

## **Historia de un Terremoto Anunciado para la región Sur de Perú**

*Hernando Tavera  
Centro Nacional de Datos Geofísicos*

### **Resumen**

*La ocurrencia de grandes terremotos en la región sur de Perú con periodos de retorno del orden de 100 años, ha llevado a muchos investigadores a unir esfuerzos para estudiar en detalle las características sismotectónicas de esta región. El último terremoto que afectó toda esta región ocurrió en el año 1868 con una magnitud de 9.0 Mw e intensidades del orden de X en la escala Mercalli Modificada. A la fecha, las condiciones sismotectónicas necesarias para la ocurrencia de otro terremoto de similar tamaño al de 1868, se han hecho presentes y sus principales características son analizadas en este estudio.*

### **Abstract**

*The occurrence of great earthquakes in southern Peru with return periods in the order of 100 years has motivated to many researchers to accomplish study in detail the seismotectonic characteristics of this region. The last earthquake in this region occurred in the year 1868, had a magnitude of 9.0Mw and intensities in the order of IX in the Modified Mercalli scale. To date, the seismotectonic conditions necessary for the occurrence of an earthquake of a size similar to that of 1868, are present and their main characteristics are analyzed in this study.*

### **Introducción**

El 13 de agosto de 1868, un terremoto destructor de magnitud 9.0 Mw causa muerte y destrucción en toda la región Sur de Perú y Norte de Chile. Este terremoto produjo una intensidad máxima de IX en la escala Mercalli Modificada y causó daños en un área que se extiende desde la ciudad de Ica en Perú, hasta Tarapaca en Chile. Según las crónicas de aquellos años, el terremoto tuvo una duración de 5 minutos, tiempo durante el cual se destruyeron todas las viviendas y en algunos lugares la tierra se abrió surgiendo agua por doquier. La longitud de la ruptura que produjo el terremoto fue del orden de 500 km y dio origen a un tsunami que afectó a la ciudad de Arica con olas de hasta 16 metros de altura (Dorbath et al, 1990). Este tsunami produjo daños importantes en la ciudad de California (EEUU) por el Norte, en Australia y Nueva Zelanda por el Oeste. En Arica, uno de los barcos de guerra de los EEUU (Wateree) y otro de Perú (América) fueron llevados por las olas a una distancia tierra adentro de 4 km aproximadamente.

Después de 9 años, en Mayo de 1877, otro terremoto de magnitud similar ocurre en la región norte de Chile y produjo una longitud de ruptura de 500 km, paralela a línea de costa, que se extendió hasta la ciudad de Antofagasta en Chile. Un tsunami similar al de 1868, retorna el buque Wateree a la costa. En estas condiciones, se asume que el área de ruptura del terremoto de 1877 fue continuación del iniciado por el terremoto de 1868. Después de la ocurrencia de estos dos terremotos, cercanos en el tiempo, la región Sur de Perú y Norte de Chile han sido afectadas por otros terremoto de magnitud menor, los mismos que se han repetido mas o menos de manera regular. En general, todos estos terremotos tienen su origen en la superficie de fricción de las placas de Nazca (oceánica) y Sudamérica (continental) dentro del proceso conocido como subducción y mediante el cual, la placa oceánica se introduce por debajo de la continental con una velocidad relativa del orden de 8 cm/año (DeMets et al, 1990). Este mismo proceso ocurre en muchas otras partes del mundo, siendo el más importante el que se produce en el borde de la placa del Pacífico y de la cual forma parte la placa de Nazca.

#### **El Borde Oeste de Sudamérica**

El borde Oeste de Sudamérica, caracterizada por la colisión de las placas de Nazca y Sudamericana, se constituye desde el punto de vista de la Tectónica de Placas, como uno de los más importantes e interesantes en el mundo debido principalmente a la alta velocidad de convergencia de sus placas (8 cm/año), lo que permite que se produzca mayor fricción entre ellas y en estas condiciones, dar origen a los más violentos terremotos que se producen en el mundo. Por ejemplo, el terremoto ocurrido en Mayo de 1960 en la región Sur de Chile con una magnitud de 9.6Mw, llegando a afectar una superficie del orden de 1000 km al sur de la ciudad de Concepción en Chile. Este terremoto produjo un tsunami transoceánico de los más dañinos y permitió por vez primera, observar las oscilaciones propias de la Tierra, al margen de que su eje de rotación vario ligeramente. Se asume que este terremoto tendría un periodo de retorno medio mayor a una centuria.

Es importante considerar que el proceso de subducción es continuo en la escala del tiempo geológico y que de existir una fuerte fricción entre las placas, estas liberarían la energía acumulada en forma de ondas elásticas. Ahora, si la deformación es mayor a las fuerzas que se oponen a la fricción, el deslizamiento de las placas se realizará de

manera brusca o violenta produciendo un terremoto cuya magnitud dependerá de la longitud del deslizamiento y de las dimensiones del área involucrada. Es necesario aclarar que el proceso de fricción entre las placas de Nazca y Sudamericana se realiza a lo largo de toda su superficie de contacto, pero los deslizamientos que dan origen a los terremotos se producen sobre segmentos de longitud menor permitiendo considerar áreas pequeñas de fricción y de ruptura. Estas superficies de fricción no son visibles debido a que se encuentran por debajo del nivel medio del mar. Contrariamente, los sismos que ocurren en continente producen rasgos tectónicos en superficie que pueden permitir describir la historia de la ruptura, siendo estos conocidos como trazas de falla.

### **Áreas de Ruptura**

El estudio y análisis de la distribución espacial, en el borde Oeste de Sudamérica, de las áreas de ruptura de los grandes terremotos ocurridos en los siglos XIX y XX, permite observar lo siguiente (Figura 1):

- Durante el siglo XIX los más grandes terremotos que han afectado a Perú y Chile ocurrieron en Agosto de 1868 y Mayo de 1877, ambos con magnitudes del orden de 9.0Mw y longitudes de ruptura de 500 km aproximadamente. Estos terremotos y sus áreas de ruptura se ubican en la región Sur de Perú y Norte de Chile. En el resto del borde Oeste de Perú y Chile no ocurrieron terremotos de magnitud elevada.
  
- En el Siglo XX, la región Central de Perú ha sido afectada por 4 terremotos con magnitudes Mw del orden de 8.0, además de los tres terremotos ocurridos en el extremo norte de la región Sur. En estas condiciones, prácticamente en toda la región Sur de Perú no se ha producido un terremoto de magnitud elevada en los últimos 132 años. Del mismo modo, el borde Oeste de Chile ha sido afectado por al menos 10 terremotos con magnitudes Mw promedio de 8.0, destacando el ocurrido en Mayo de 1960 que produjo una longitud de ruptura de 1000 km (Mw=9.5). Al final del siglo, en la región Norte de Chile no ha ocurrido ningún terremoto importante desde hace más de 123 años.

Algunos autores como Dorbath et al (1990) sugieren que los terremotos como los ocurridos en 1868 y 1877, tienen periodos medios de retorno de 100 años y otros

como Comte y Pardo (1991) sugieren que estos periodos son del orden de  $111 \pm 33$  años. En ambos casos, es evidente que la región Sur de Perú y Norte de Chile deben ser la fuente de origen de un próximo terremoto de magnitud similar a los ocurridos en 1868 y 1877.

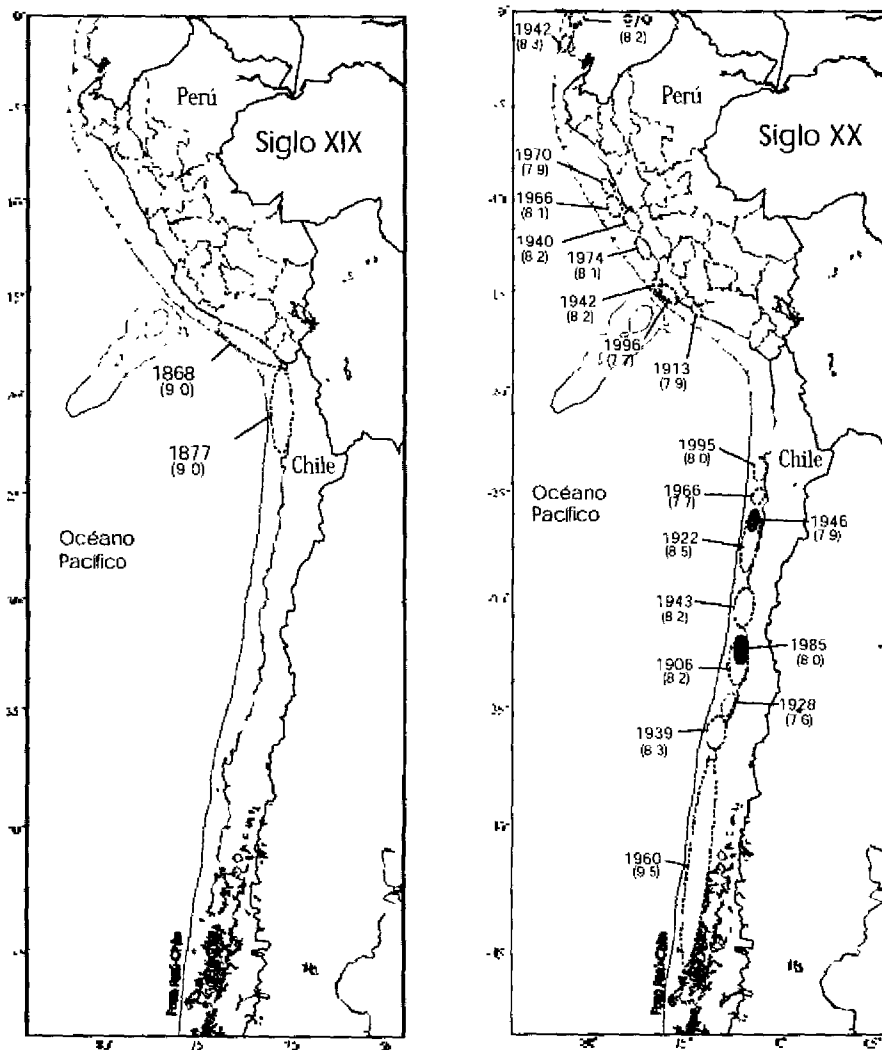


Figura 1 Distribución de las áreas de ruptura de los grandes terremotos ocurridos en el borde Oeste de Sudamérica durante los Siglos XIX y XX

### **Sismicidad Reciente**

A fin de analizar las características de la actual distribución espacial de los terremotos de magnitud elevada en la región Sur de Perú y Norte de Chile, en la Figura 2 se presenta los epicentros de los sismos con magnitudes  $m_b$  mayor o igual a 6.0 ocurridos durante el periodo comprendido entre 1990 y 2000, además de las áreas de ruptura de los terremotos de 1868 y 1877 (líneas discontinuas). En la Figura 2 se puede observar que los terremotos con foco superficial asociados directamente con el proceso de fricción de placas se concentran en dos grupos, el primero se ubica al sur del área de ruptura del terremoto de 1877 y corresponde al terremoto ocurrido en Mayo de 1995 ( $M_w=8.0$ ) en la región Norte de Chile; mientras que, el segundo grupo se ubica en el extremo norte del área de ruptura del terremoto de 1868 y corresponde al terremoto de Perú ocurrido en Noviembre de 1996 ( $M_w=7.7$ ). En el resto de la región Sur de Perú y Norte de Chile, la ausencia de terremotos con foco superficial es total.

El terremoto del 12 de Noviembre de 1996 ( $M_w=7.7$ ) ocurrido en la región Sur de Perú, produjo una longitud de ruptura de 120 km y según Tavera et al., (1998) es repetitivo del ocurrido en Mayo de 1942 ( $M_w=8.2$ ). La distribución espacial de las réplicas ocurridas durante los primeros 30 días, sugieren una propagación de la ruptura en dirección SE, tal como lo indica Tavera et al., (1998) a partir de la generación de registros teóricos y análisis directo sobre la forma de onda en registros obtenidos para diversos acimutes. Este terremoto y su área de ruptura se ubican en el extremo Norte del área involucrada en el terremoto de 1868.

Asimismo, el 30 de Julio de 1995 la región Norte de Chile fue testigo de otro terremoto de magnitud 8.0  $M_w$  que produjo una longitud de ruptura de 180 km. Estudios detallados utilizando formas de onda y distribución de replicas sugieren que el área de ruptura de este terremoto se propagó en dirección Sur, en relación con la ubicación del epicentro del terremoto (Delouis et al, 1997). Este terremoto se ha producido en el extremo sur del área involucrada en el terremoto de 1877.

En la Figura 2, al contrario de los sismos con foco superficial, los de foco intermedio asociados a la deformación interna de la placa de Nazca debido a las fuerzas que tienden a tirar de la misma hacia el interior del manto, se distribuyen alrededor de

las dos áreas de ruptura de los terremotos de 1868 y 1877. Esta característica sugiere que a niveles superficiales la energía se está acumulando a fin de generar en los próximos años un terremoto de magnitud proporcional a las áreas de ruptura de los terremotos anteriores. Los terremotos que se producen por encima del límite de contacto o fricción de ambas placas ubicado a 50-60 km de profundidad, obedecen a procesos netamente compresivos (terremotos de 1868 y 1877); mientras que, por debajo de este límite los terremotos son generados por fuerzas extensivas, siendo estos menores en número debido al aumento de la presión y temperatura. En esta situación, es evidente que al nivel de 50-60 km de profundidad, el proceso de subducción se encuentra bloqueado, aunque por arriba continúen los movimientos de compresión y por debajo de extensión, todos generados por sismos de magnitud menor. Sin embargo, al momento de ceder ambas placas debe producirse como mínimo un terremoto de magnitud elevada como los ocurridos en 1868 y 1877.

### **Conclusiones**

Antes de plantear las conclusiones del presente análisis, es necesario considerar que el tamaño y los procesos de ruptura de los terremotos de 1995 y 1996 son similares entre sí y su ubicación epicentral en los extremos de las áreas de ruptura de los terremotos ocurridos en 1868 y 1877, son muestras de que el proceso de fricción de placas es continuo. Estas características, sumadas al hecho de que los terremotos grandes ocurridos en los últimos 10 años presentan profundidades intermedias y se distribuyen entorno a las dos grandes áreas de ruptura de los terremotos de 1868 y 1877, sugieren que pronto debe ocurrir dos o al menos un terremoto con magnitud  $M_w$  del orden de 9.0.

Ahora la pregunta es,

*¿...Donde y cuando se produciría el próximo terremoto...?.*

Para dar respuesta a esta pregunta es necesario contar con mayor información sísmica a fin de aplicar los nuevos métodos desarrollados para un mejor conocimiento de la génesis de los terremotos, así como para ajustar los modelos propuestos para el

proceso de subducción. Por lo tanto, es importante continuar realizando el registro de la sismicidad en ambas regiones.

Además, no se debe olvidar que el hecho de predecir la ocurrencia de un terremoto implica conocer los siguientes parámetros:

$$\text{Predicción} = \text{Lugar} + \text{Tamaño} + \text{Fecha}$$

La sismología ha llegado a identificar y conocer con exactitud las zonas potencialmente sísmicas y en el caso del Perú, la más importante se ubica frente a la línea de costa (borde Oeste de Sudamérica). El conocer la historia sísmica de cada zona, permite estimar el tamaño de los futuros terremoto que puedan ocurrir en ella; sin embargo, la fecha en que ocurrirá el terremoto no puede ser determinada con exactitud.

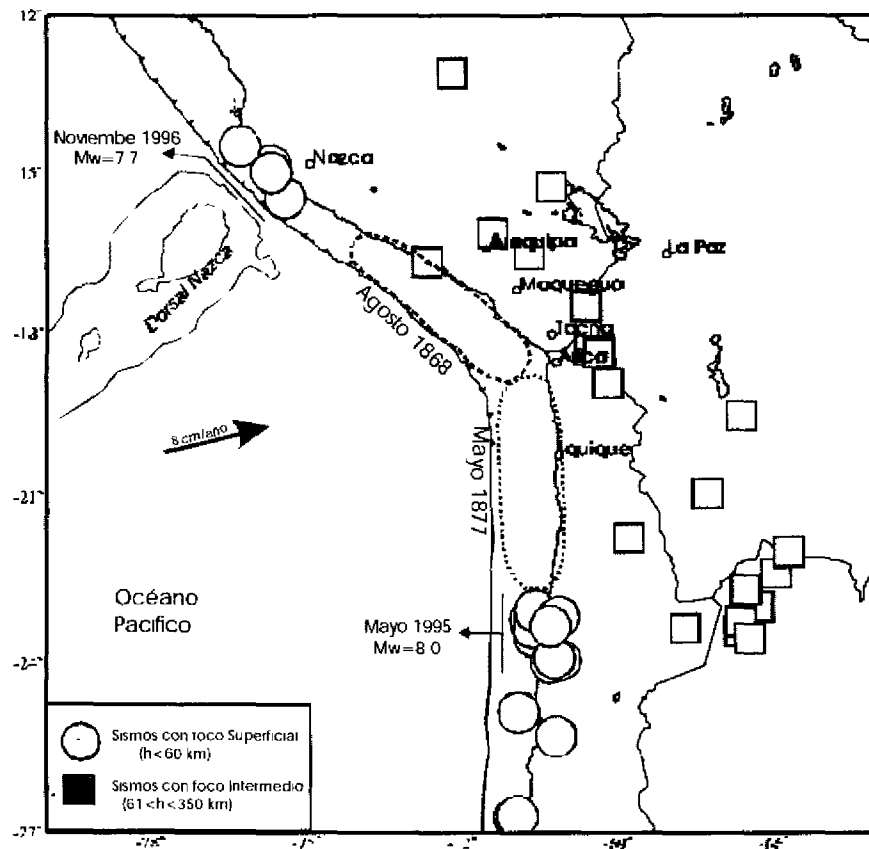


Figura 2. Ubicación geográfica de las áreas de ruptura de los terremotos de 1868 y 1877, además de los terremotos de magnitud mb igual o mayor a 6.0 ocurridos durante el periodo 1990-2000 en la región Sur de Perú y Norte de Chile.

Se debe tener en cuenta que si no es posible conocer la fecha de ocurrencia del próximo terremoto, el solo saber donde esta la fuente, su posible tamaño y que pronto va a ocurrir, debería ser suficiente para desarrollar campañas de mitigación de desastres teniendo en cuenta la educación de la población y de buscar hacer cada vez menos vulnerables a las ciudades, solo así se podrá hacer frente a este tipo de fenómenos.

### **Bibliografía**

- Comte et al., (1991). Natural Hazards, 4, 23-44  
Delouis et al., (1997). Bull. Seism. Soc. Am., 87, 1-19.  
DeMets et al., (1990). Geophys. Jour. Int. 101, 425-478.  
Dorbath et al., (1990). Bull. Soc. Sism. Am. 80, 551-576.  
Tavera et al., (1998). Revista Geofísica, IPGH, N°49, 143-163.

*El día Sábado 23 de Junio de 2001 (15h 33m, hora local), la región Sur de Perú es afectada por un terremoto de magnitud Mw igual a 8.2. La intensidad máxima observada en la escala de Mercalli Modificada fue de VII-VIII; mientras que, su longitud de ruptura alcanzó 370 km aproximadamente. Los daños materiales y personales en toda la región Sur es cuantiosa, 217400 personas sufrieron los efectos del terremoto,....*