, para ilustrar de mejor manera la distribución espacial de los eventos.

Un listado de los eventos no se encuentra en este reporte, pero puede ser obtenido mediante la página internet de la Red Sísmica de Puerto Rico en <http://www.prsn.uprm.edu/Spanish/catalogue/index.php> creando una búsqueda desde el 13 al 31 de enero de 2014 empezando desde las 12:00 am hora local y utilizando una búsqueda radial de un largo de 50 km con foco en el epicentro del evento.

## 4. Nivel del Mar

### 4.1. DARTS

La RSPR monitorea además de las estaciones sísmicas la actividad en el nivel del mar en los mareógrafos de costas y las boyas DART (*Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami*) al norte de Puerto Rico. Las boyas DART 41420 y 41421 (ver figuras 11 y 12) ubicadas a la misma latitud y aproximadamente 400 km al norte de la costa norte de Puerto Rico mues-

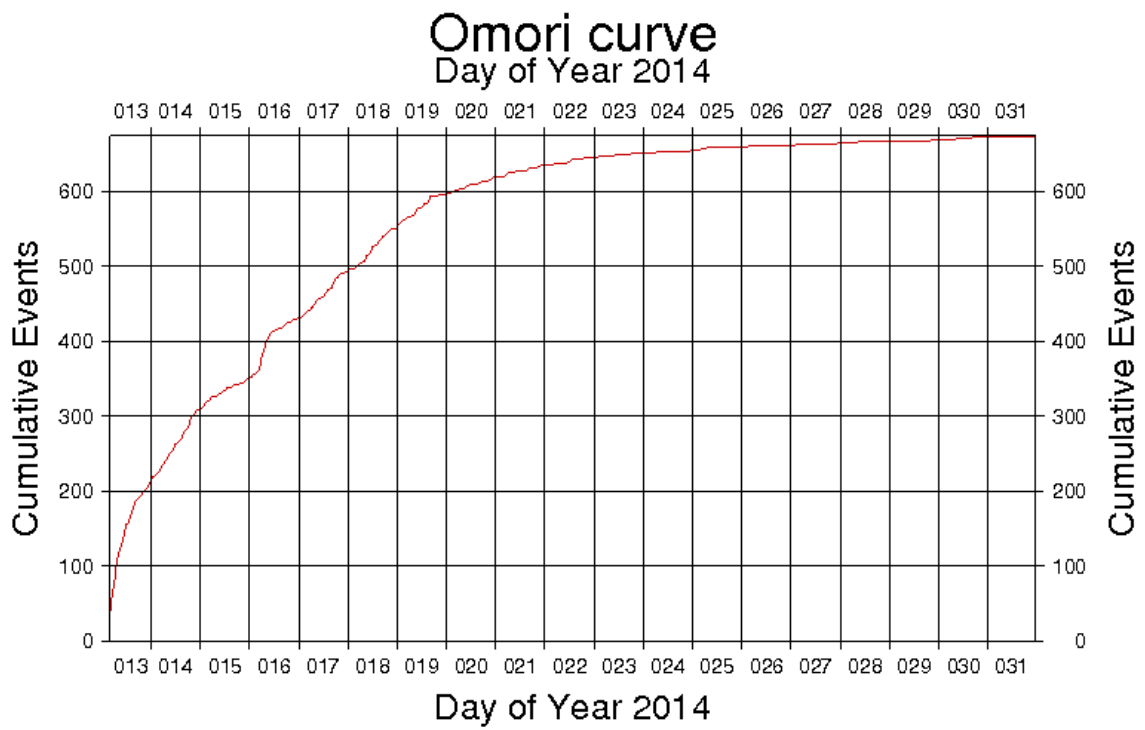


Figura 3: Gráfica que muestra la cantidad acumulativa de réplicas desde el evento principal del 13 de enero. La curva muestra como la cantidad de eventos disminuye (tiende a la horizontal) a medida que pasa el tiempo.

tran gráficos diferentes, y aunque ambas boyas detectaron la ondas sísmicas y entraron en el modo de registro rápido; la boya 41420 (ubicada al oeste) no muestra ningún cambio en el nivel del mar. Por otro lado, la 41421 (este) muestra ciertos cambios, pero éstos más bien pueden estar indicando problemas con el sistema. Sin embargo, sorprendentemente, la boya ubicada al sur de Puerto Rico, la 42407 (figura 13), muestra una pequeña subida justo al tiempo posterior al evento principal. La tendencia dura unos 30 minutos aproximados y no se puede observar con más resolución por el equipo no haber entrado en el modo de registro rápido de observaciones cada 1 minuto y/o 15 segundos. El registro de cada 15 minutos ilustrado en la figura indica que se pudo haber observado un cambio asociado al terremoto.

## 4.2. Mareógrafos

Los mareógrafos o estaciones para medir cambios en el nivel del mar costero ubicadas al norte de Puerto Rico no lograron registrar ningún cambio significativo en el nivel del mar. Las estaciones de Aguadilla, Arecibo y San Juan son los únicos mareógrafos en la costa norte de Puerto Rico y por ende los más próximos al epicentro del evento principal. La figura 14 muestra los datos de las estaciones de Arecibo y San Juan. Lamentablemente, el mareógrafo de Aguadilla se encontraba fuera de servicio. Los datos en la figura son de baja resolución (cada 6 minutos). Sin embargo, aun utilizando los datos de mayor resolución de cada minuto en la estación de Arecibo (figura 15), ningún cambio significativo se puede apreciar.

Al no observar cambios significativos del nivel del mar en los mareógrafos ni las boyas DART, se asume que el evento no tuvo la magnitud necesaria o el alcance al suelo marino desde sus 36 km de generación para crear un tsunami que pudiese afectar las costas de Puerto Rico. Sin embargo, esto no indica que el evento no haya generado un tsunami, lo que implica que sus ondas hayan sido de poca energía y hayan logrado dispersarse antes de llegar a las costas de Puerto Rico, o que su directividad haya sido favorable para otras direcciones, como lo puede evidenciar la señal potencialmente anómala en la boya DART al sur de Puerto Rico.



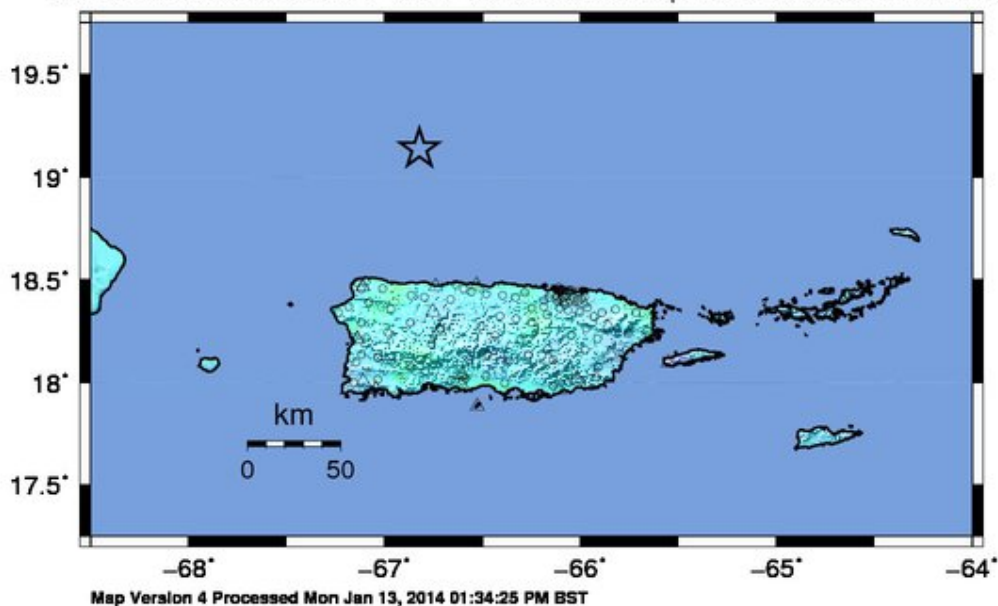
## 5. Aceleraciones

Los mapas de movimiento fuerte (*ShakeMaps*) son una representación de la distribución de las intensidades del temblor en base al movimiento del suelo ya sea la aceleración, la velocidad o el desplazamiento, y es un indicativo de cómo fué sentido el evento por la población. Como se puede ver en la figura 4, el evento de Magnitud 6.4 del día 13 de enero de 2014 fue reportado como sentido en toda la Isla. Según los registros obtenidos por la Red de Movimientos Fuertes de Puerto Rico, la intensidad máxima fue alrededor de V, en la escala de Mercalli Modificada (MMI), en el pueblo de Arecibo. Este valor significa que aunque el evento fue sentido ampliamente, el mismo no representó peligro para las estructuras de la Isla. En general se esperaría algún tipo de daño leve para una intensidad de VI, y así sucesivamente hasta llegar a la intensidad máxima de XII que indica daños severos o colapso total. Para la compilación del mapa también se utilizaron los reportes de la población mediante el portal: <http://redsismica.uprm.edu/Spanish/DFI/reportesismos.php>. En la página electrónica de la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) se recibieron 1261 reportes, en la página del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS) se recibieron 1,450 reportes y en la utilidad geo-codificada (celulares) se recibieron 1,440; para un total de 4,151 reportes de personas que describieron cómo sintieron el temblor.

## 6. Causas

Estudios tectónicos de varias décadas sugerían desplazamientos activos horizontales en la falla de los 19°N. Este evento reciente comenzó aparentando una posible reactivación o liberación de energía acumulada por millones de años en un área que se pensaba podría estar extinta. Sin embargo, el mecanismo focal obtenido mediante las formas de onda implican lo contrario; un evento predominantemente compresional. Si el evento es sin duda ocasionado por un ambiente compresional, entonces, es reflejo que aun existe un componente de contracción en la Trinchera de Puerto Rico. El movimiento de la placa del Caribe hacia el este-noreste con respecto a la placa de América del Norte crea una serie de choques y desplazamientos en las fallas que se encuentran al norte, dentro y sur de Puerto Rico. La actividad sísmica refleja la acumulación de energía en las fallas a medida que se deforman las rocas esperando la liberación en forma de terremotos y su eventual propagación de

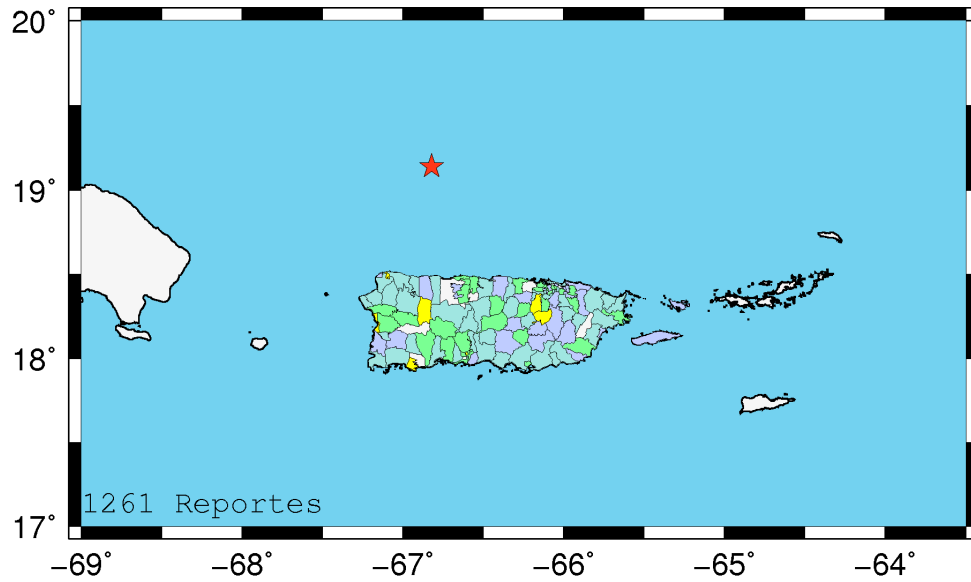
PRSN/PRSPM ShakeMap : 77.47 Km N-NE of Quebradillas, PR  
 JAN 13 2014 04:01:05 AM GMT M 6.4 N19.14 W66.82 Depth: 36.0km ID:20140113040105



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2011)

Figura 4: Mapa de movimiento fuerte (*ShakeMap*) representando la distribución de intensidades asociadas al evento principal del 13 de enero de 2014. Los círculos indican aquellos puntos donde la ciudadanía reportó cómo sintieron el evento. Triángulos representan la localización geográfica dde los instrumentos utilizados en el cálculo del mapa.



**GM** 2014 Jan 26 00:20:37

RED SISMICA DE PUERTO RICO - ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA									
<i>MOVIMIENTO PERCIBIDO</i>	Ninguno	Debil	Ligero	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte	Severo	Violento	Extremo
<i>EFFECTOS ASOCIADOS</i>	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Mínimos	Ligeros	Apreciables	Significativos	Mayores	Muy Fuertes
<i>INTENSIDAD</i>	I	II - III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Figura 5: Mapa de intensidades asociadas al evento principal del 13 de enero que fueron reportadas por la comunidad (*Community Internet Intensity Map*). Un total de 1261 reportes fueron llenados en línea para crear este mapa. Las intensidades máximas reportadas se ubicaron en Arecibo (MMI=V).

ondas sísmicas.

Analizando las formas de ondas recibidas en las estaciones de la RSPR en la región de Puerto Rico e Islas Vírgenes, se puede observar que el evento muestra una deficiencia de arribos impulsivos. Sin embargo, utilizando el tren de ondas se puede obtener un mecanismo focal que demuestra predominantemente movimiento vertical inverso. La figura 10 muestra el mecanismo obtenido por el Centro de Información Nacional de Terremotos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en Golden, Colorado. A tan sólo 36 km de profundidad, y la ubicación del evento, no parece indicar que el evento está asociado a la interface entre las placas de América del Norte y el Caribe, ya que a esa distancia de la trinchera los eventos de interface se encuentran más profundos. Por otro lado, el evento tampoco parece ser asociado a la falla de desplazamiento lateral sinistral de los 19°N ya que el mecanismo focal presenta un componente predominante inverso (buzamiento del plano de falla a los 82°) con poco componente de desplazamiento horizontal hacia la izquierda ( $\lambda = 107^\circ$ ). Finalmente, utilizando la distribución de réplicas, y el hipocentro del evento principal, parece indicar un evento con naturaleza compresiva en la placa superior, es decir, en la porción de la microplaca de Puerto Rico e Islas Vírgenes. Esta interpretación está de acuerdo con el componente de compresión asociado a la interacción entre las dos placas.

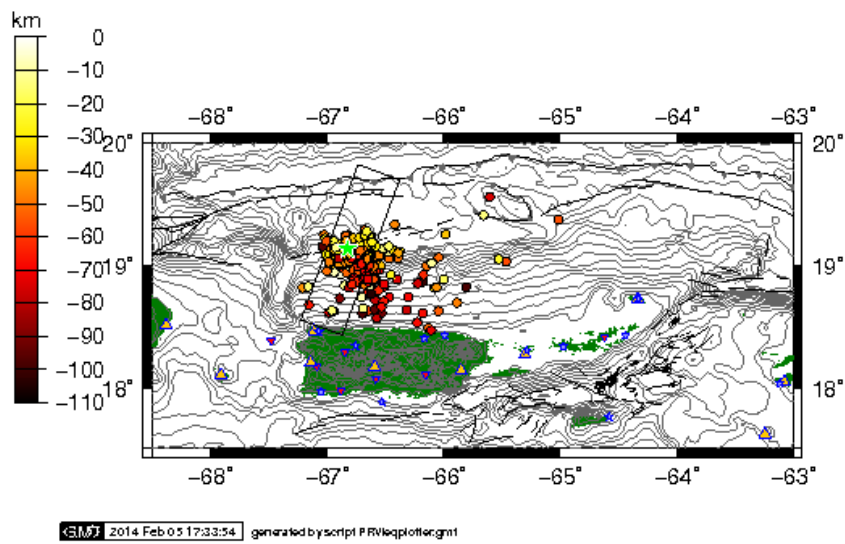
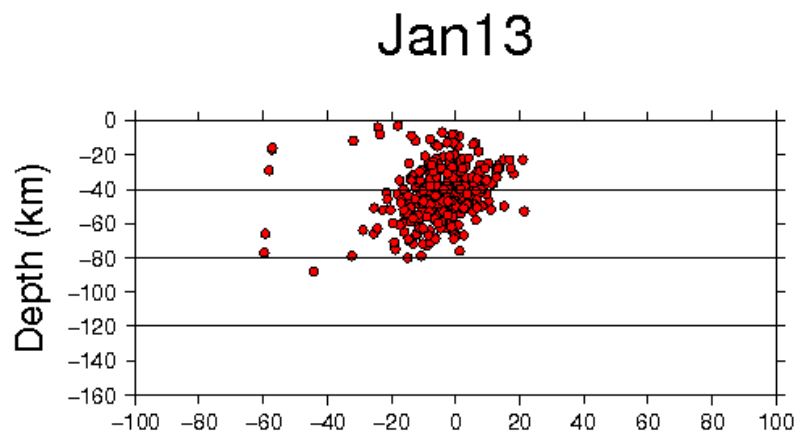
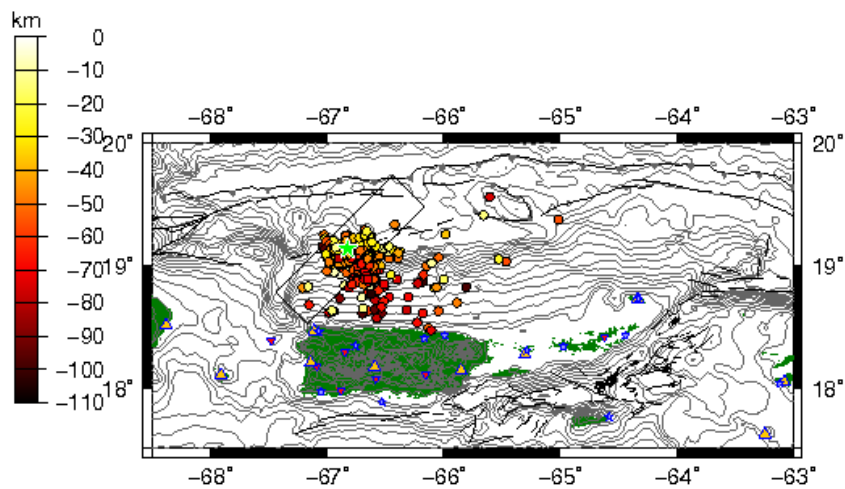
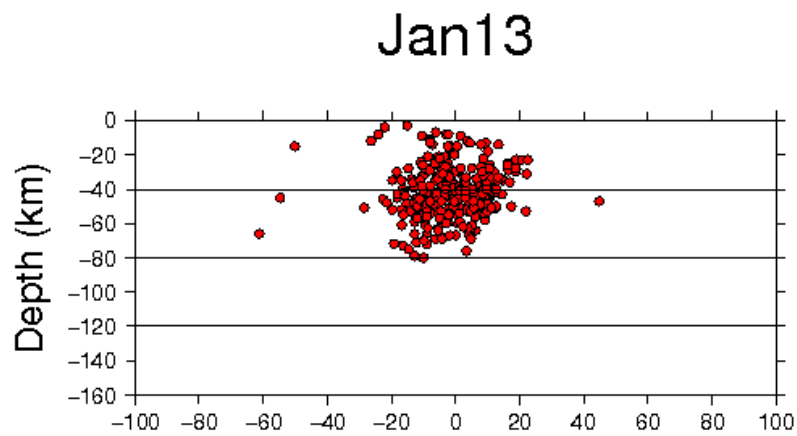
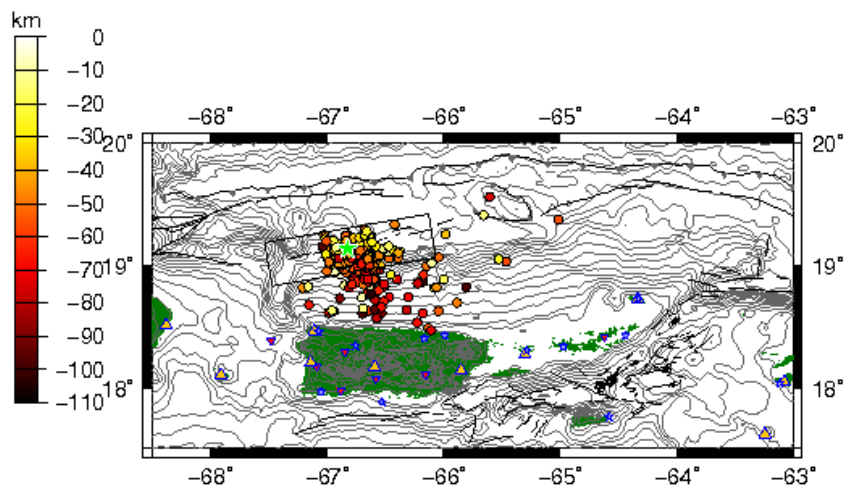
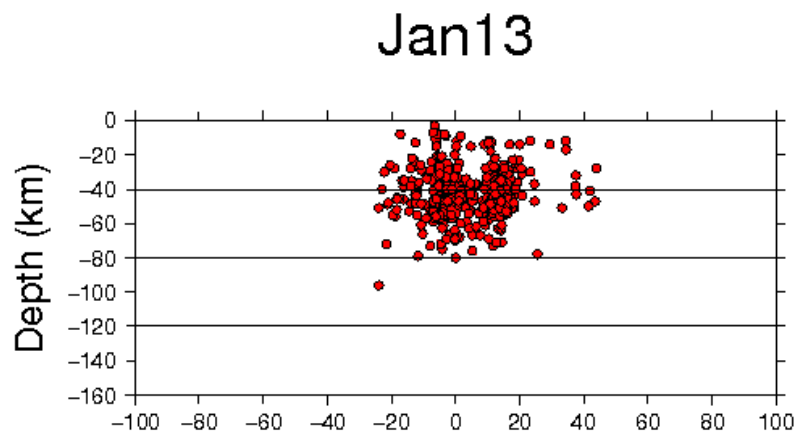


Figura 6: Distribución de eventos como función de profundidad en un perfil orientado cuasi-perpendicular al rumbo de la Trincheras de Puerto Rico ( $\phi = 20^\circ$ ). Profundidad de eventos sigue los colores en la barra como en la figura 1.



2014 Feb 05 17:34:56 generated by script PRViewplotter.gm1

Figura 7: Distribución de eventos como función de profundidad en un perfil orientado sub-paralelo a la subducción de América del Norte contra Caribe ( $\phi = 45^\circ$ ). Profundidad de eventos sigue los colores en la barra como en la figura 1.



2014 Feb 05 17:31:19 generated by script PRVleqplotter.gm1

Figura 8: Distribución de eventos como función de profundidad en un perfil orientado paralelo a ambos, la falla SPRSFZ y la subducción de América del Norte contra Caribe ( $\phi = 80^\circ$ ). Profundidad de eventos sigue los colores en la barra como en la figura 1. 15

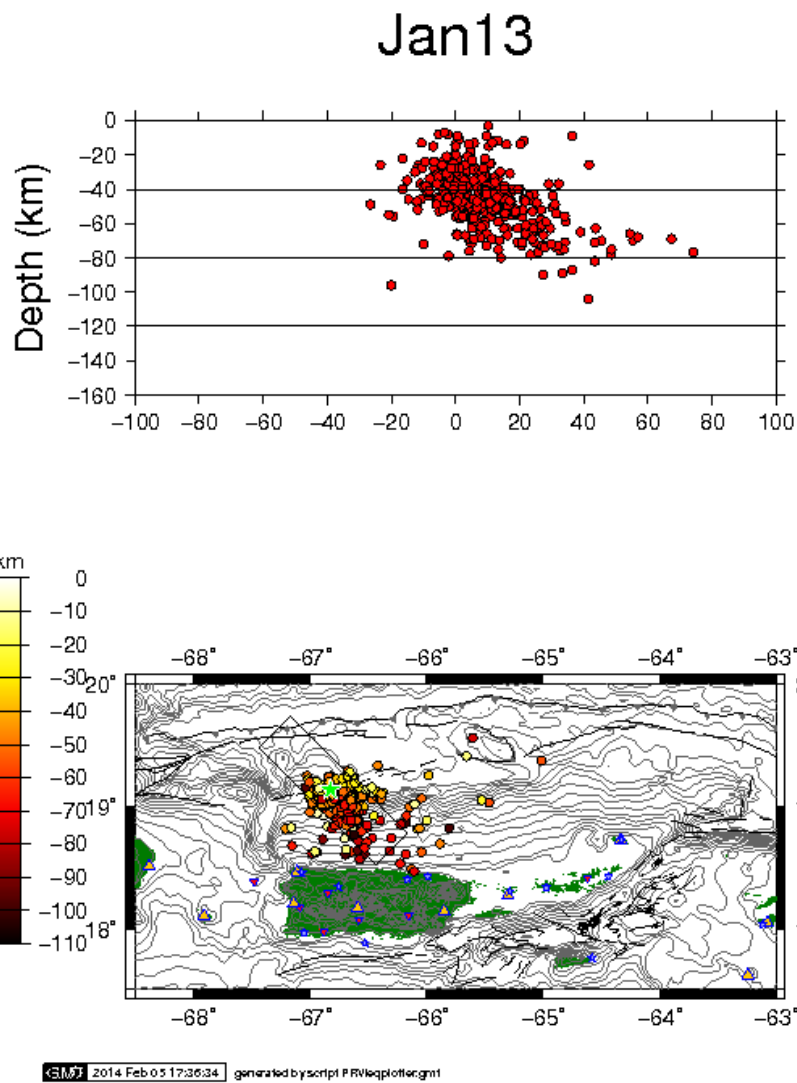


Figura 9: Distribución de eventos como función de profundidad en un perfil orientado sub-paralelo a la distribución de los eventos hacia el sureste ( $\phi = 135^\circ$ ). Profundidad de eventos sigue los colores en la barra como en la figura 1.



$$\phi=333^\circ \quad \delta=82^\circ \quad \lambda=107^\circ$$

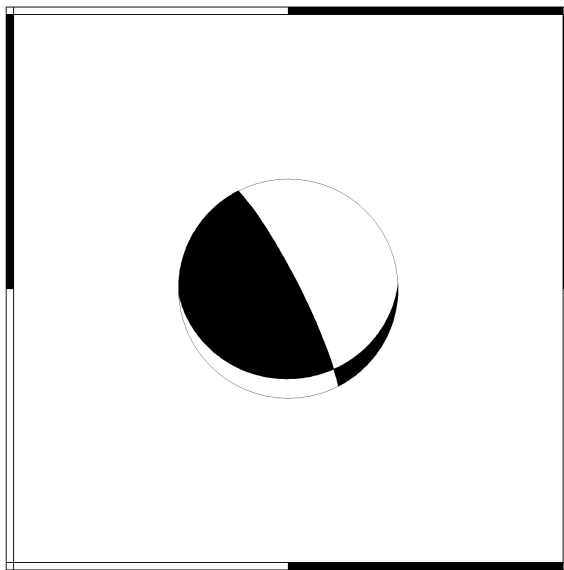


Figura 10: Mecanismo focal del evento del 13 de enero de 2014 a las 00:01:05 AM hora local. El plano de falla aparenta ser vertical ( $\delta = 82^\circ$ ) con rumbo hacia el norte-noroeste ( $\phi = 333^\circ$ ). Vea la figura 1 para la ubicación geográfica de este evento (representado por una estrella). Esta solución de mecanismo focal fue computada por el NEIC-USGS.

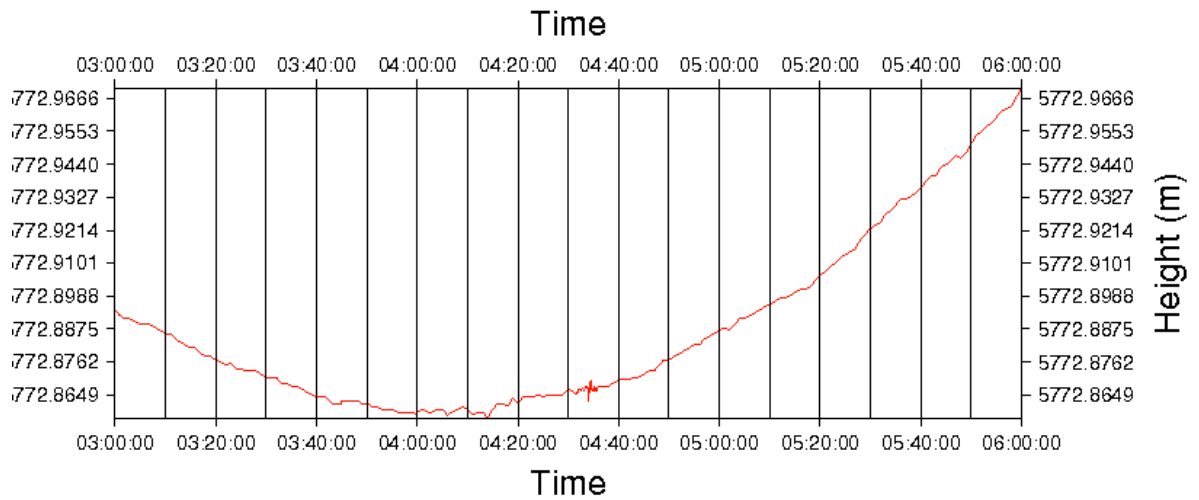


Figura 11: Historial del nivel del mar en la boyea DART 41420 entre las 03:00:00 UTC (11 pm hora local) y 06:00:00 UTC. La boyea está ubicada 328 millas nauticas al norte de la República Dominicana. Nótese que no se observa cambio alguno en la elevación del mar impuesto sobre la curva de la marea observada para la ubicación de la boyea. La boyea al detectar el paso de las ondas del sismo entra en el modo de recolección de datos cada minuto, proveyendo así una mejor resolución del nivel del mar de modo que se pueda observar cualquier disturbio asociado a un tsunami.

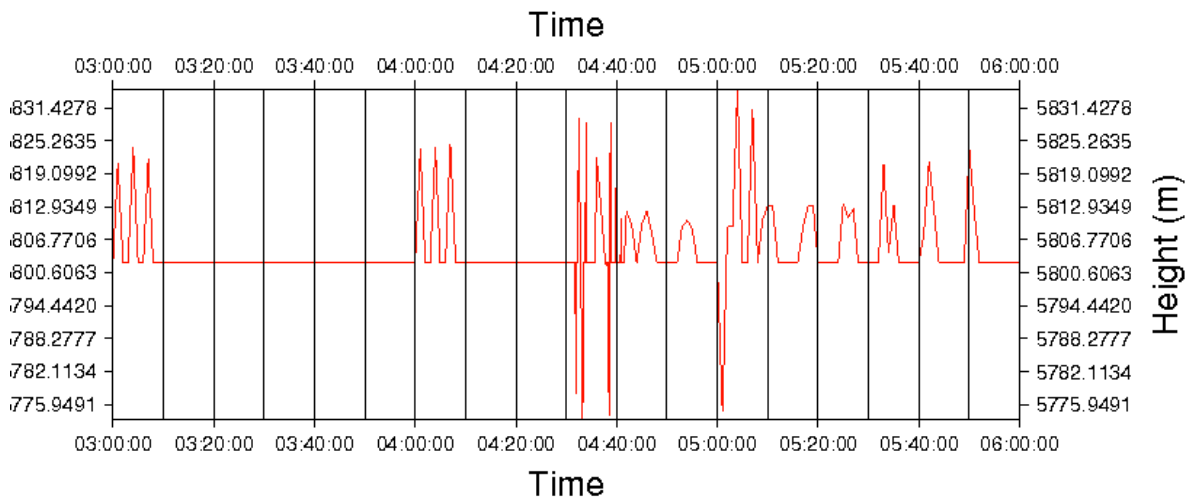


Figura 12: Historial del nivel del mar en la boya DART 41421 entre las 03:00:00 UTC (11 pm hora local) y 06:00:00 UTC. La boya está ubicada 320 millas nauticas al norte de St. Thomas y al este de la 41420. Nótese que este sistema presentaba problemas y no se sabe si logró registrar algo debido a este mal funcionamiento.

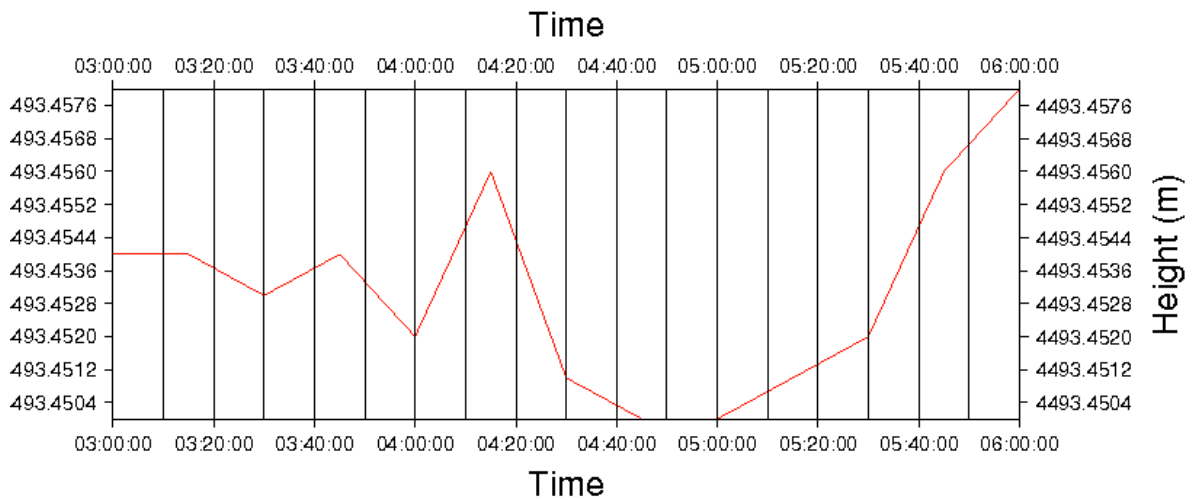


Figura 13: Historial del nivel del mar en la boyea DART 42407 entre las 03:00:00 UTC (11 pm hora local) y 06:00:00 UTC. La boyea está ubicada 230 millas nauticas al sur de Puerto Rico. Nótese que esta boyea al estar lejos del epicentro no entró en el modo de registro a cada minuto, por lo tanto sólo provee datos cada 6 minutos, sin embargo es posible observar una alza anómala justo al tiempo que se espera las olas llegasen a la ubicación de la boyea lo que indica que talvez se produjo un cambio que sorprendentemente no se observó en las costas de Puerto Rico.

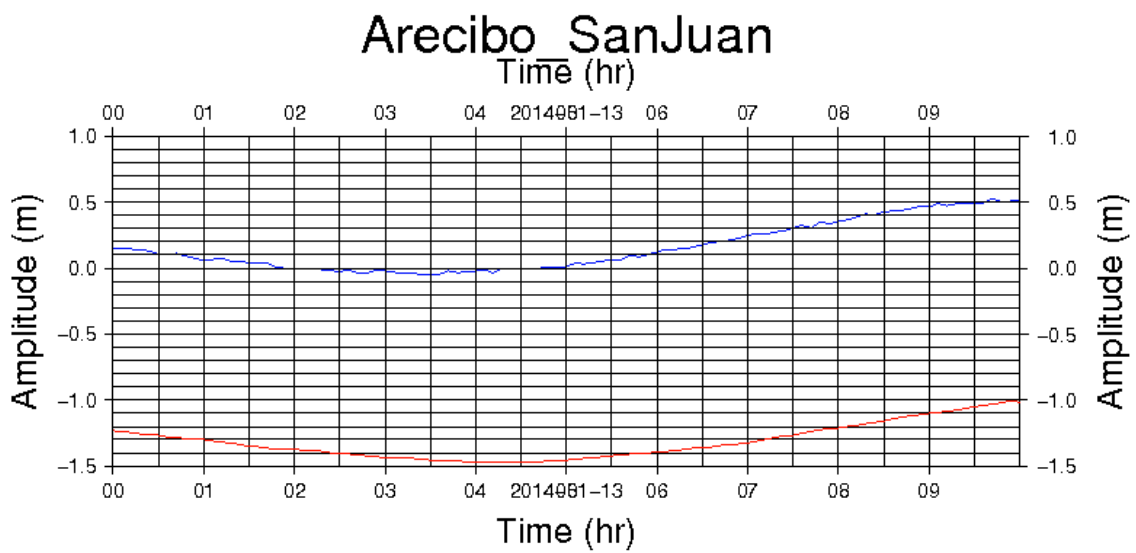


Figura 14: Datos de fluctuaciones en el nivel del mar tomados cada 6 minutos en los mareógrafos de San Juan (línea roja) y el de Arecibo (azul) desde las 00:00:00 UTC hasta las 10:00:00 UTC. Curva no presenta fluctuación asociada a tsunami, sino los cambios típicos de mareógrafos costeros.

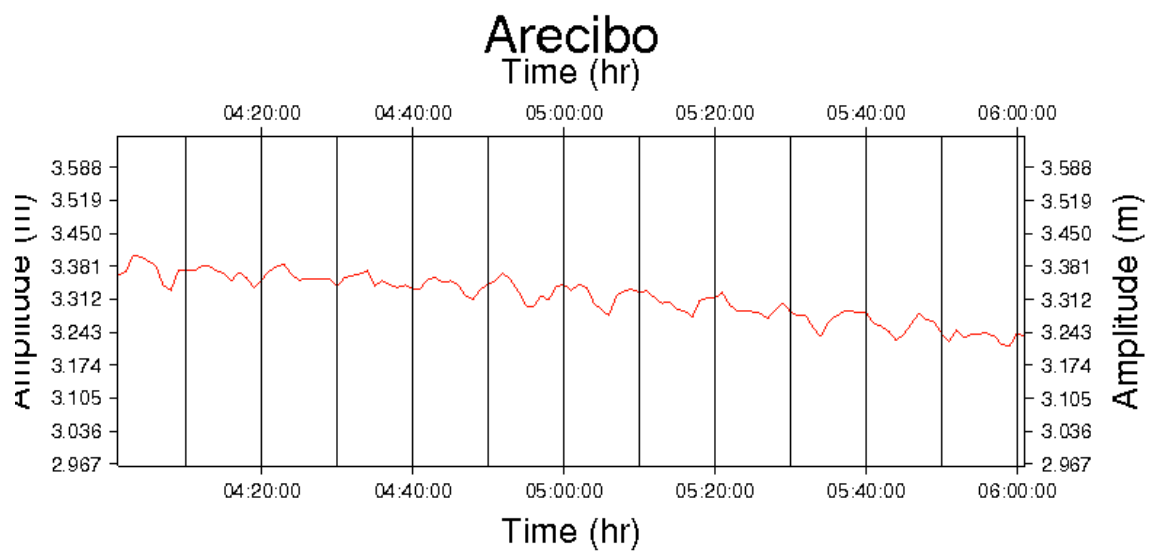


Figura 15: Datos de fluctuaciones en el nivel del mar tomados cada minuto en el mareógrafo de Arecibo desde 03:00:00 UTC hasta las 06:00:00 UTC. Aunque existe mayor resolución que en la figura 14, una clara indicación de alguna fluctuación asociada a un tsunami no es evidente.