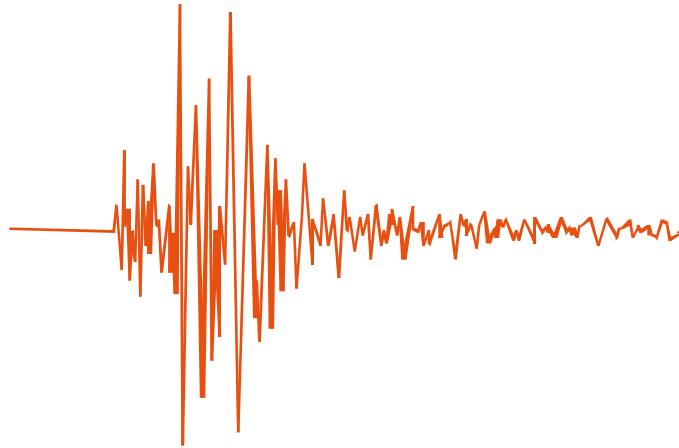




# INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU

Dirección de Sismología - CNDG



El Sismo del 20 de Octubre de 2006 (6.4Mw)  
Región Central del Perú

<sup>1</sup>Hernando Tavera  
<sup>1</sup>Isabel Bernal  
<sup>2</sup>Rocio Parillo  
<sup>2</sup>Cesar Jimenez  
<sup>2</sup>Jose Millones

Lima-Perú  
Octubre, 2006

- 1: Dirección de Sismología
- 2: Servicio de Emergencia Sísmica - CNDG

## INDICE

INTRODUCCION

PARAMETROS HIPOCENTRALES

INTENSIDADES

ORIENTACION DE LA FUENTE

ANALISIS ESPECTRAL

REPLICAS

REGISTROS DE ACELERACION

ESPECTROS DE RESPUESTA

COCIENTES ESPECTRALES

CONCLUSIONES

## **INTRODUCCION**

La importante actividad sísmica presente en el Perú es debida al proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el mismo que se produce con una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999). Este proceso es responsable de la ocurrencia de los sismos de mayor magnitud que se hayan producido frente a la línea de costa (Dorbath et al, 1990a; Tavera y Buforn, 2001), todos asociados al contacto sismogénico interplaca. Estos sismos son muy frecuentes en el tiempo y en un año es posible registrar la ocurrencia de hasta 60 sismos con magnitudes  $m_b \geq 4.5$ , y en general todos son sentidos en las localidades cercanas a la línea de costa y al epicentro con intensidades mínimas de IV-V (MM). En el interior del continente existen otras fuentes generadoras de sismos, todas asociadas a la presencia de fallas geológicas y que producen sismos de moderada magnitud con menor frecuencia que los debidos a la colisión de placas, pero al ocurrir cerca de la superficie producen similares rangos de intensidades.

El día 20 de Octubre de 2006, ocurre un sismo de magnitud 6.4Mw en el extremo sur-oeste de la región central de Perú con epicentroubicado a 90 km al oeste de la localidad de Pisco (Ica); sin embargo, no produjo tsunami ni alteraciones en el nivel medio de oscilación del mar. El epicentro del sismo se ubica entre las áreas de ruptura de los sismos ocurridos en Lima en 1974 e Ica en 1996 y sus parámetros hipocentrales son presentados y discutidos a continuación.

## **EI SISMO DEL 20 DE OCTUBRE DE 2006**

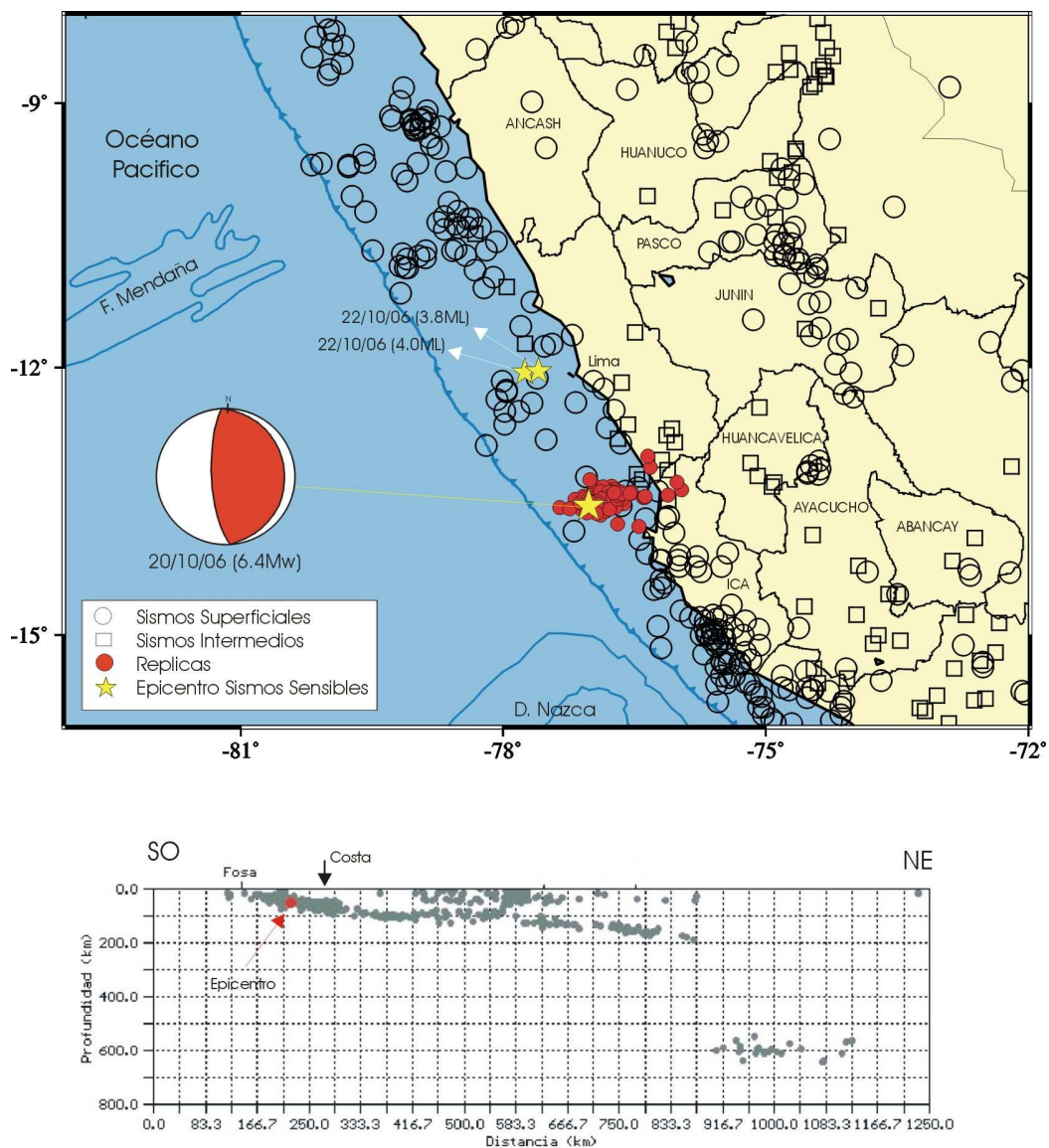
### **Parámetros hipocentrales**

Los parámetros del sismo del 20 de Octubre fueron obtenidos utilizando información de las estaciones sísmicas de la RSN-IGP distribuidas en la región central del Perú (Figura 1):

Tiempo Origen:	10h 48m 52 seg. (Hora Universal)
	05h 48m 52 seg. (Hora Local)
Latitud Sur:	-13.55°
Longitud Oeste:	-77.02°
Profundidad:	43 km
Magnitud:	6.4 Mw

De acuerdo a la Figura 1, el epicentro del sismo se ubica a 90 km en dirección oeste de la localidad de Pisco, estando su foco ubicado a una profundidad de 43 km; por lo tanto, el sismo tuvo su origen en la superficie de contacto sismogenico entre las placas de Nazca y Sudamericana.

Este sismo de moderada magnitud se caracterizo por presentar un sismo precursor que ocurrió 3 minutos antes con una magnitud de 4.5ML y epicentro ubicado a 88 km al oeste de Pisco. Del mismo modo, el sismo fue seguido por una serie de replicas que durante las primeras 24 horas del día se contabilizan en 247 replicas.



**Figura 1.** Distribución espacial de la sismicidad superficial e intermedia en la región central de Perú. Ubicación epicentral del sismo del 20 de Octubre de 2006 y distribución de sus replicas ocurridas durante las primeras 48 horas. La esfera corresponde al mecanismo focal obtenido a partir de la polaridad de la onda P. Las estrellas pequeñas indican la ubicación de los epicentros de los sismos sensibles ocurridos el día 22 de Octubre de 2006, los mismos que fueron sentidos en el Callao y Lima Metropolitana.

## INTENSIDADES

Después de ocurrido el sismo del 20 de Octubre de 2006, se procedió a realizar evaluaciones de los efectos y daños causados por el sismo en los departamentos de Ica, Lima, Ancash, Huancavelica y Huancayo. Los resultados de dicha evaluación en la escala de Mercalli Modificada se detallan a continuación (Figura 2):

**Intensidad V:** Intensidad evaluada en las localidades de Cañete, Chincha, Pisco, Lunahuana y Quilmana.

**Intensidad IV:** Intensidad evaluada en las localidades de Ica, Mala, Chilca, Calando y Palpa.

**Intensidad III:** Intensidad evaluada en Lima, Callao y localidades de Chosica, Ancon, Ricardo Palma, Castrovirreyna, Matucana y Huaral.

**Intensidad II:** Intensidad evaluada en las localidades de Barranca, Huacho, Huancavelica y Nazca.

De acuerdo a la figura, el sismo fue sentido desde la localidad de Barranca al norte de Lima, hasta Atico en Arequipa por el sur. Hacia el extremo oriental, el sismo fue sentido hasta Huancavelica.

Del mismo modo, se ha procedido a realizar evaluaciones en la ciudad de Lima Metropolitana considerando dos encuestas por distrito y los resultados obtenidos son (Figura 2):

**Intensidad IV:** Intensidad evaluada en los distritos de Villa el Salvador, La Molina, Chorrillos y Pachacamac.

**Intensidad III-IV:** Intensidad evaluada en los distritos de San Miguel, Surco y Rimac.

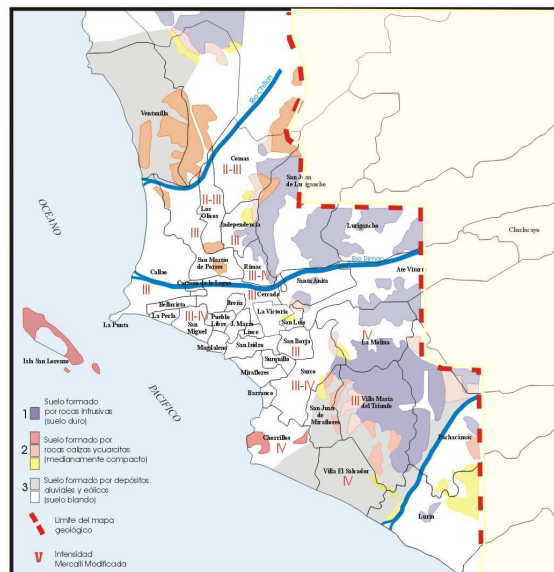


Figura 2.- Distribución de las intensidades regionales y en Callao / Lima Metropolitana producidas por el sismo del 20 de Octubre de 2006. Los valores de intensidad corresponden a la escala de Mercalli Modificada.

**Intensidad III:** Intensidad evaluada en los distritos de San Martín de Porras, Independencia, Callao, Cercado de Lima.

**Intensidad II-III:** Intensidad evaluada en los distritos de Los Olivos, Comas, Carabaillo y Puente Piedra.

En general, el sismo no produjo daños mayores en las localidades afectadas, siendo los más resaltantes la presencia de fisuras en las paredes de algunas viviendas en Pisco y en el caso de Lima, el desplome del techo de una capilla en Villa el Salvador. El sismo presentó un radio de percepción de 150 km aproximadamente.

## **ORIENTACION DE LA FUENTE**

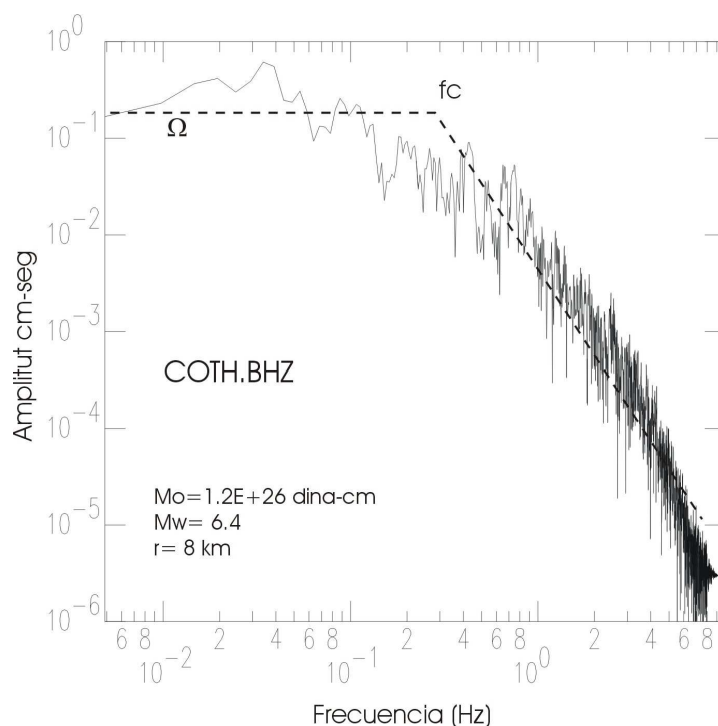
La orientación preliminar de la fuente sísmica fue obtenida a partir de los primeros movimientos de la onda P leídos en los registros de las estaciones de la Red Sísmica Nacional a cargo del Instituto Geofísico del Perú (Figura 1).

El sismo del 20 de Octubre presenta un mecanismo focal de tipo inverso con planos nodales orientados en dirección norte-sur y ejes de máxima presión en dirección este-oeste ( $\phi_1=354^\circ$ ,  $\delta_1=16^\circ$ ;  $\phi_2=178^\circ$ ,  $\delta_2=74^\circ$ ). La solución para la fuente sísmica es similar a la obtenida para otros sismos ocurridos en la misma región y asociados al proceso de subducción.

## **ANALISIS ESPECTRAL**

El tamaño del sismo principal ha sido estimado a partir de las dos características principales de los espectros de la amplitud del desplazamiento del suelo asumiendo un modelo de ruptura de tipo circular; es decir, el momento sísmico y el radio de fractura. En

Figura 3 se presenta el espectro para la onda P correspondiente a la estación CTH ubicada a 250 km en dirección SE del epicentro del sismo. Así, el momento sísmico es de  $1.2 \times 10^{26}$  dina-cm, equivalente a una magnitud momento de 6.4Mw. El radio de fractura ha sido estimado en 8 km.



**Figura 3.-** Espectro de la amplitud del desplazamiento de la onda P para el sismo del 20 de Octubre de 2006 correspondiente a la estación de Cotahuasi (COTH).

## **REPLICAS**

Después de ocurrido el evento principal, hasta el día domingo 22 de Octubre se ha llegado a registrar un total de 456 replicas con magnitudes menores a 3.0 ML; por lo tanto, no produjeron daños ni fueron sentidas por la población. Según la Figura 1, las replicas se distribuyen alrededor del epicentro formando un área alargada en dirección este-oeste con dimensiones de 115x50 km<sup>2</sup> y que representaría el área total de ruptura producida por el sismo. Como es natural, el mayor número de replicas se produjeron el día viernes 20 para luego decaer en numero a los días siguientes.

## **REGISTROS DE ACELERACION**

En general, el estudio del movimiento del terreno en términos de series de tiempo de aceleración, velocidad y desplazamiento permite describir las características básicas del fenómeno sísmico en el punto de registro. En tal sentido, cada sismo que es analizado permite disponer de información importante al momento de la toma de decisiones dentro del campo de la ingeniería sísmica. En tal sentido, los registros del sismo ocurrido el día 20 de Octubre de 2006, así como del evento precursor, fueron corregidos por instrumento y línea de base, antes de proceder a identificar los picos máximos de aceleración sin la aplicación de ningún tipo de filtro.

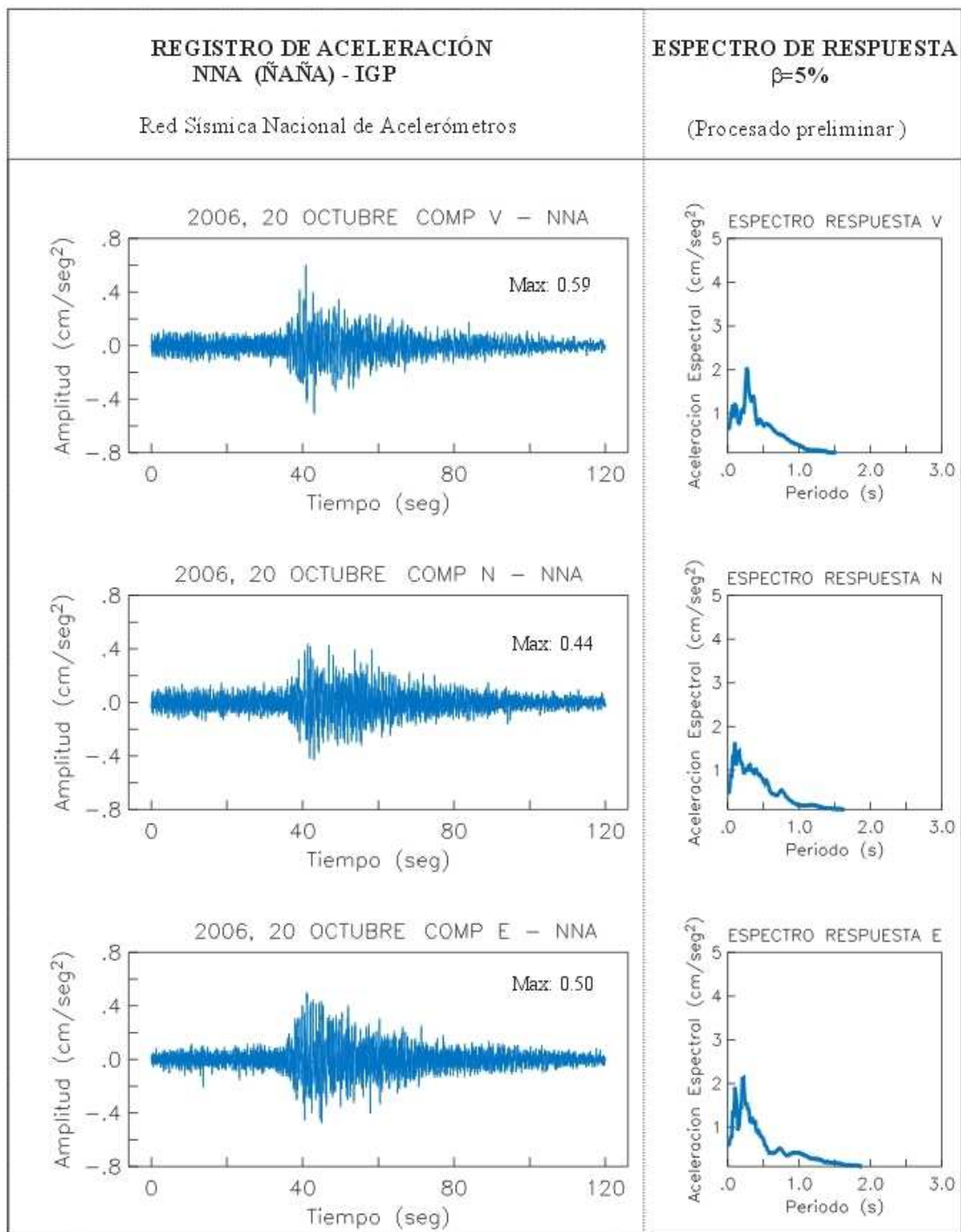
En las Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10, se presentan los registros de aceleración del sismo principal y precursor correspondientes a las estaciones de Mayorazgo (MAY), Ñaña (NNA) y La Rinconada (RIN). Las máximas aceleraciones registradas en la estación RIN fueron de 47.4 cm/seg<sup>2</sup> para el sismo principal y de 6.73 cm/seg<sup>2</sup> para el precursor, la estación de MAY registro aceleraciones de 16.6 cm/seg<sup>2</sup> para el sismo principal y de 1.79 cm/seg<sup>2</sup> para el precursor y finalmente, la estación de NNA presentó valores de 5.97

cm/seg<sup>2</sup> para el sismo principal y de 0.59 cm/seg<sup>2</sup> para el precursor. Estas diferencias en la aceleración están directamente relacionadas las características del suelo sobre el cual están instaladas las estaciones, RIN sobre material de relleno, MAY sobre suelo conglomerado y NNA sobre roca.

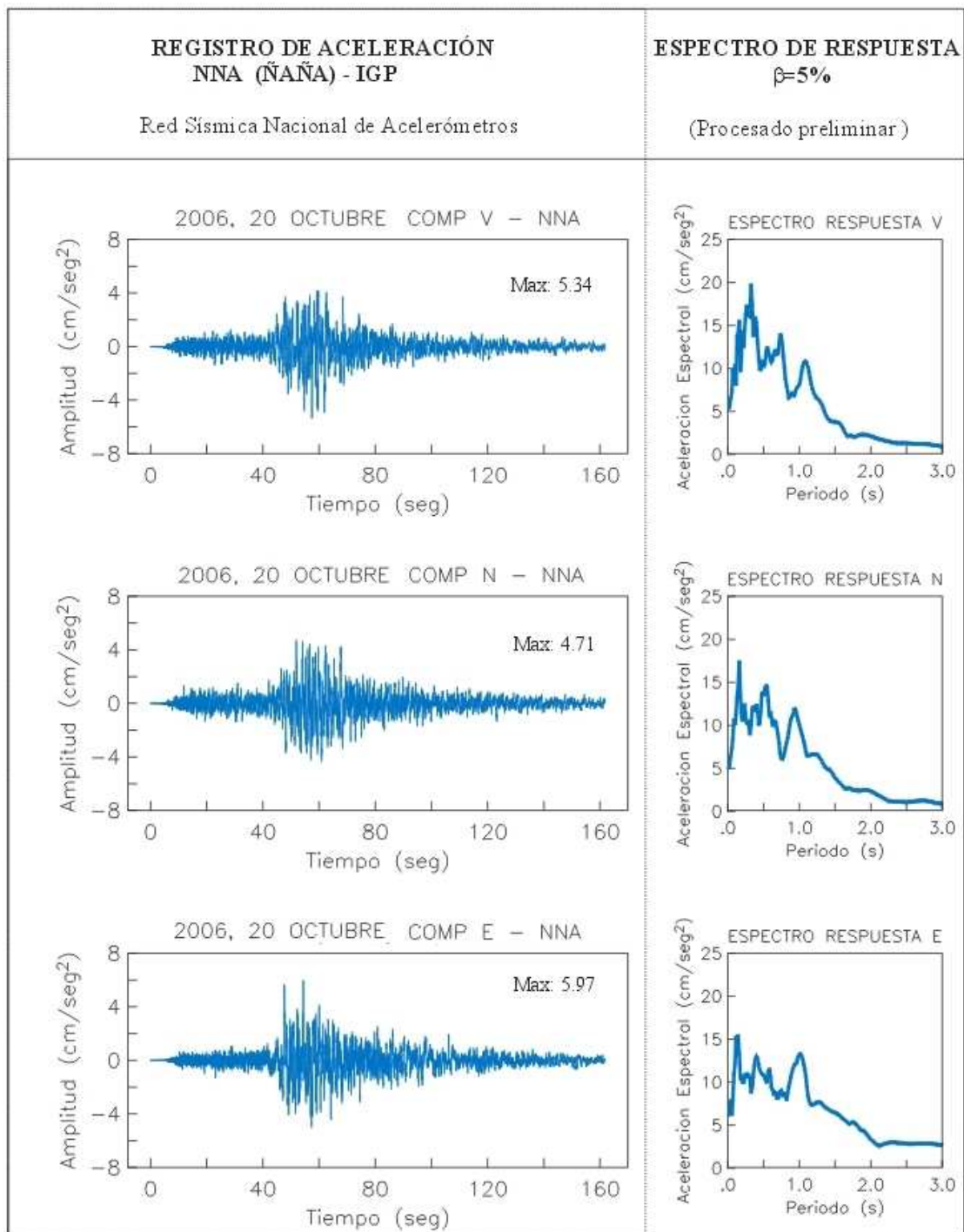
## **ESPECTROS DE RESPUESTA**

Para los registros de RIN, MAY y NNA se han obtenido sus espectros a fin de disponer de una representación grafica de la respuesta elástica máxima para una serie de osciladores de un grado de libertad con periodo y amortiguamiento determinado (5% de amortiguamiento). En las Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10, se presentan los resultados obtenidos.

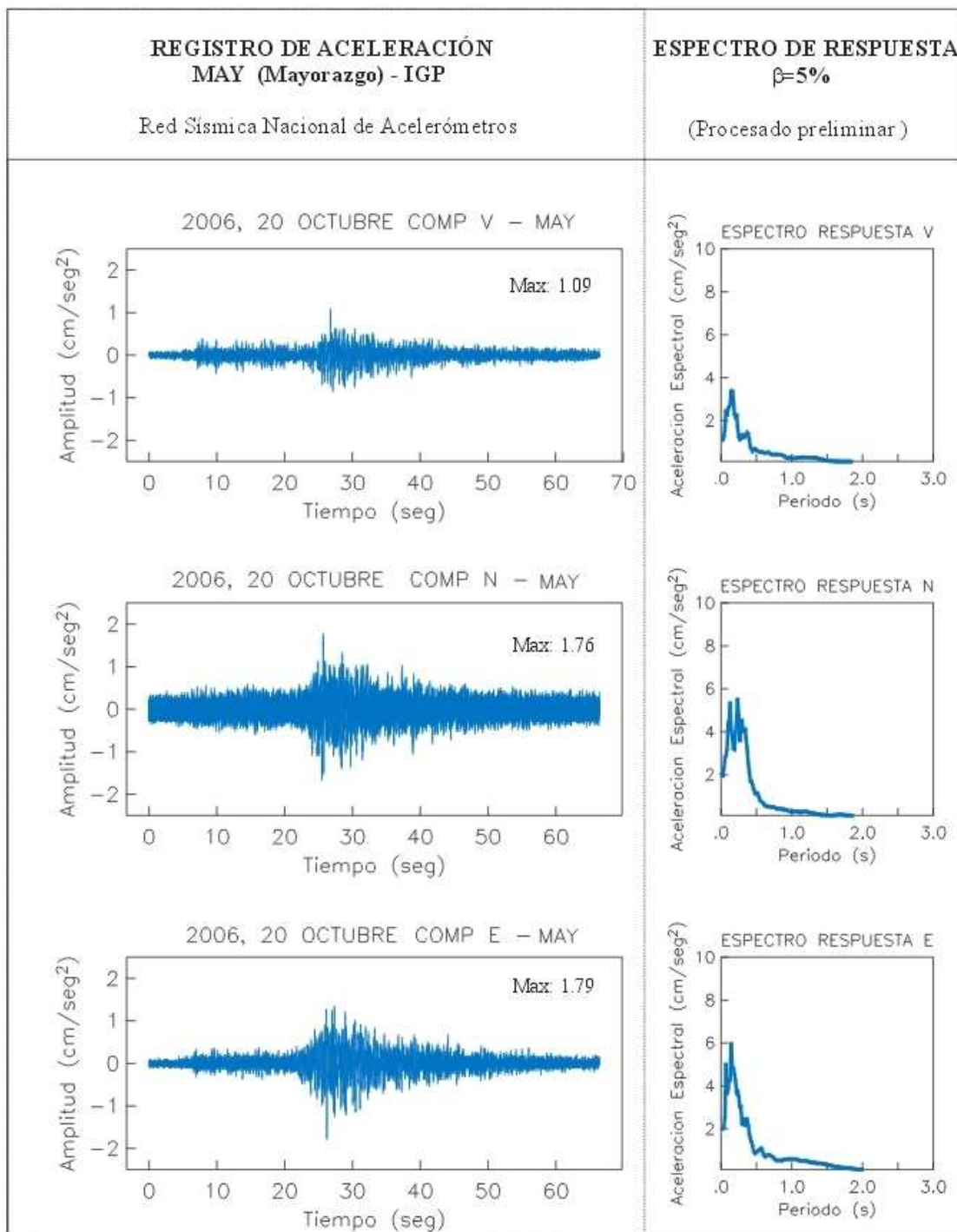
De los espectros de respuesta se observa que el sismo principal en la estación de RIN presenta aceleraciones máximas espectrales de 243 cm/seg<sup>2</sup> (EO), 146 cm/seg<sup>2</sup> (NS) y 96 cm/seg<sup>2</sup> (V), todos para un periodo de 0.4 segundos; además, en la componente NS se observa otro pico a 0.28 segundos. La estación MAY presenta una aceleración máxima espectral de 58 cm/seg<sup>2</sup> para un periodo de 0.2 segundos y NNA, una aceleración máxima espectral de 20 cm/seg<sup>2</sup> para periodos entre 0.2 y 0.4 segundos. Para el precursor, las aceleraciones máximas espectrales son de 20 (RIN), 6 (MAY) y 2.2 (NNA) cm/seg<sup>2</sup> respectivamente, todos para los mismos periodos antes indicados.



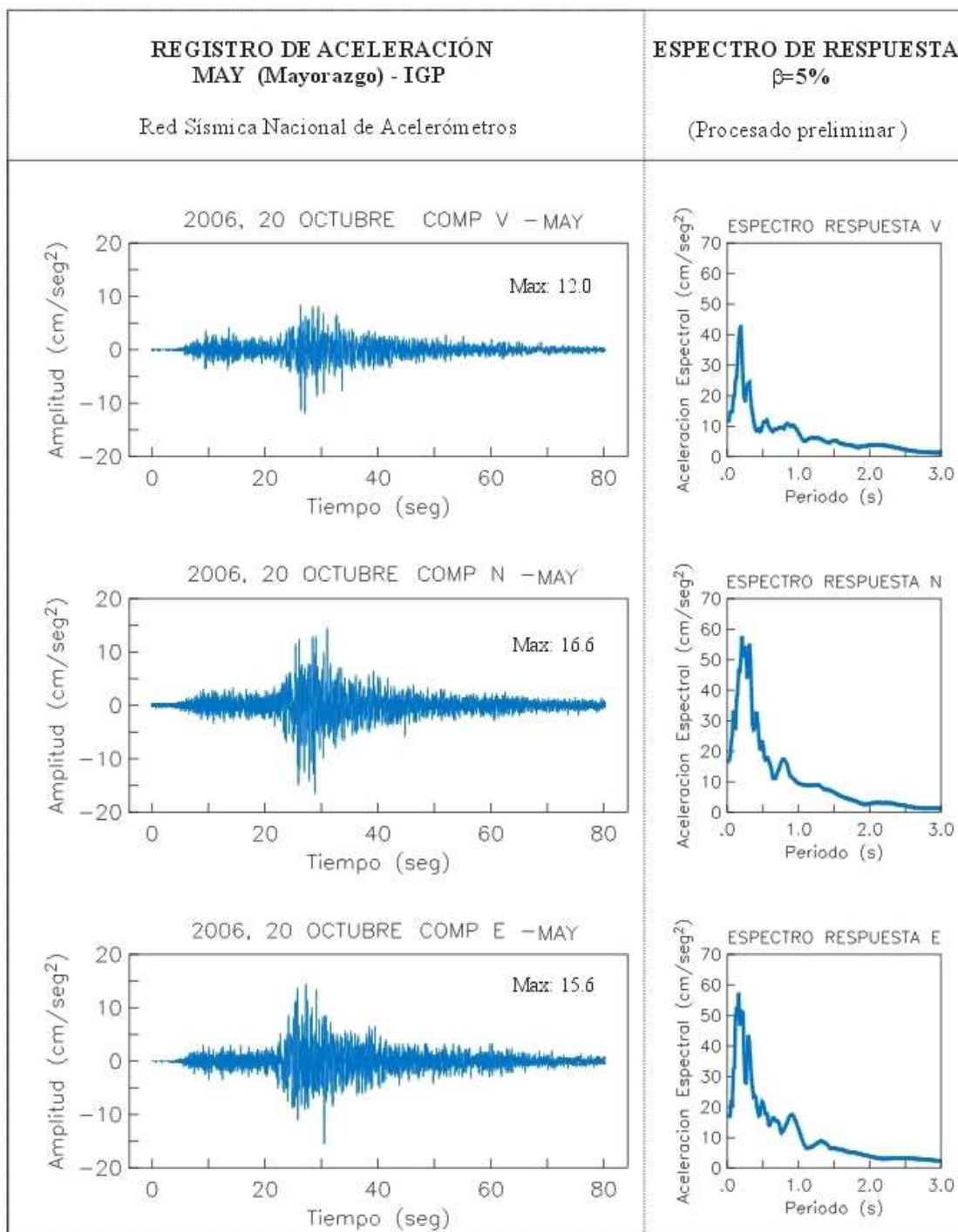
**Figura 4.-** Registros del evento precursor en la estación de NNA con sus respectivos espectros de respuesta.



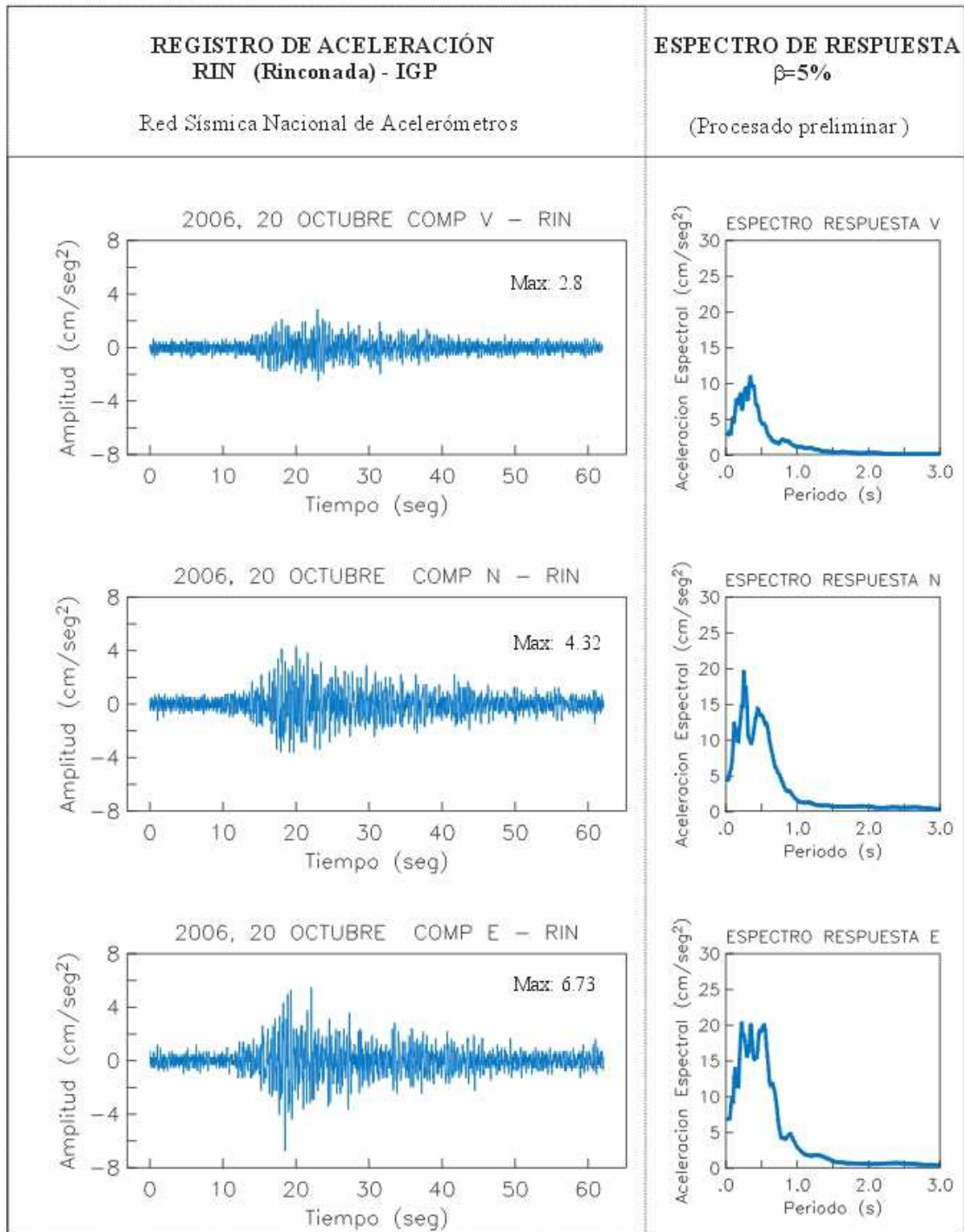
**Figura 5.-** Registros del evento principal en la estación de NNA con sus respectivos espectros de respuesta.



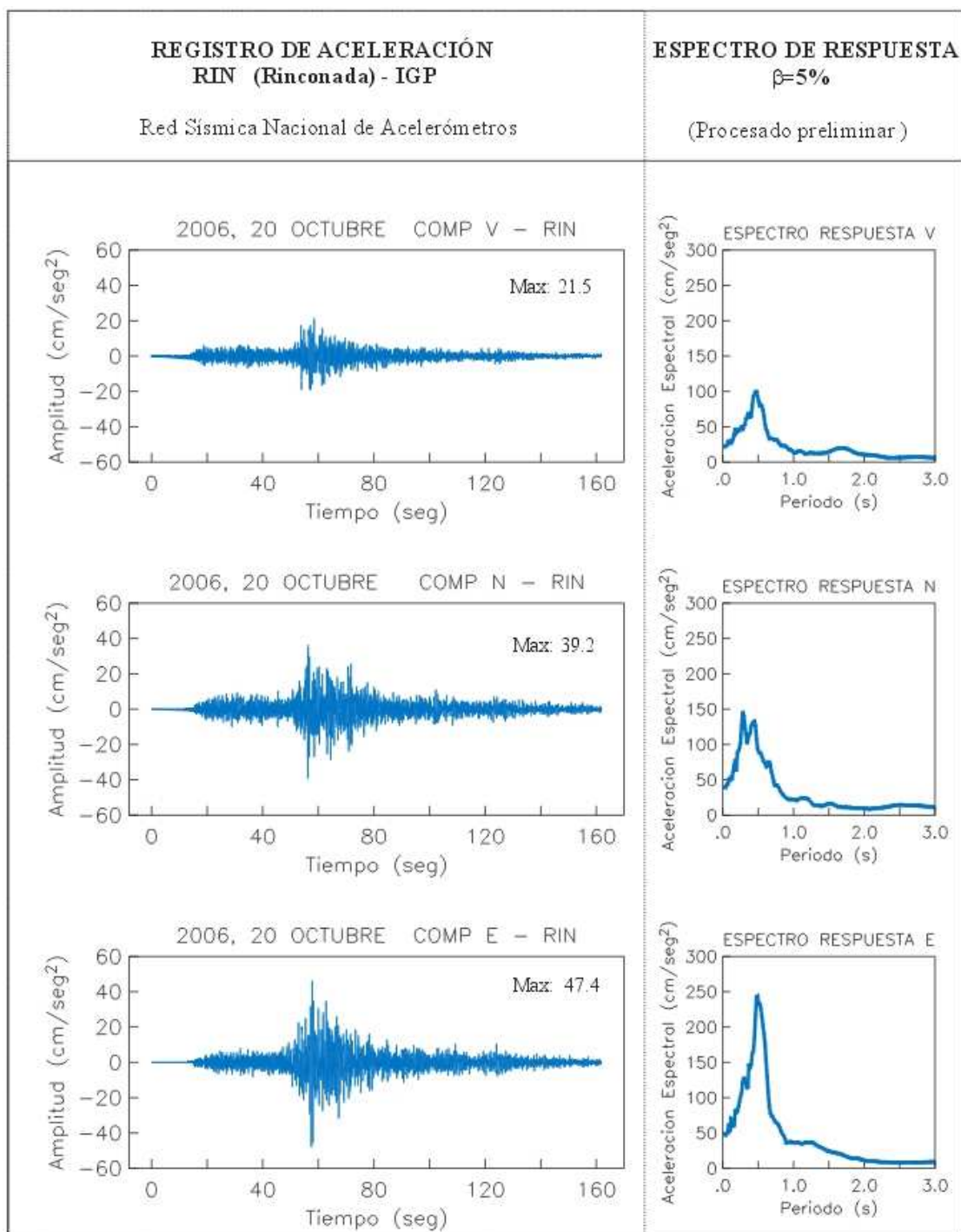
**Figura 6.-** Registros del evento precursor en la estación de MAY con sus respectivos espectros de respuesta.



**Figura 7.-** Registros del evento principal en la estación de MAY con sus respectivos espectros de respuesta.



**Figura 8.-** Registros del evento precursor en la estación de RIN con sus respectivos espectros de respuesta.

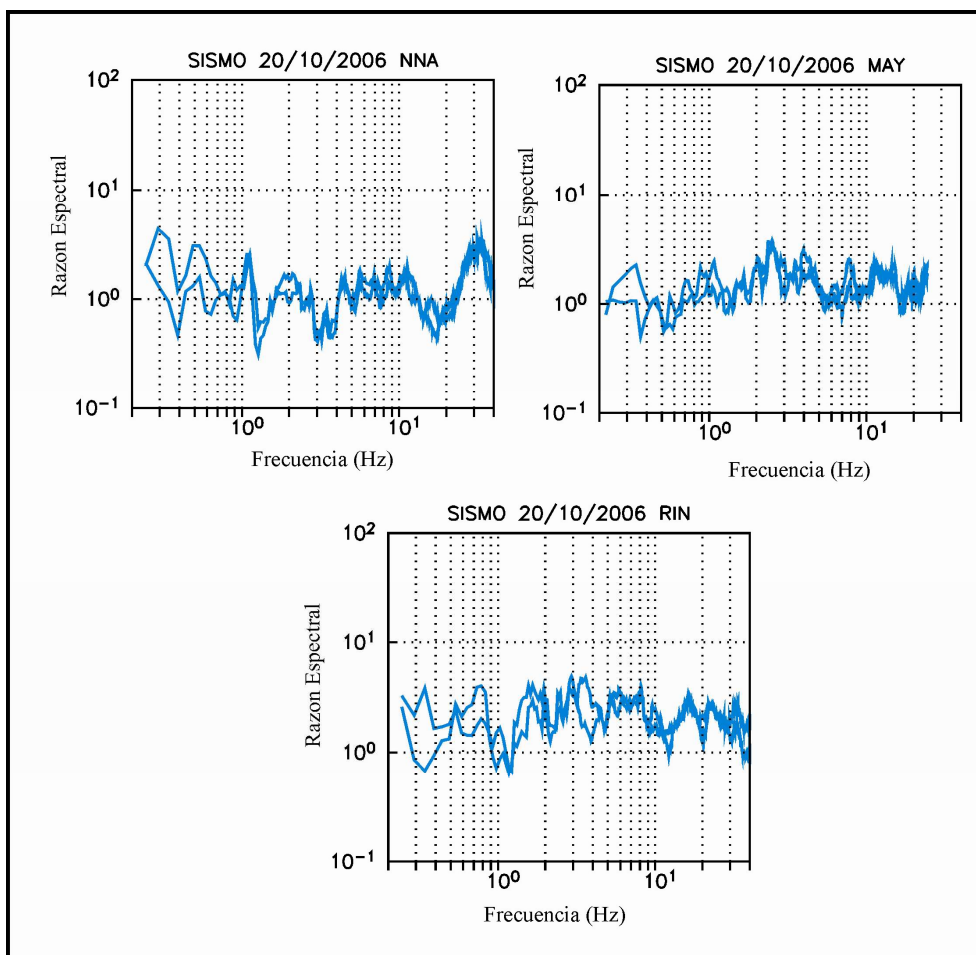


**Figura 9.-** Registros del evento principal en la estación de RIN con sus respectivos espectros de respuesta.

## **COCIENTES ESPECTRALES**

A fin de estimar los efectos de sitio en los emplazamientos de las estaciones acelerométricas incluidas en este informe, se elaboran los cocientes espectrales entre las componentes horizontales y la vertical del registro del sismo para una misma estación. Se debe indicar que esta técnica sugiere que si el efecto de sitio es causado por una geología simple, ella proporciona una estimación robusta de la frecuencia y amplitud del primer modo de resonancia del suelo.

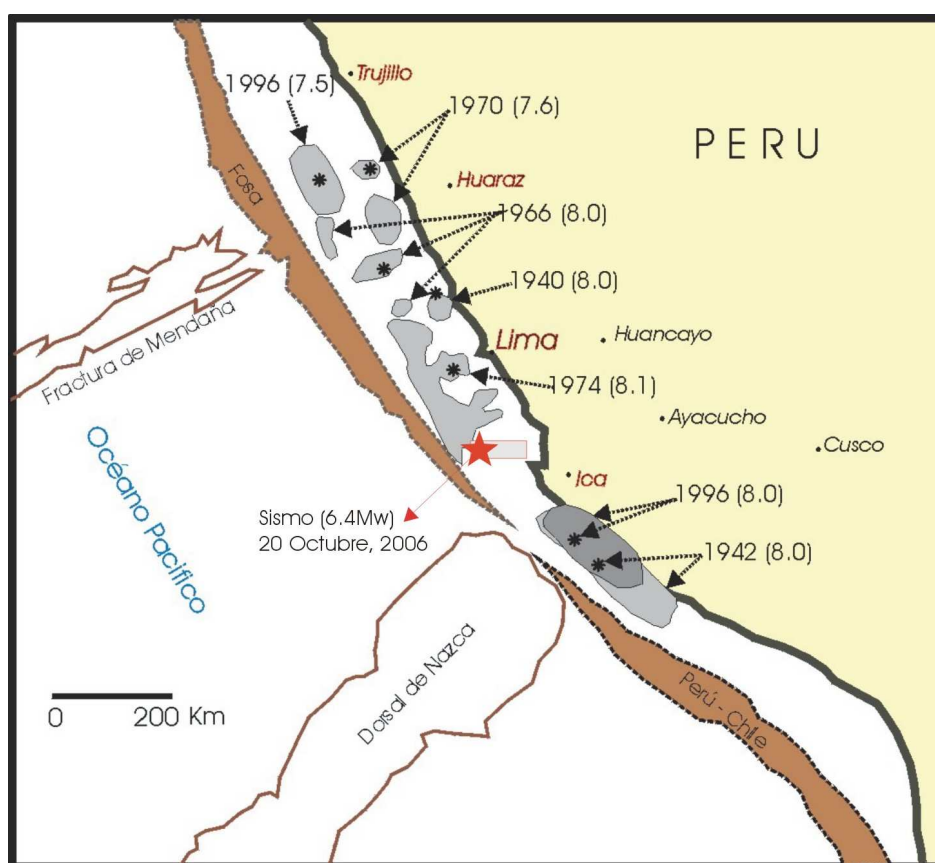
Se considera los registros de las estaciones acelerométricas de MAY, NNA y RIN correspondientes al sismo principal. En la Figura 10, en la estación NNA no se observa ninguna frecuencia predominante, lo cual sugiere que el suelo es competente coincidiendo con la geología de la estación (suelo rocoso). Para la estación de MAY se observa un pico predominante a la frecuencia de 2.5 Hz con amplificaciones de 5 veces sobre el valor de referencia unitario. Finalmente, para la estación RIN no se identifica ninguna frecuencia predominante a pesar que dicha estación registró la mayor aceleración, lo cual puede asociarse a la complejidad de suelo por debajo de la estación, arena eólica con gravilla suelta. Las características de la señal y su relación con la geología serán estudiadas con mayor detalle posteriormente.



**Figura 10.-** Cocientes espectrales entre las componentes horizontales y la vertical de los registros obtenidos en la estación de NNA, MAY y RIN.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

El sismo del 20 de Octubre de 2006, presento una magnitud moderada (6.4Mw) y su epicentro fue localizado a 90 km al oeste de la localidad de Pisco - Ica. Los mayores daños y efectos producidos por el sismo se han concentrado en un área relativamente pequeña que considera a las localidades de Cañete, Chincha y Pisco, siendo la intensidad máxima de V en la escala de Mercalli Modificada.



**Figura 11.-** Distribución de las áreas de ruptura de grandes sismos ocurridos en la región central de Perú y ubicación del epicentro / área de replicas del sismo del 20 de Octubre de 2006. En paréntesis se indica la magnitud momento de los sismos (Mw).

De acuerdo a las características de la fuente, el sismo del 20 de Octubre de 2006 debería su origen al proceso de convergencia de placas que se desarrolla en el borde occidental de Perú; es decir, proceso mediante el cual la placa de Nazca se introduce por debajo del continente generando sismos de diversas magnitudes a diferentes niveles de profundidad. La orientación de los planos de falla y de los ejes de presión, son coherentes con la orientación de la fosa y con la dirección de convergencia de placas. De acuerdo a la Figura 11, el sismo del 20 de Octubre se ha producido en una pequeña laguna sísmica ubicada entre las áreas de ruptura de los sismos de 1974 y 1996, el primero afectó al departamento de Lima y el segundo a Ica. Este sismo y su serie de réplicas no cubre el total del área que aun resta por romperse; sin embargo, existe la posibilidad de que haya liberado parte de la energía que se ha venido acumulando en esta área de 150 km de longitud.

Las máximas aceleraciones registradas en la estación La Rinconada (RIN) fueron de 47.4 cm/seg<sup>2</sup> y para evento precursor de 6.73 cm/seg<sup>2</sup>, ambos valores corresponden a la componente este-oeste. Esta estación se encuentra instalada sobre material de relleno a diferencia de la estación de NNA que se encuentra en roca y tiene valores máximos de aceleración de 5.97 cm/seg<sup>2</sup> para el sismo principal y de 0.59 cm/seg<sup>2</sup> para el evento precursor.

En la actualidad, se ha procedido a realizar un estudio más detallado del sismo, así como el procesamiento del total de sus réplicas a fin de conocer con mayor precisión el proceso de ruptura y la deformación producida por el sismo en esta región.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento al personal de Redes Geofísicas por el trabajo que realizan en mantener operativa la Red Sísmica Nacional y por su disponibilidad para proveer de la data sísmica para la elaboración del presente informe.

## **BIBLIOGRAFIA**

- De Mets, C., Gordon, R., Aarhus, A., y Stein, S. (1980). Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478.
- Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990a). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 551-576.
- Norabuena, E., Dixon, T., Stein S. y Harrison, C. (1999). Decelerating Nazca\_south America and Nazca-Pacific plate motions. *Geophys. Res. Lett.* 26, 3405-3408.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Perú. *Journal of Seismology*, 5, 519-540.