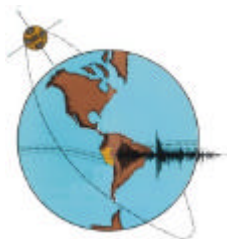


INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU

OBSERVATORIO SISMOLOGICO DE CAMACHO

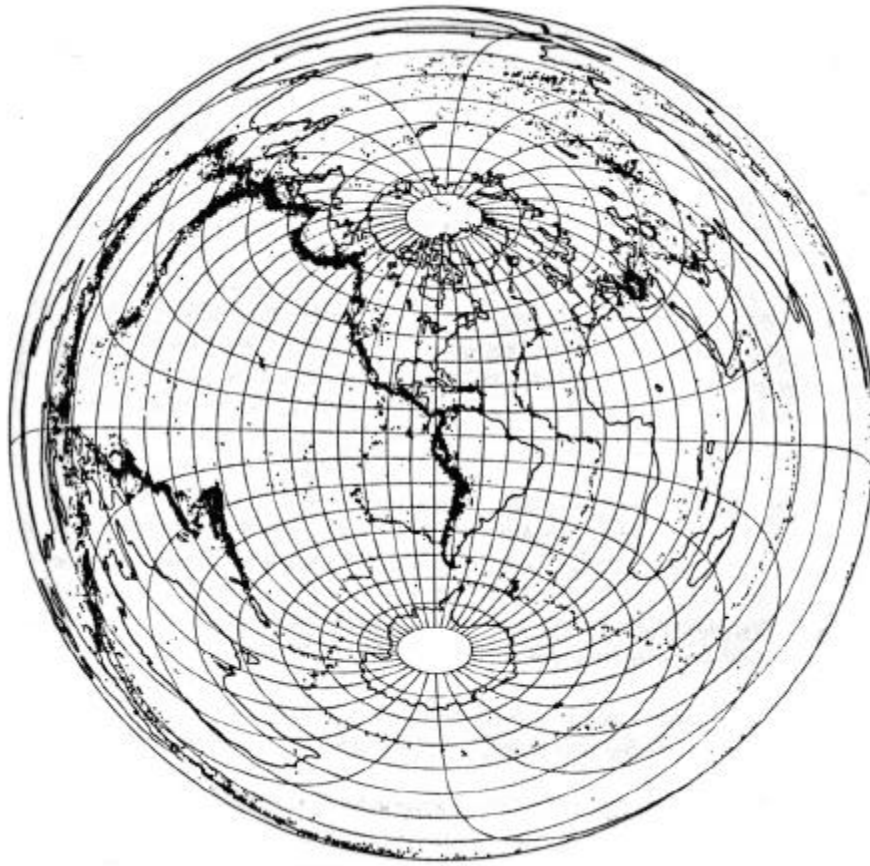


LA TIERRA, TECTONICA Y SISMICIDAD
Monografía

Por:

HERNANDO TAVERA

Lima - Perú
Junio 1993



“Un mal terremoto destruye en un momento las más viejas asociaciones; el mundo, el verdadero símbolo de todo lo que es sólido, se movió debajo de nuestros pies como una corteza sobre un fluido; un segundo del tiempo creó en la mente un sentimiento de inseguridad, que horas de reflexión no producirían...”

- CHARLES DARWIN -
(Reflexiones sobre su experiencia en
el terremoto devastador del 20 de Febrero 1835
en Concepción, Chile)

INTRODUCCIÓN

Su tomáramos el lugar de un astronauta al observar la Tierra desde el espacio exterior, nuestro planeta se vería como un esferoide oscuro en el que no se puede apreciar ningún rasgo de vida inteligente, y son casi imperceptibles los accidentes topográficos que vistos de la misma superficie resultan imponentes. Si comparamos este esferoide, con un balón de fútbol, todos los valles, llanuras, montañas, lagos, y otros accidentes que constituyen la biósfera, desde las cumbres más inminentes hasta los más profundos barrancos, tendrían el espesor proporcional a una capa de pintura sobre el balón. Esta fina capa de pintura –habitat del hombre- hace que el ser humano experimente con mayor intensidad, ser poblador de un mundo que en un momento se muestra dadivoso y en otro, se torna inesperadamente hostil. Entonces, la Tierra sigue guardando sorpresas, secretos y en pocas palabras sigue siendo un planeta impenetrable e incomprensible.

La comunidad científica, hoy en día, se ha avocado a estimar cuando sería el fin de nuestro planeta. Los científicos son optimistas, y sostienen que la Tierra se encuentra en plena juventud, pues le queda de vida unos cinco a seis mil millones de años. Pasado este tiempo, probablemente el sol se convierta en una estrella nova, aumentando considerablemente su calor, con lo que el planeta Tierra –al igual que todos los demás- se abrasará. Después, vendría la congelación y todo lo que fue en un principio... el caos, la oscuridad y el frío.

La falta de información sencilla y didáctica sobre la evolución de la Tierra y de la sismología, ha sido uno de los principales motivos para realizar este trabajo monográfico. Pretendemos explicar las principales teorías que configuran la evolución de la Tierra y cómo ésta, determina la presencia de actividad sísmica en algunas regiones como el Perú, más que en otras.

LA TIERRA

Nuestro planeta, la Tierra desde que existió como protoplaneta, tiene la edad astronómica de aproximadamente 4,500 millones de años. Desde entonces, la distribución de sus continentes y océanos no ha sido como lo conocemos actualmente (Figura 1).

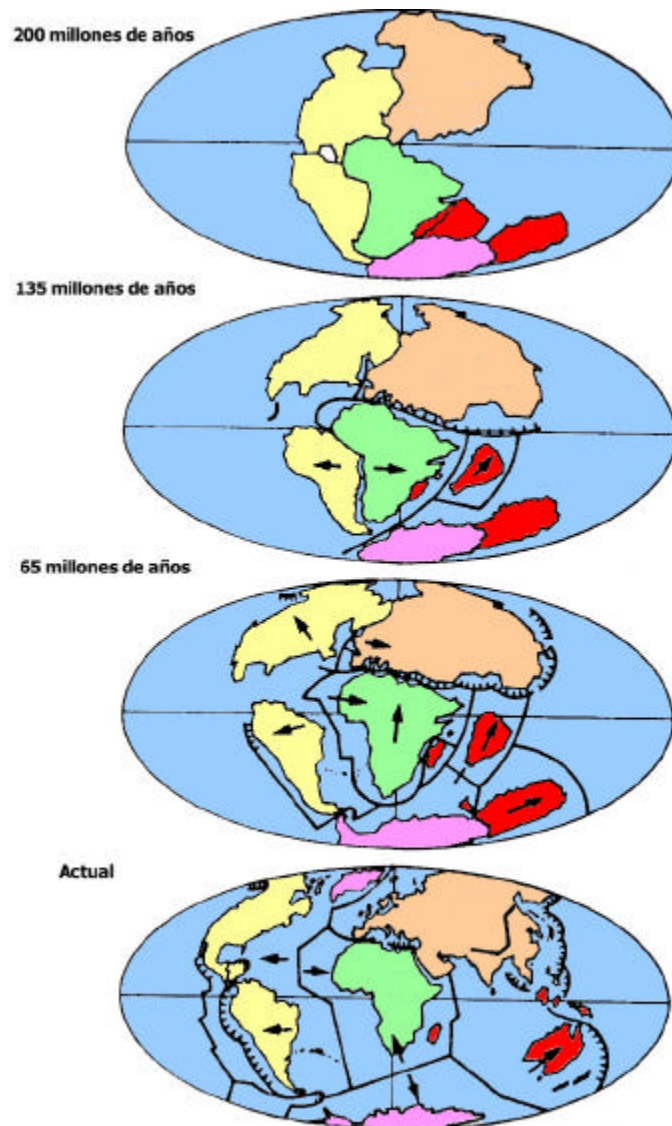


Figura 1.- Secuencia de la deriva de los continentes desde su agrupación en el único continente o Pangea hasta la situación actual (adaptado de Dietz y Holden).

Las masas continentales están formadas por capas superficiales de material sedimentario y una subcapa granítica. Estos materiales son más ligeros que los basaltos más profundos. La diferencia de densidades hace que los continentes virtualmente floten semejante a los ICEBERGS. Es en base a estas apreciaciones, y en las observaciones de que la costa oriental de América puede encajar con mas o menos precisión en el perfil de la costa occidental de África y Europa, que Alfred Wegener dió a conocer su hipótesis de que hace 200 millones de años la Tierra estaba constituida por un solo continente llamado Pangea (Figura 1), rodeado de un océano único llamado Pantalasa (Figura 2 a-b). En este arcaico continente, se produjo una impetuosa fragmentación dando como resultado la formación de los actuales continentes. Hoy en día, este proceso de masas continentales que flotan y que continúan desplazándose a velocidades de 10-15 cm por año, se denomina Deriva Continental.

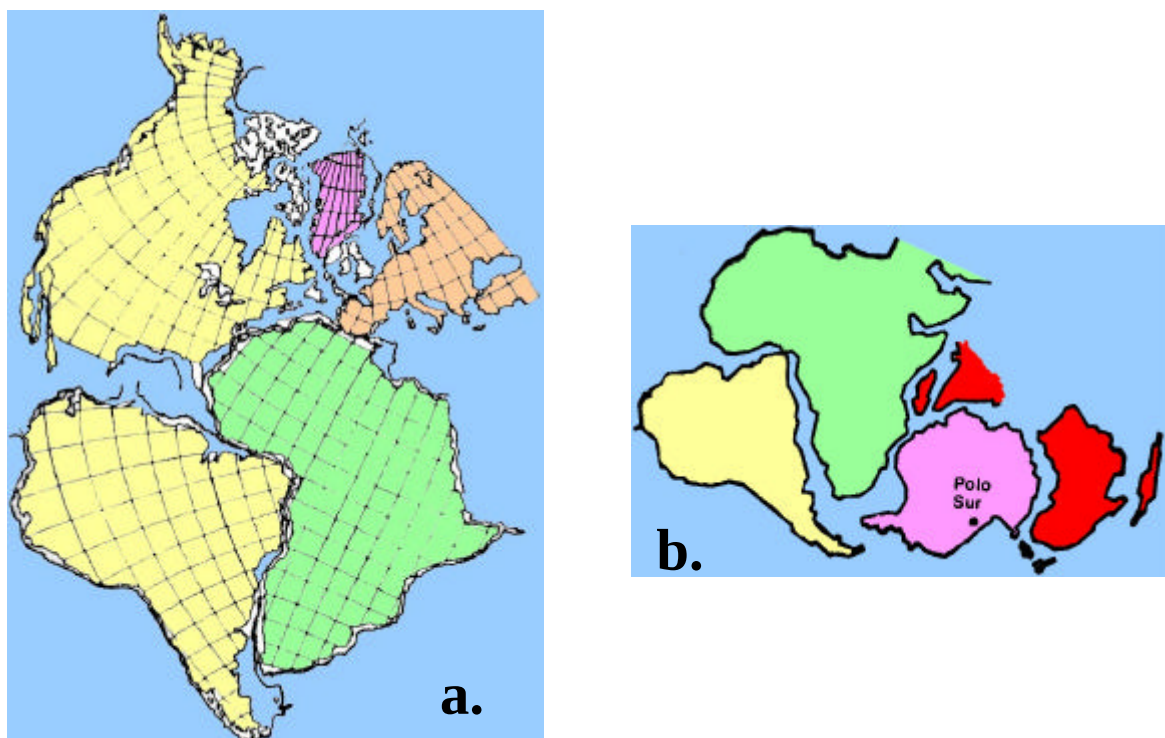


Figura 2.- a) Reconstrucción del cierre del Atlántico. Los meridianos y paralelos corresponden a su posición actual (Tomado de E. Bullard). b) Reconstrucción del agrupamiento de los continentes meridionales (Tomado de E. Irving).

GENERALIDADES Y ESTRUCTURA DE LA TIERRA

La Tierra, es el más grande y denso de los planetas telúricos del sistema solar. Su movimiento alrededor del sol, lo realiza girando simultáneamente sobre su eje en 23h 56' 04". Su forma es muy próxima a la de una elipsoide, aplanado en los polos. Su radio en el ecuador mide 6,378.136 km y en los polos 6,356.751 km. La masa de la Tierra es de $5,973 \times 10^{24}$ kg y su superficie alcanza $5,101 \times 10^8$ km, de los cuales el 71% esta formado por los océanos.

La Tierra está constituida principalmente por cuatro zonas concéntricas (Figura 3): la corteza terrestre es una capa muy delgada, con espesor de 5 a 10 km en los océanos y en promedio de 30 km en los continentes (en zonas de cordillera 70 km). Separado de la corteza por la Discontinuidad de Mohorovicic, esta el manto hasta los 2,891 km de profundidad. Otra discontinuidad llamada Gutemberg, separa al núcleo del manto. El núcleo externo fluido, alcanza una profundidad de 5,150 km y más allá, hasta el centro de la Tierra 6,356.751 km encontramos un núcleo interno sólido de composición granítica.

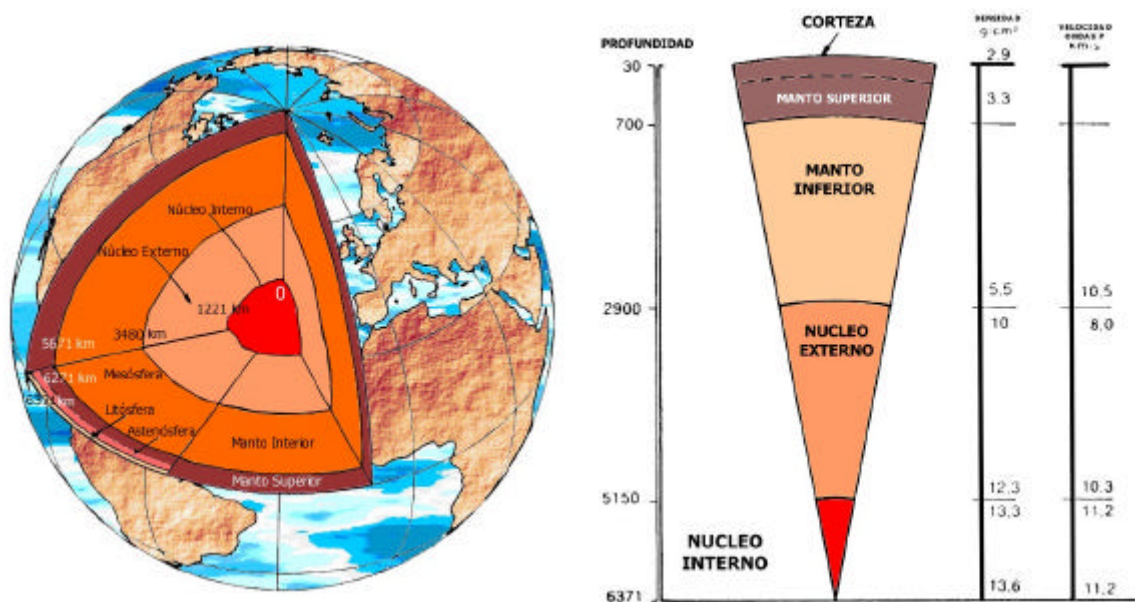


Figura 3.- Estructura del interior de la Tierra.

Los terremotos más profundos se producen entre 500 y 700 km de profundidad, por lo que los sismólogos han dividido al manto en dos zonas: manto superior y manto inferior a partir de los 700 km. Solamente la corteza y el manto superior (0 a 700 km) merece toda nuestra atención, debido a que a mayor profundidad nunca se producen terremotos.

DERIVA CONTINENTAL

Los terremotos, los volcanes y las cordilleras se hallan distribuidas en zonas bien definidas. Esta distribución esta basada en la hipótesis que Wegener en 1915 denominó Deriva Continental. En este proceso están involucradas la corteza continental y la corteza oceánica; por lo tanto, la corteza en general esta constituida por una serie de placas (Figura 4a y 4b).



Figura 4a.- Mapa simplificado de los límites actuales de las grandes placas litosféricas (Modelo de J. Morgan).

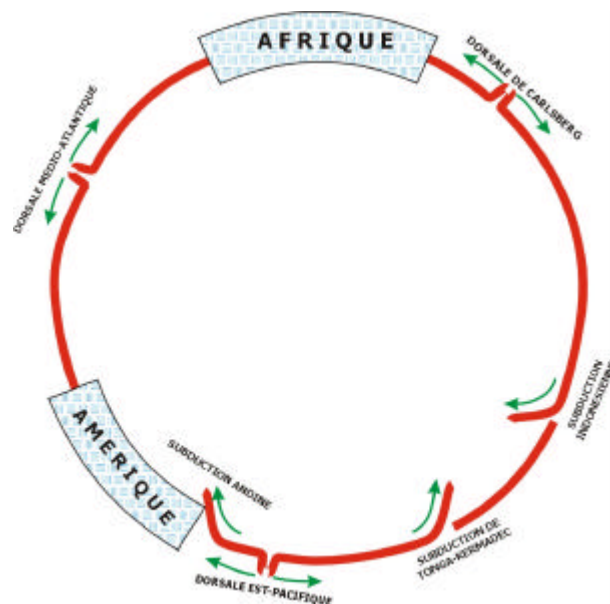


Figura 4b.- Corte general del globo terrestre. Se muestra los principales movimientos de las placas tectónicas.

Estas placas se mueven en diferentes direcciones y van variando en su forma y tamaño. Estos movimientos están relacionados con el movimiento convectivo del material del manto que se encuentra en estado plástico (Figura 5).

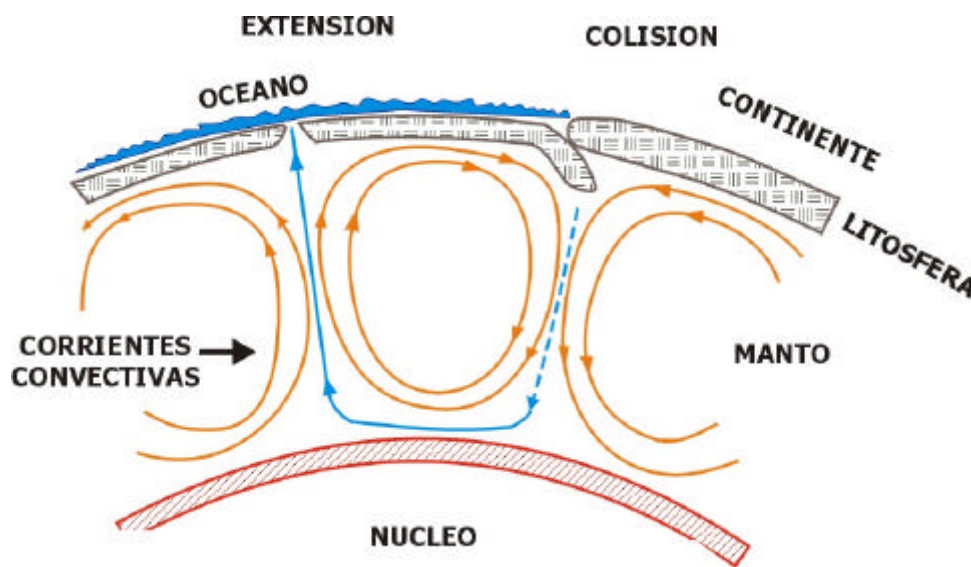


Figura 5.- Células de corrientes de convección en el manto terrestre y su relación con el movimiento de las placas en superficie.

La colisión de algunas placas “proceso de contracción”, da lugar a la formación de las cordilleras en los continentes (ejemplo, la Cordillera Andina) y de arcos de islas. Durante este proceso, una de las placas (generalmente la de mayor densidad y velocidad) se introduce por debajo de la otra hasta ser absorbida totalmente por el manto, a velocidades de 7-10 cm/año. Este proceso es llamado subducción y da lugar a la formación de una fosa submarina que algunas veces alcanza profundidades de hasta 10 km (Figura 6).

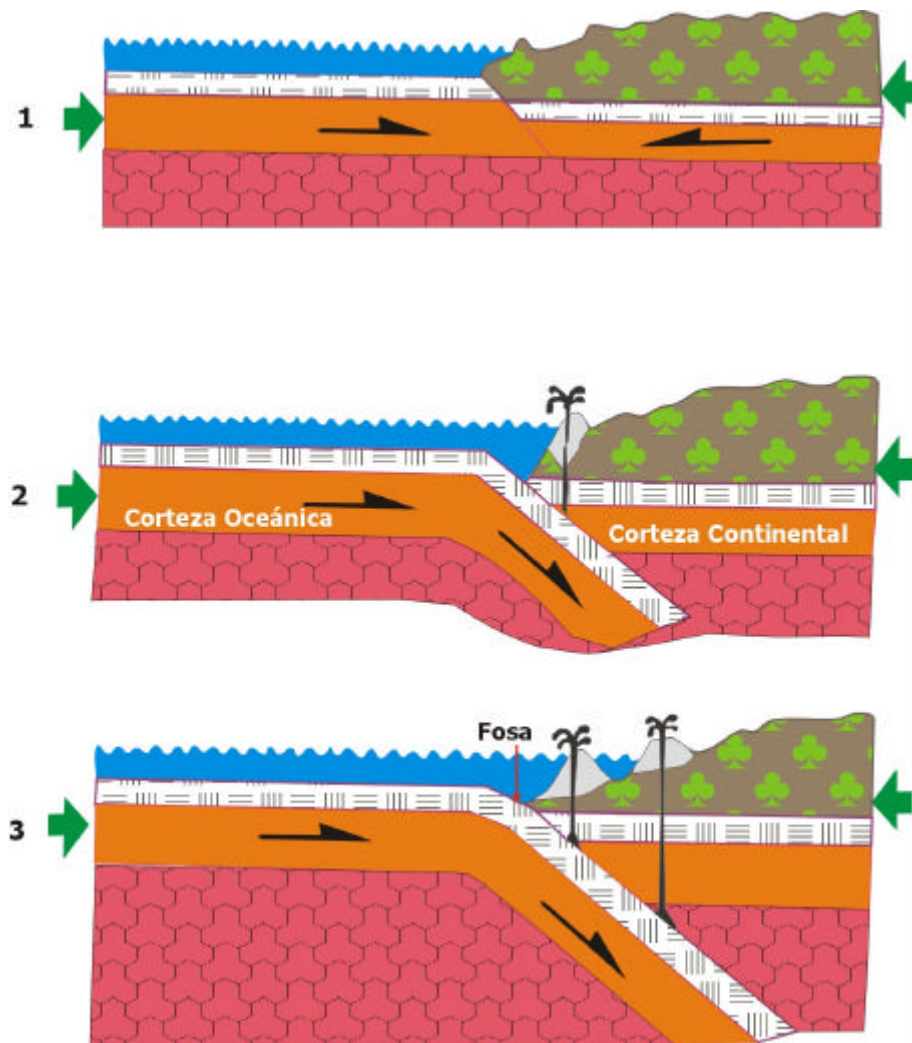


Figura 6.- Secuencia de la formación de una zona de subducción por colisión de una placa oceánica contra una continental (ejemplo, subducción Perú-Chile).

El proceso de expansión de las placas se realiza en las dorsales oceánicas. En estas dorsales hay emanación de material del manto (magma) a ambos lados de las mismas. Este material hace que las placas oceánicas se expandan a velocidades promedio de 5-8 cm/año. Al salir este material (magma) produce un levantamiento de la corteza oceánica, formando las cordilleras submarinas que algunas veces alcanzan hasta 3 km de altura (Figura 7).

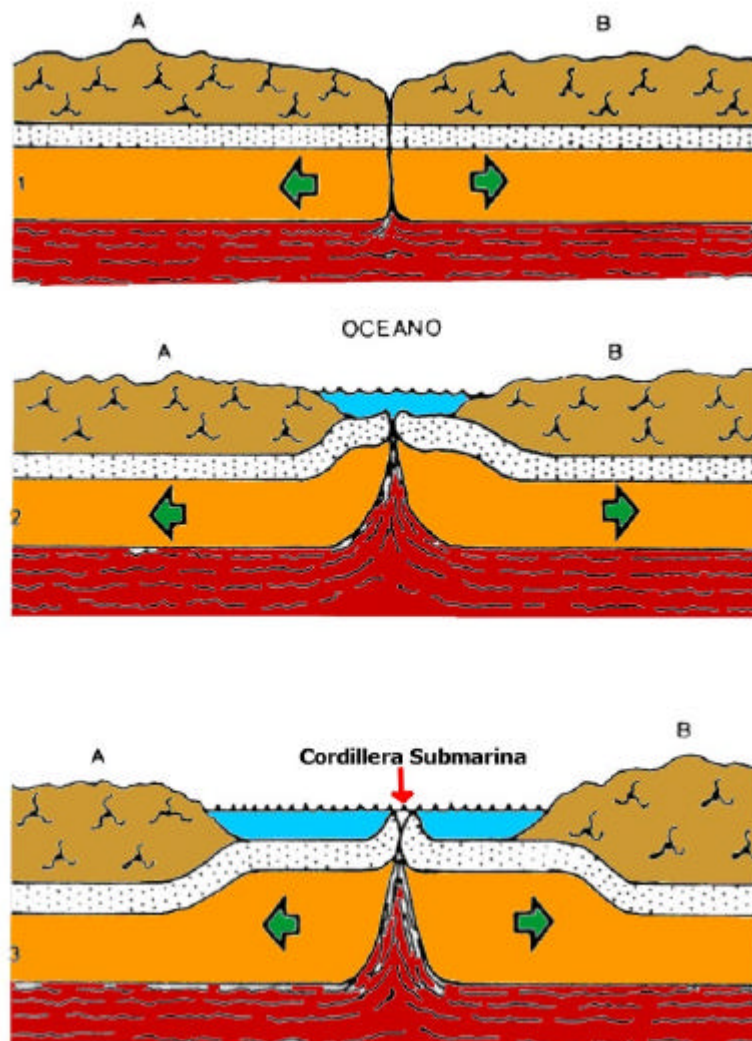


Figura 7.- Secuencia de la separación de dos continentes, creación entre ellos de un océano y de una cordillera submarina.

Estos dos procesos van acompañados de actividad sísmica, de tal forma que la Tierra se muestra como un gran rompecabezas en movimiento (Figura 8).

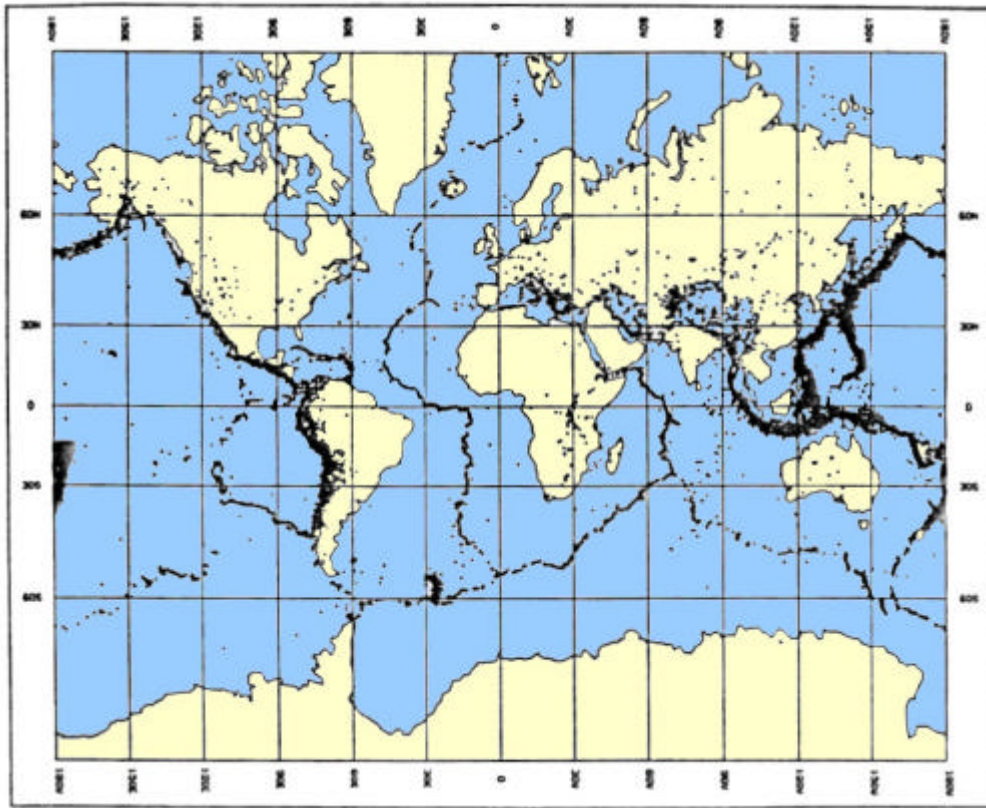


Figura 8.- Mapa de sismicidad mundial, período 1968 – 1988. La distribución espacial de los sismos con magnitudes mayores a 5 mb permiten configurar la forma de las placas tectónicas.

Si observamos la Figura 8 y 9, podemos apreciar que los bordes de las placas, coinciden con las zonas activas sismo-volcánicas de la Tierra, las mismas que están directamente relacionadas con la subducción y expansión de las placas. El Perú se encuentra constituyendo la zona más activa del mundo; es decir integra el “Cinturón de Fuego del Pacífico”.

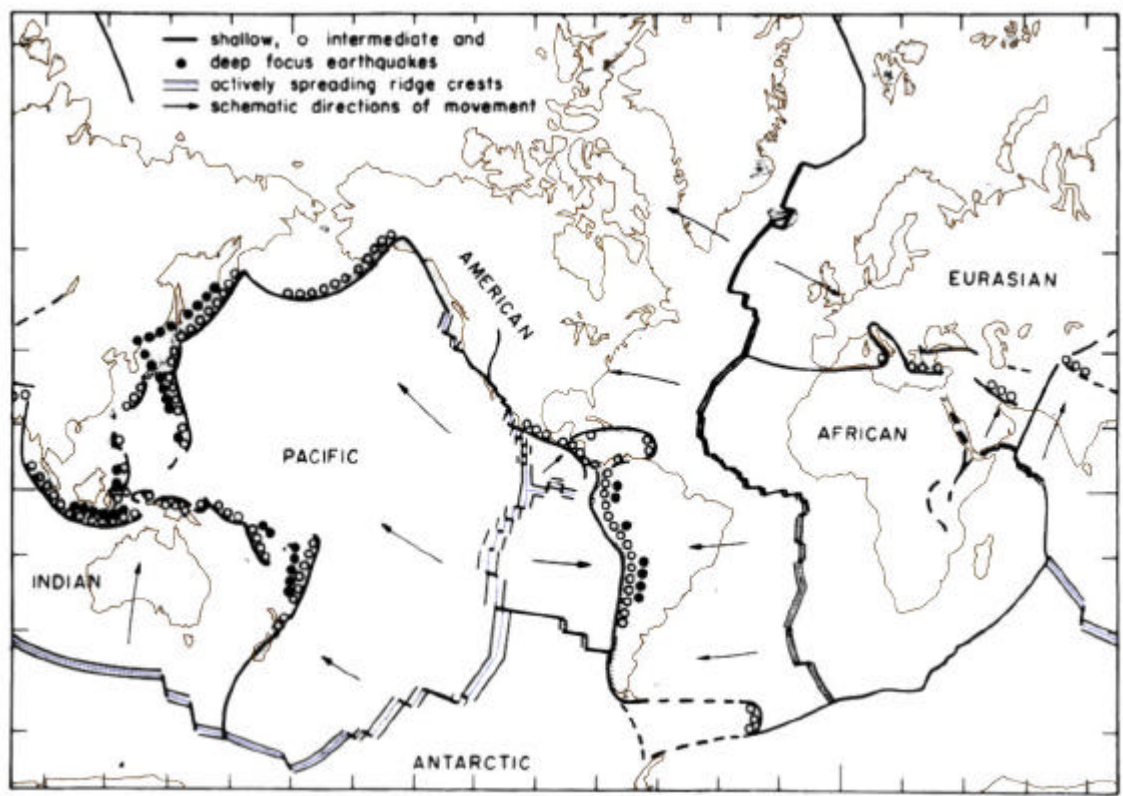


Figura 9.- Placas litosféricas de la Tierra. Los polos de rotación para los distintos pares de placas están numerados del 1 al 6 de la siguiente forma: 1, Atlántico Sur (América-África); 2, Pacífico Norte (América-Pacífico); 3, Pacífico Sur (Antártida-Pacífico); 4, Océano Ártico (América-Euroasia). La dirección de extensión en las crestas montañosas está indicada esquemáticamente, y varía entre 1 cm/año cerca de Islandia a 6 cm/año en el Pacífico Ecuatorial y Wyllie (1971).

En el flanco oriental del continente Sudamericano, la placa Oceánica de Nazca se mueve con una velocidad de, aproximadamente, 10 cm/año contra la placa continental que lo hace a 4 cm/año en sentido contrario. La placa de Nazca (oceánica) se introduce por debajo de la placa Sudamericana (continental) hasta ser absorbida por el manto. Este movimiento produce la acumulación de energía en algunas zonas, que se resisten a los desplazamientos de las placas. Posteriormente, esta energía se libera en forma de sismos o erupciones volcánicas (Figura 10).

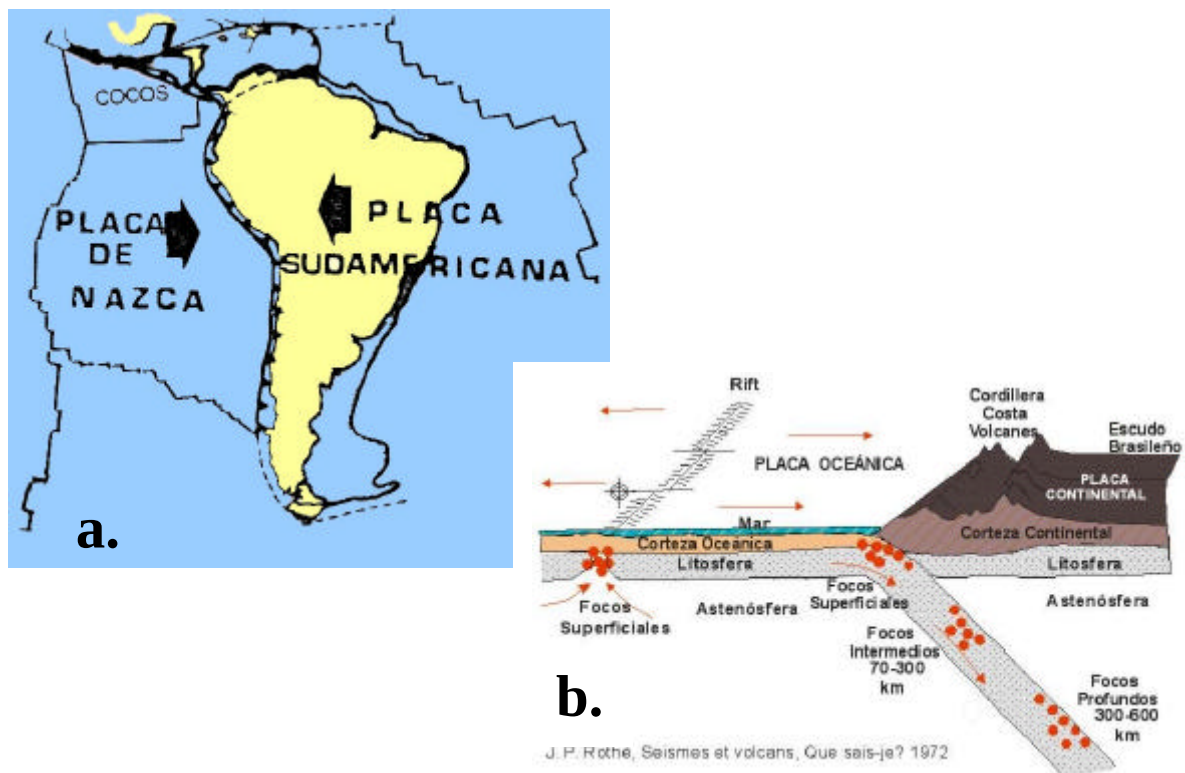


Figura 10.- a) Configuración del contacto de la Placa de Nazca (oceánica) y Placa Sudamericana (continental) y b) Diagrama ilustrando el proceso de subducción en la costa de Perú y Chile.

Por otro lado, en el continente americano se producen infinidad de fracturas o fallas en formaciones geológicas frágiles. Se puede distinguir principalmente tres tipos de fallas corticales en función de la distribución de los esfuerzos: fallas normales, inversas y de desplazamiento (Figura 11).

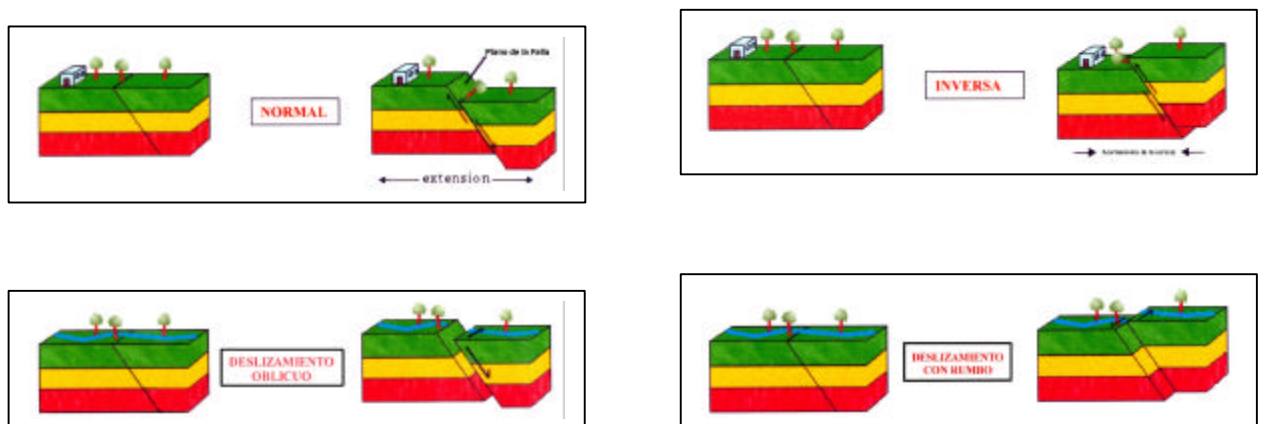


Figura 11.- Los principales tipos de fallas. Falla normal, falla inversa y fallas de desplazamientos.

LOS TERREMOTOS

Cuando se produce un sismo o terremoto, se genera una liberación de energía en el medio circundante. Esta energía rompe el equilibrio isostático del interior de la Tierra generando una ruptura o fractura. Esta ruptura, produce en el medio una vibración con movimiento ondulatorio de la Tierra; es la energía liberada que se transmite como ondas elásticas llamadas “ondas sísmicas” que se propagan por el interior y la superficie de la Tierra (Figura 12).

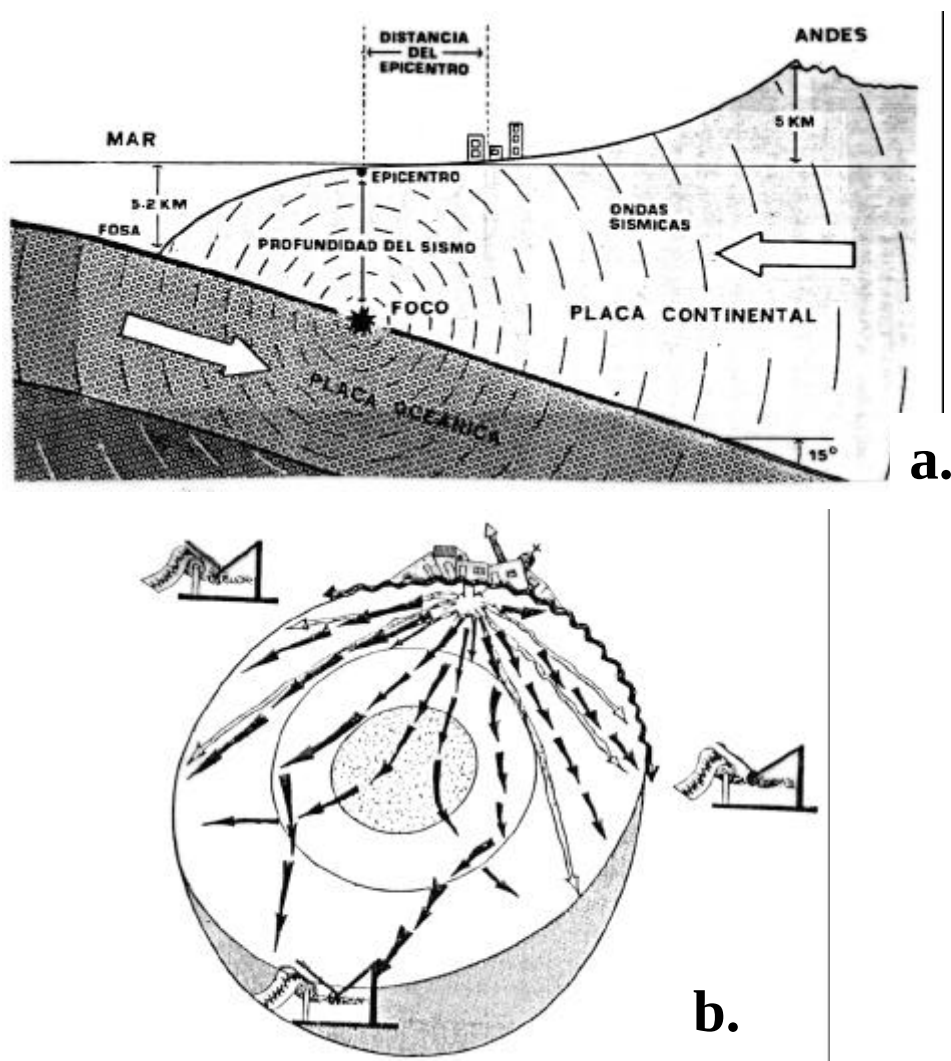


Figura 12.- a) Ilustración de la ocurrencia de un terremoto y propagación de las ondas sísmicas en el interior de la Tierra. b) Esquema que muestra el registro de las ondas en algunas estaciones sismográficas ubicadas a diferentes distancias.

Los principales tipos de ondas sísmicas son: ondas primarias P y las secundarias S. La onda P se propaga en cualquier medio y la onda S sólo en los medios sólidos. Un segundo grupo de ondas, son las llamadas ondas superficiales, debido a que se propagan cerca de la superficie de la Tierra (Figura 13).

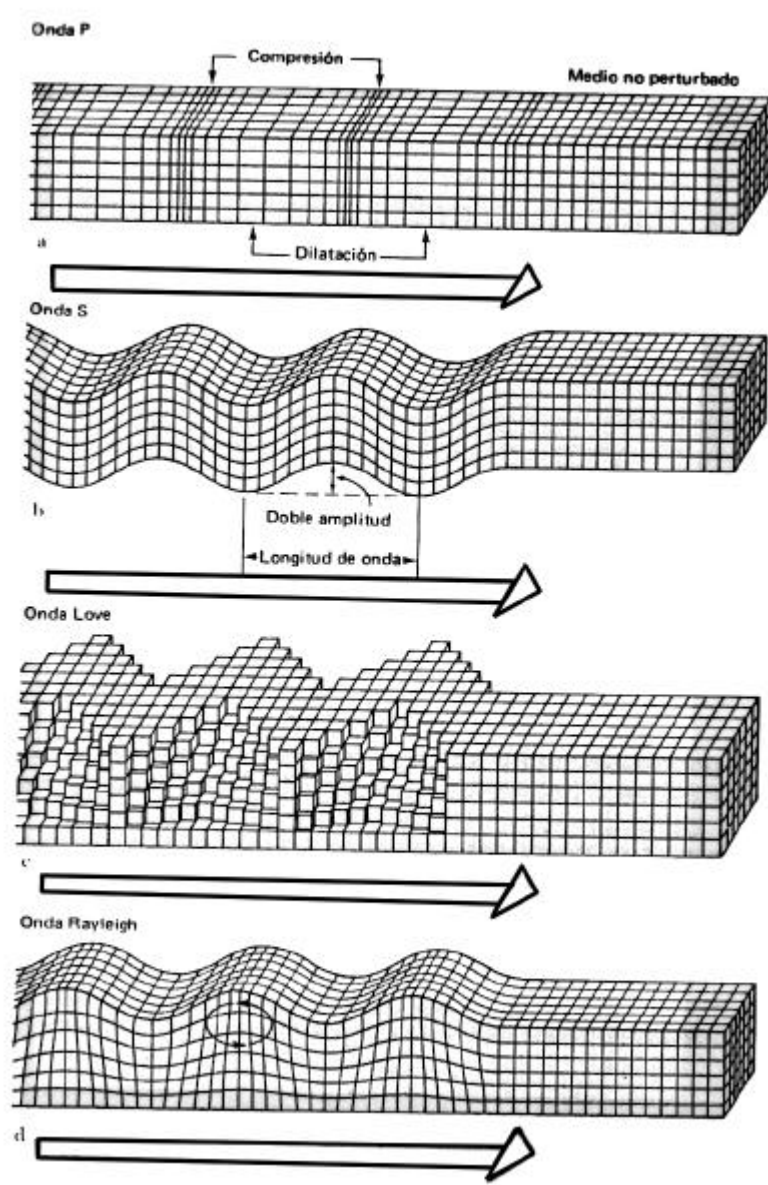


Figura 13.- Diagrama ilustrando la forma y la dirección del movimiento del suelo cerca de la superficie en los cuatro tipos de ondas sísmicas (B. Bolt, 1981).

Estas ondas sísmicas son registradas por instrumentos especiales denominados sismógrafos, los mismos que se encuentran repartidos en toda la Tierra (Figura 14), formando redes sísmicas mundiales como la WWSSN o redes nacionales como la del Instituto Geofísico del Perú.

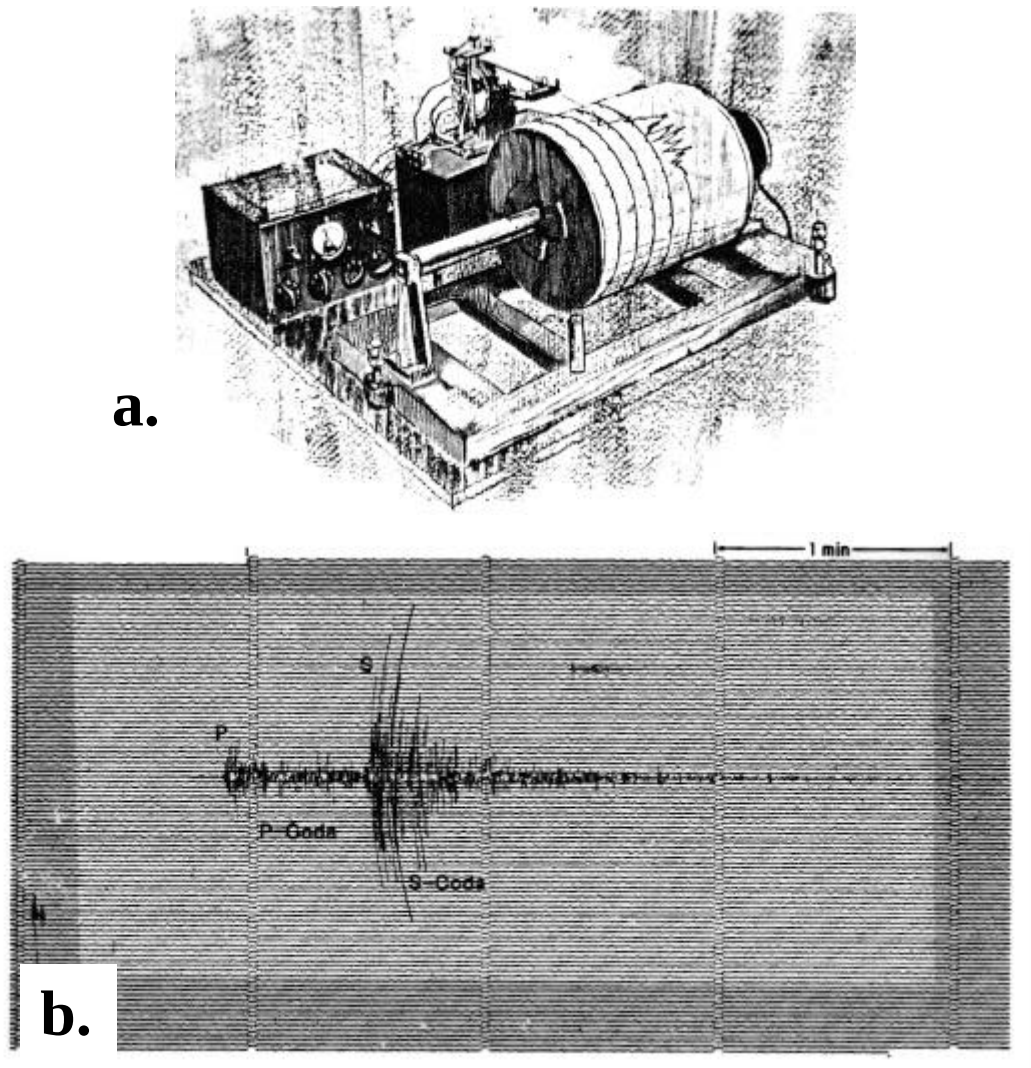


Figura 14.- a) Sismógrafo típico utilizado para el registro de sismos.
b) Sismograma de la estación de Ñaña (Lima). El sismo registrado presentó una magnitud de 3.8 en la escala de Richter.

El punto en donde se produce la máxima liberación de energía, al interior de la Tierra, se le denomina “foco sísmico”. La representación del foco sobre la superficie es

llamado “epicentro”. El primero es definido con tres parámetros: latitud, longitud y profundidad, mientras que el segundo sólo por dos: latitud y longitud (Figura 15).

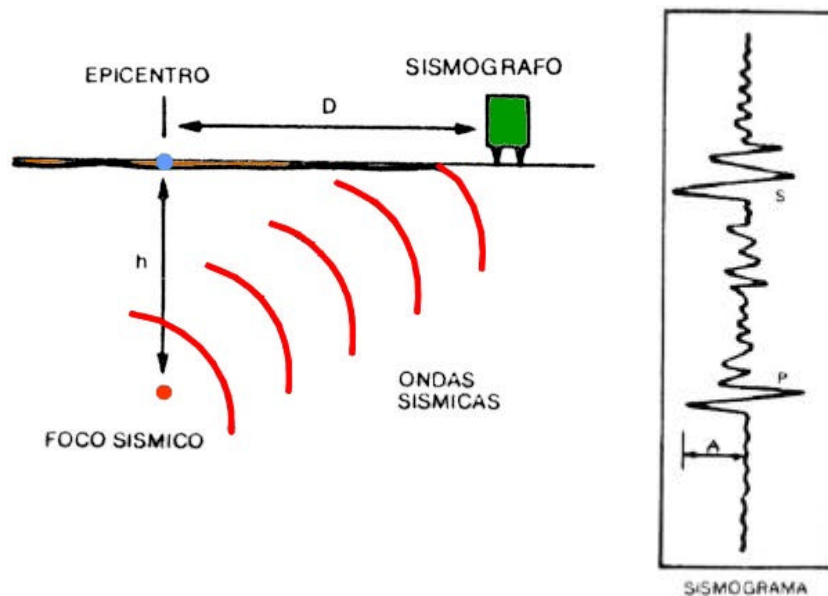


Figura 15.- Determinación del foco y profundidad (h) de un terremoto, así como la distancia epicentral (D), epicentro – estación de registro (sismograma). Ejemplo del registro de las ondas P y S.

Si consideramos la profundidad de los sismos, estos pueden dividirse en sismos superficiales de 0-60 km, intermedios de 70-300 km y profundos hasta 700 km.

En el Perú, la placa oceánica (placa de Nazca) se introduce por debajo de la placa continental hasta 300 km de profundidad en la región sur, con un ángulo próximo a los 30° . Mientras que, en el centro y norte del Perú, la placa oceánica se muestra horizontal a partir de los 100 km de profundidad (Figura 16). La profundidad de los sismos varia, siguiendo la geometría de subducción de la placa oceánica. Bajo este criterio, los sismos son más profundos cuanto más se alejen de la costa hacia el continente.

Dentro de este grupo, se encuentra casi el 90% de la actividad sísmica que se registra anualmente en el Instituto Geofísico del Perú (Figuras 16 y 17).

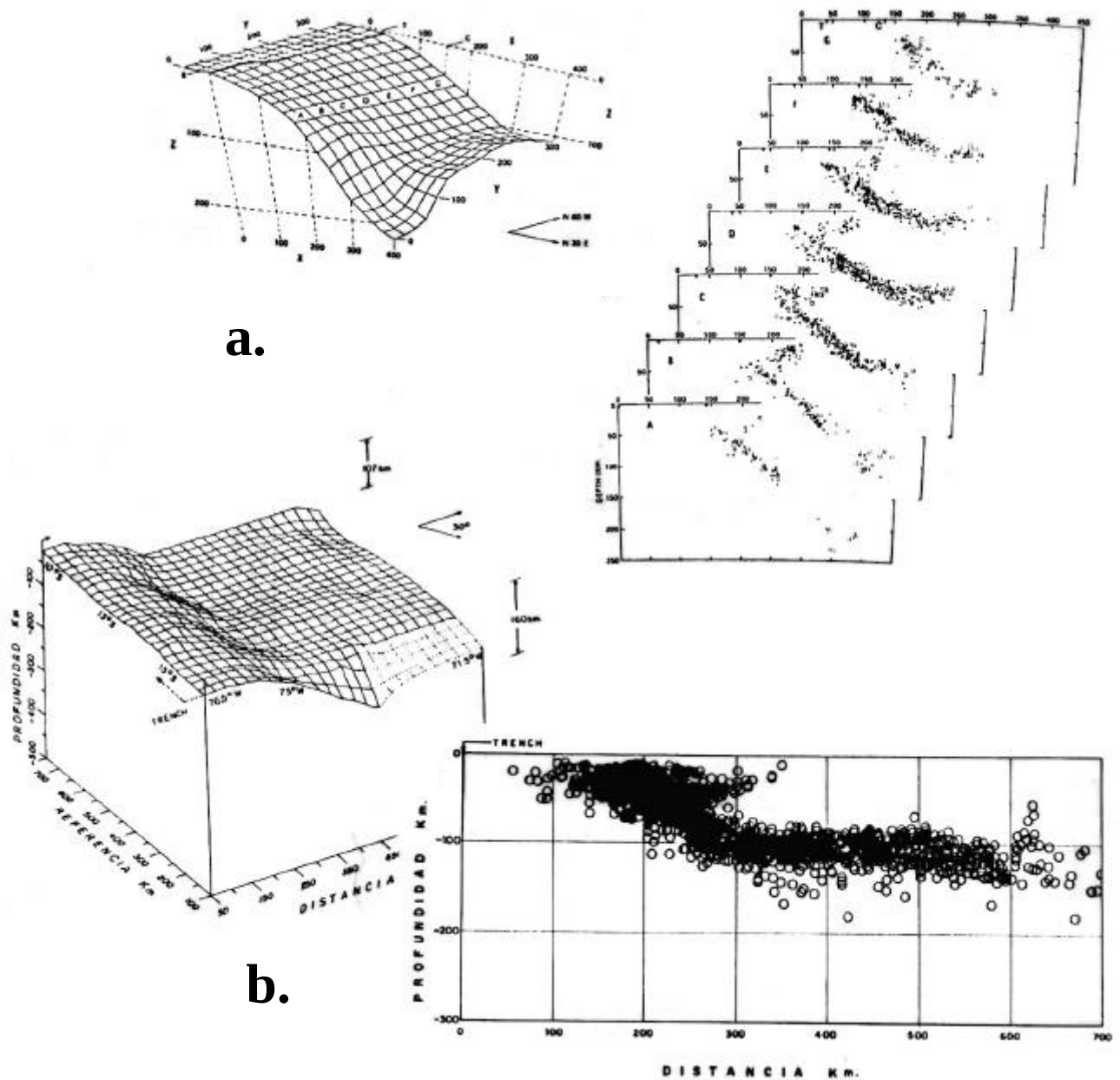


Figura 16.- Esquematización de los diferentes modelos de contacto entre la placa de Nazca y Sudamericana propuestos para el Perú a partir de la distribución de los sismos en función de la profundidad de sus focos. a) Modelo para la región sur del Perú, según Schneider and Sacks (1987), b) Modelo para el centro y norte de Perú, según Rodríguez y Tavera (1991).

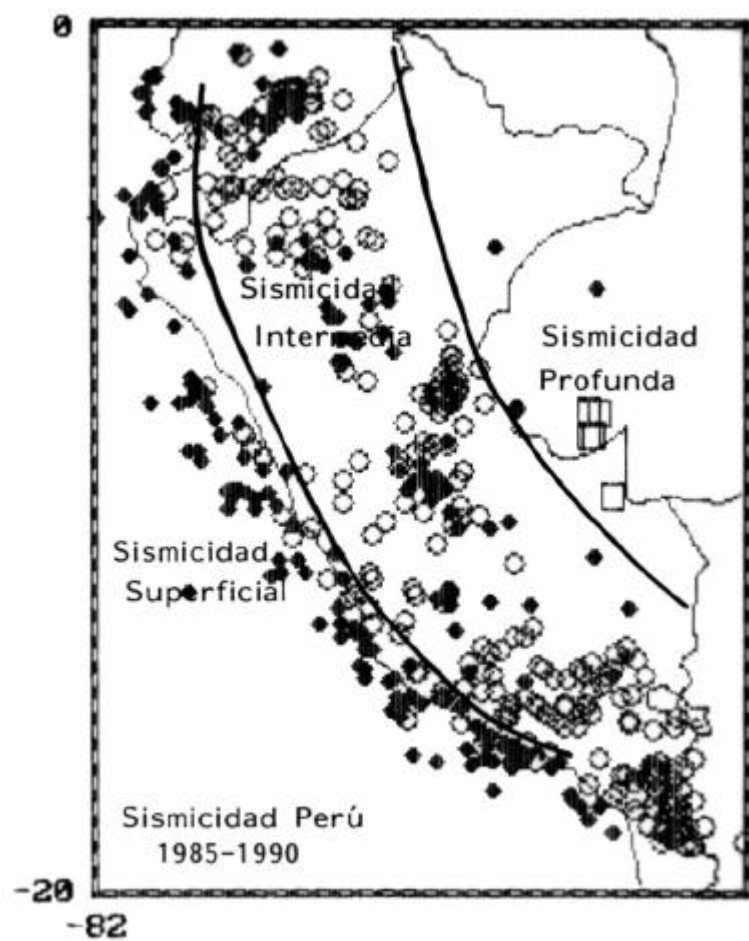
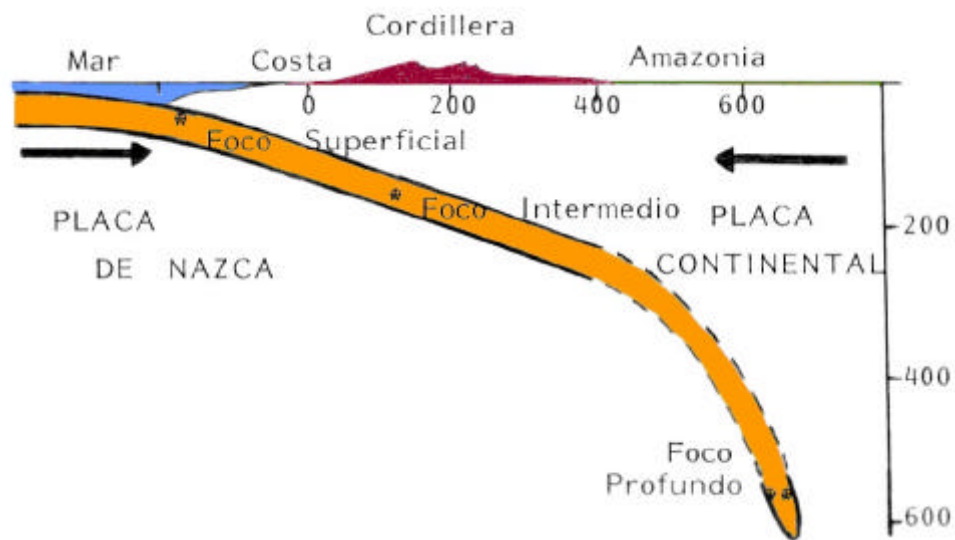


Figura 17.- Esquema que muestra el proceso de subducción y su relación con la distribución de los sismos en función de la profundidad de sus focos.

El segundo grupo de sismicidad, y que constituye el 10% del total de energía liberada, está asociada a las grandes fallas geológicas distribuidas en el interior del continente, tales como: sistema de fallas de Tambomachay (Cuzco), Cordillera Blanca (Ancash), Huaytapallana (Huancayo), Quinchés (Cajamarca) y Rioja –Moyobamba (San Martín), etc. (Figura 18).

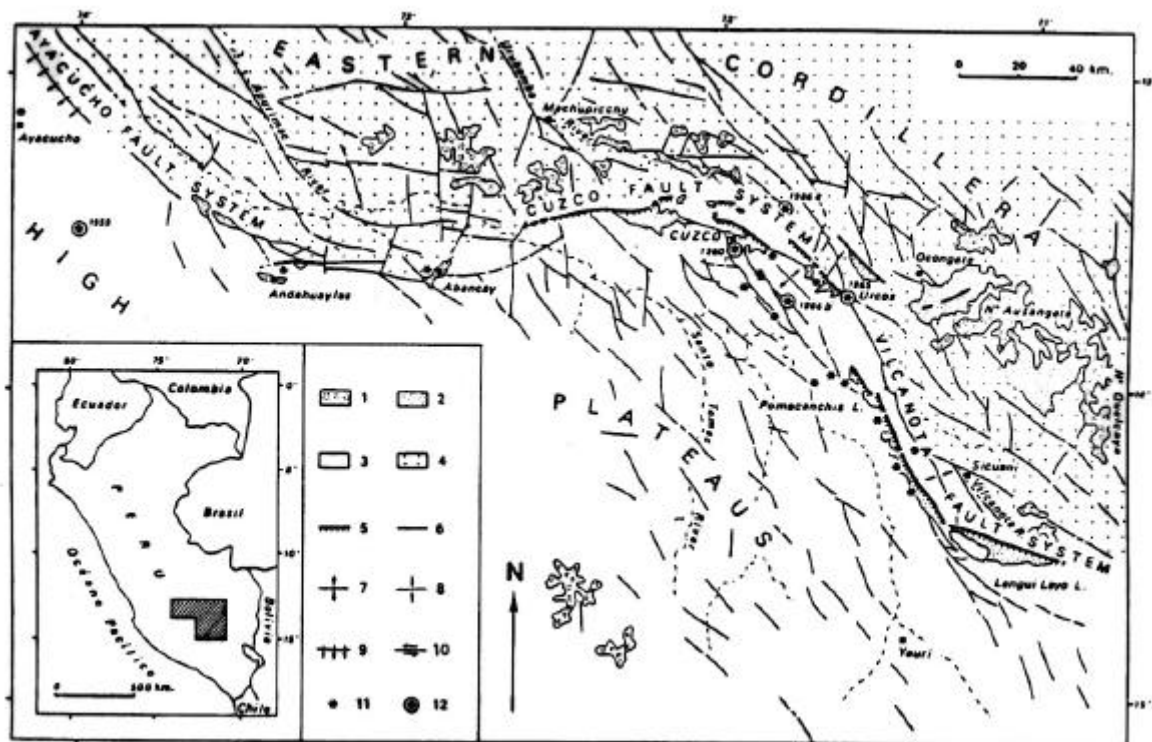


Figura 18.- Sistema de fallas activas de la Región del Cuzco (Perú). Parte de este sistema se reactivó con el terremoto del 5 de Abril de 1986 ($m_b=5.5$), Cabrera (1988).

A la ocurrencia de un movimiento sísmico, si este es débil comúnmente se le denomina temblor, y si es fuerte se le llama terremoto; sin embargo, la sismología permite diferenciar el tamaño de los sismos o terremotos de acuerdo a su magnitud. A la ocurrencia de un terremoto, de magnitud elevada, en el área afectada los sismos pueden ser agrupados en :

1. Sismos premonitores: son eventos sísmicos generalmente débiles y otras veces imperceptibles que anteceden al sismo principal.
2. Sismo principal o terremoto.
3. Réplicas: estos sismos son importantes porque se distribuyen a lo largo de la zona fracturada y se producen por un largo período de tiempo.

El tamaño de todos los sismos es medido por su intensidad y magnitud.

INTENSIDAD

La intensidad de un terremoto en un punto de la superficie de la Tierra, es la fuerza con que se siente en dicho punto. La medida de la intensidad sería fácil, si nuestro planeta fuese totalmente homogéneo, y bastarían algunas medidas para conocer el comportamiento de los suelos. Pero, nuestro planeta, es por demás heterogéneo, entonces se necesita realizar medidas en infinidad de puntos. Desde el punto de vista práctico esto es imposible, por lo tanto, se ha creado un método de medida de la intensidad, a partir de los daños que los terremotos causan en las viviendas, edificaciones y en el terreno, así como desde el comportamiento de las personas. Entonces, la intensidad de un terremoto en un punto de la superficie de la Tierra se mide con una escala cualitativa de acuerdo con los daños observados. La escala actual es una versión modificada de la escala que Guillermo Mercalli elaboró en 1902, y es denominada “Escala Modificada de Mercalli” (Anexo 1). Esta escala tiene doce grados y cada grado está representado por un número romano del I al XII. Cada grado lleva una descripción de los daños a los que corresponde, por ejemplo la descripción del grado VI es:

- “Sentido por todos.
- Muchos atemorizados abandonan los edificios.
- Se camina con dificultad.
- Ventana, platos y loza rotos.
- Libros caen de los estantes y cuadros de las paredes.
- Se mueven los muebles.

- Se forman grietas en construcciones débiles.
- Campanas pequeñas repican.
- Árboles y arbustos se ven agitados”.

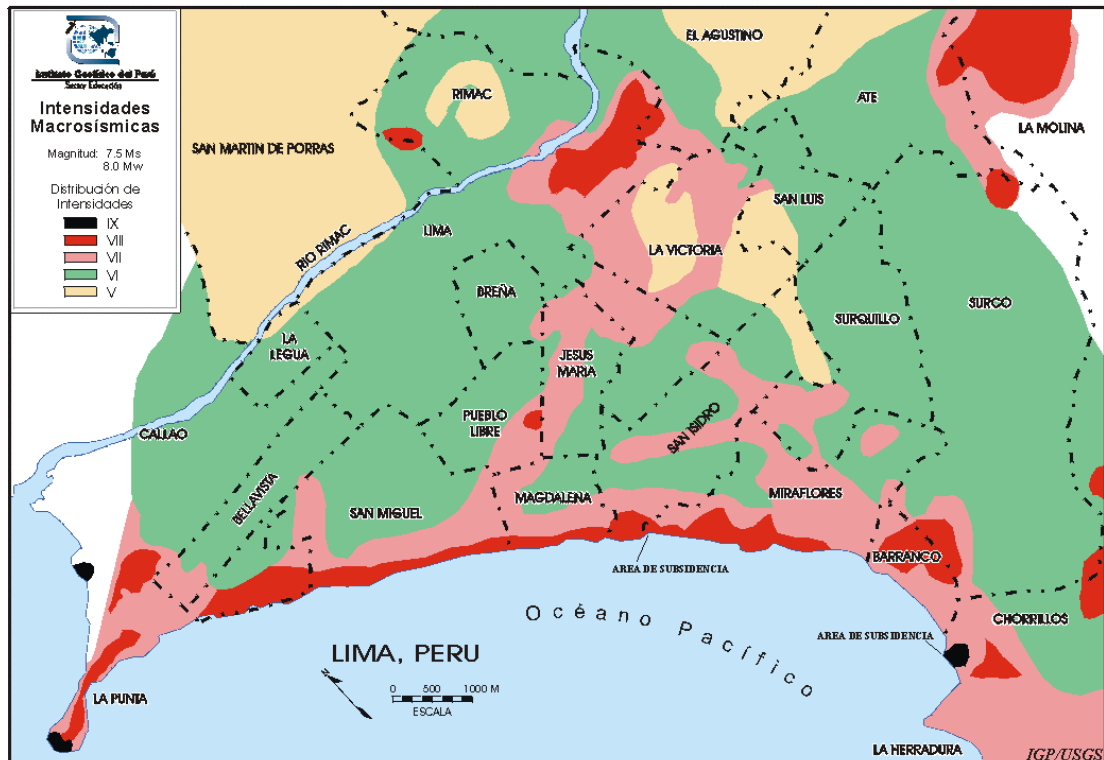
Asimismo, la descripción del máximo grado de intensidad (grado XII) es:

- “Destrucción total.
- Grandes masas de rocas son desplazados.
- Las líneas de nivel son distorsionadas.
- Los objetos son lanzados al aire”.

Aunque la intensidad se refiere siempre al daño en un sitio, se utiliza aún el término “Intensidad Máxima” referido a la zona del epicentro. Las isosistas o líneas de intensidad, son las que separan regiones que presentarán similar grado de destrucción o daño. La distribución de las isosistas refleja las diferencias geológicas más notables del terreno, la calidad de las construcciones y esto puede apreciarse en la forma de las isosistas del terremoto de Lima de 1974 (Figura 19).

MAGNITUD

La dificultad que se presentó para tener una idea precisa de la máxima intensidad de un terremoto, motivó a que se buscara una manera más objetiva para medir el tamaño de un terremoto. El resultado fue la creación de la escala de magnitud, que mide la energía disipada en el foco de un terremoto y transformada en ondas elásticas. La magnitud es por lo tanto, una medida cuantitativa, derivada de las ondas elásticas producidas por un terremoto, y observadas por medio de los sismógrafos en un sismograma. La creación de la escala de magnitud está ligada al nombre de Charles Richter y a sus investigaciones sobre terremotos en California (Figura 20).

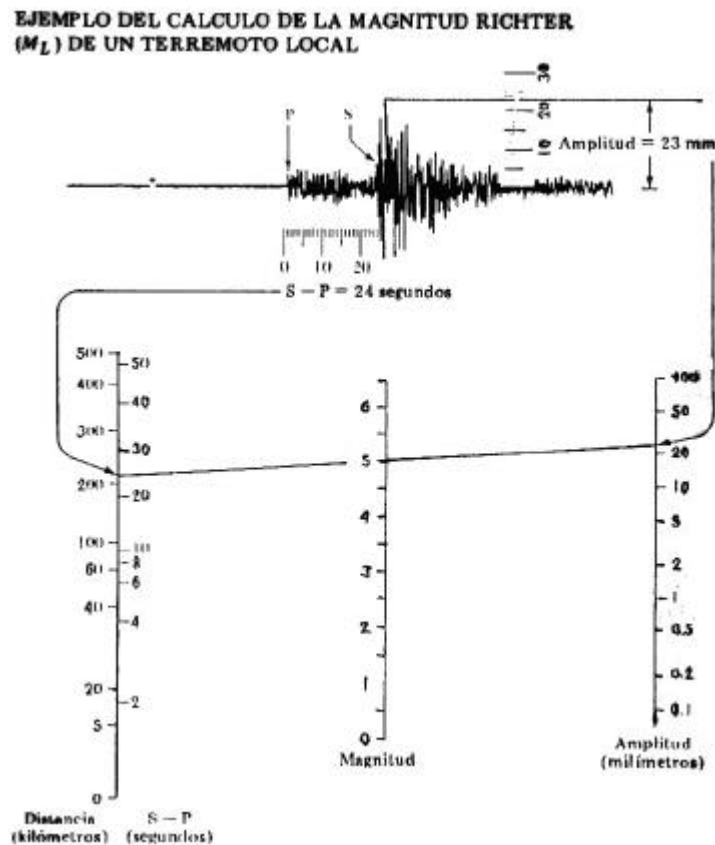


Distribución de Intensidades Macrosismicas escala Mercalli Modificada del sismo de Lima de Octubre 3 de 1974: Magnitud 7.5 Ms, 8.0 Mw (Espinoza et al., 1977)

Figura 19. Mapa de Isosistas regionales y de Lima Metropolitana para el terremoto ocurrido el 03 de Octubre de 1974 ($m_b=6$).

Por lo tanto, la magnitud es estimada a partir de cualquiera de las diferentes ondas que constituyen el registro del terremoto. Así, la magnitud puede ser denominada como: magnitud local (ML), cuando se utiliza registros de eventos ocurridos a distancias pequeñas de la estación sísmica, magnitud de ondas de superficie (Ms) si se utiliza registros de ondas superficiales, magnitud de ondas de volumen (mb) cuando se utiliza registros de ondas P o S y magnitud en función de la duración total del registro de la señal sísmica (MD) en los sismogramas de periodo corto ya distancias regionales.

La magnitud está ligada a la cantidad de energía liberada en el foco de un sismo. Esta relación, permite calcular la energía liberada en cada región durante un intervalo de tiempo determinado. Así, un sismo de magnitud 8.5 es 100 millones de veces más grande que uno pequeño de magnitud 3.0. Si hacemos una comparación con la energía liberada por las explosiones nucleares: la magnitud de una bomba A (equivalente a 20,000 toneladas de TNT) es aproximadamente de 6.0; una bomba H de 50 megatones tendría una magnitud superior a 8.0, análoga a los grandes sismos. Para el caso del Perú, el terremoto de 1940 (ocurrido frente a Lima) con magnitud 8.2 Ms, liberó una energía de 10^{25} ergios, equivalente a la liberada por 10,000 bombas atómicas, como la detonada en Hiroshima.



Procedimiento para el cálculo de la magnitud local M_L :

1. Medir la distancia al foco utilizando el intervalo de tiempo entre las ondas S y P ($S - P = 24$ segundos).
2. Medir la altura de la máxima onda del movimiento sobre el sismograma (23 milímetros).
3. Trazar una línea recta entre los puntos correspondientes de las escalas de distancia (izquierda) y amplitud (derecha) para obtener la magnitud $M_L = 5.0$.

Figura 20.- Método para el cálculo de la Magnitud Local, según los modelos de Richter.

RECOMENDACIONES GENERALES EN CASO DE OCURRIR UN TERREMOTO

1.- Antes del Terremoto:

- Vigile que las normas antisísmicas de construcción establecidas por los consejos municipales, sean totalmente respetadas.
- Cuide que todos los muebles y otros aparatos eléctricos sean fijados a las paredes.
- No coloque objetos sobre roperos, puertas, escaleras y otros sobre las ventanas de las habitaciones que dan a la calle o interior.
- Tenga en casa siempre una radio a pilas, una linterna, alimentos enlatados, agua y los medicamentos necesarios para primeros auxilios. Asegúrese de que todos saben donde están guardados.
- Preocúpese por conocer las zonas de mayor seguridad en vuestras casas, tales como portadas, escaleras, muebles sólidos, etc..
- Enseñe a todos los miembros de la familia como cortar el gas, el agua y la electricidad.
- Piense en un plan para volver a reunir a la familia después de un terremoto, en el caso de que alguien esté separado.
- En los colegios, solicite que la dirección y los profesores expliquen a los estudiantes de años superiores como actuar en caso de terremoto.
- En el trabajo, averigüe si en la oficina o taller se cuenta con un plan de emergencia. Se tiene responsabilidades es caso de una emergencia?,
- Se tiene alguna misión especial que llevar a cabo?..

2.- Durante un Terremoto.

- Tenga calma, no muestre pánico a los miembros de la familia.
- **Si Ud. está en casa u otro edificio:** cúbrase debajo de un mueble sólido, apóyese en un muro, ubíquese debajo del arco de una puerta interior, lejos de las ventanas y de las puertas exteriores.

- **Si Ud. se encuentra fuera:** aléjese de los edificios para evitar que las cornisas, muros, vidrios, etc. de los edificios lo alcancen si estas cayeran. No se quede debajo de las líneas de corriente eléctrica.
- No use velas, ni cerillas ni ningún tipo de llama.
- **Si Ud. está en su auto:** deténgase inmediatamente, no descienda si no después de algunos segundos. Si es posible, estacionese en un punto alejado de los edificios que podrían caer sobre Ud.
- **En el trabajo,** métase debajo de una mesa o mueble sólido. Manténgase lejos de las ventanas. Evacue el lugar si se requiere. Use las escaleras en lugar de los ascensores.
- **En la escuela,** colóquese bajo las mesas, de espaldas a la ventana. Si se está en el patio, manténgase lejos del edificio. **Si está en el autobús** del colegio, quédese en el asiento hasta que el conductor pare.

3.- Después del terremoto.

- Observe si en los alrededores hay alguna persona herida. Practique los primeros auxilios si es necesario.
- Verifique si hay fugas de agua, gas, cierre las llaves de paso. Revise los tomacorrientes. Controle si hay escapes de gas por el olor. Si se detectara, abra las ventanas y puertas, salga inmediatamente y avise a las autoridades pertinentes.
- Escuche la radio y consejos de emergencia. No use el teléfono, resérvelo para llamadas de mayor prioridad.
- No use los baños hasta que el alcantarillado esté controlado.
- Calce botas para protegerse de cristales rotos y escombros.
- Retírese de los inmuebles dañados.
- Manténgase lejos de las zonas de playas y costas donde un tsunami pueda ocurrir, incluso tiempo después de que el terremoto haya pasado.
- No vaya a zonas dañadas, excepto si se esta autorizado.
- En la escuela o trabajo, siga el plan de emergencia o las instrucciones dadas por alguien que esté encargado.
- Tenga cuidado con las réplicas (pequeños sismos) que pueden causar daños suplementarios.

BIBLIOGRAFÍA

- BOLT, B (1981).** Terremotos, serie Reverté Ciencia y Sociedad , Editorial Reverté, 266 p.
- CABRERA, J. (1988).** Neotectonique et sismotectonique dans la Cordillere Andine au niveau du Changement de Geometrie de la Subduction: La region de Cuzco (Perou), These Dr. Sciencies Univertité Paris-Sud, ORSAY, 274p.
- GIESECKE, A., OCOLA,L. And E. SILGADO (1974).** Sismo del 03 de Octubre de 1974 – Lima, Perú, Informe UNESCO, CERESIS, 55 p.
- RODRÍGUEZ, L. And H. TAVERA (1991).** Determinación con Alta Resolución de la Geometría de la Zona Wadati-Benioff en el Perú Central, Rev. Bras. Geof. Vol. 9)2), 141-159.
- SCHNEIDER, J. And I. SACKS (1987).** Stress in the contorted Nazca plate beneath southern Perú from local earthquake, J. Geophys. Res. 92, 13887-13902.
- SMITH, P. (1975).** Temas de Geofísica, Editorial Reverté S.A., Versión en español, A. Udias, España, 286 p.

ANEXO I
Escala de intensidad Mercalli Modificada
Abreviada

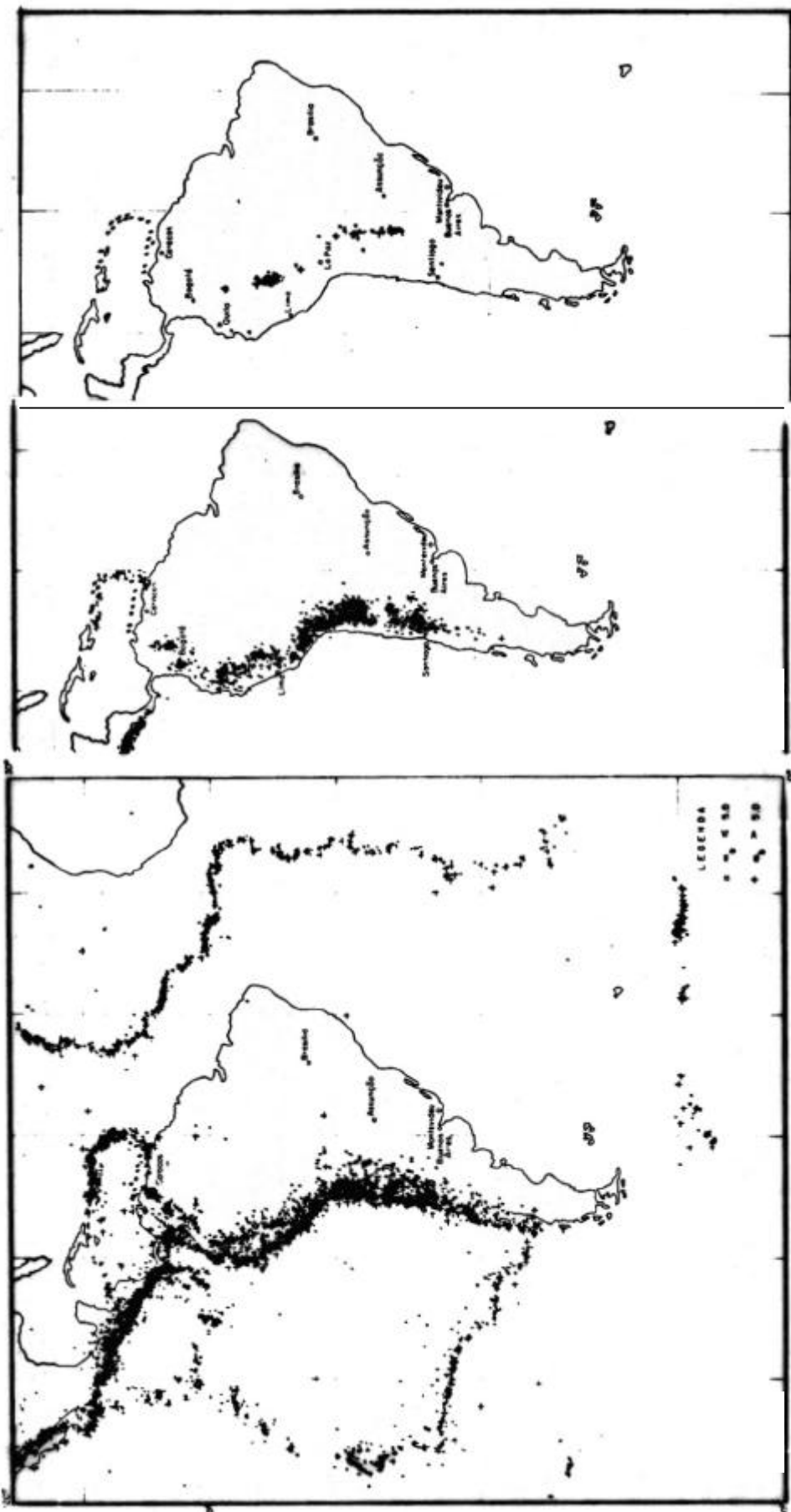
Valor de Intensidad	DESCRIPCION
I	Registrado sólo instrumentalmente.
II	Perceptible sólo por pocas personas en pisos altos.
III	Perceptible por algunos en edificios. Liger balanceo de objetos colgados.
IV	Sentido por todos en edificios y algunos en el exterior. Vibración de puertas y ventanas, balanceo de objetos colgados y movimientos de muebles.
V	Sentido por todos dentro y fuera de edificios. Caída de objetos ligeros, golpear las puertas y ventanas. Ligeros daños en construcciones de tipo A.
VI	Temor generalizado. Posible rotura de vajilla, caída de objetos, movimiento de muebles pesados. Daños moderados en construcciones de tipo A, ligeros en B. Grietas pequeñas en terrenos, deslizamientos y cambios de nivel en pozos.
VII	Mayoría aterrorizada. Graves daños en construcciones tipo A, llegando a destrucción completa, moderados en B y ligeros en C. Deslizamientos de tierras, cambios de caudal en manantiales y pozos.
VIII	Miedo y pánico general. Destrucción y algunos colapsos de construcciones de Tipo A, daños graves y alguna destrucción en B, moderados y algún grave en C. Derrumbamiento de muros, deslizamiento de laderas y barrancos, grietas grandes en terreno, cambios de caudal.
IX	Pánico general. Colapso de construcciones tipo A, destrucción de C. Doblamiento de raíles, rotura de carreteras. Numerosas grietas en terreno y desprendimiento de rocas y tierras. Licuefacción, extrusión de agua, arena y fango.
X	Colapso de la mayoría de construcciones tipo A, y algunas B, destrucción de muchas y colapso de algunas de C. Daños serios en presas y puentes, ondulación de rieles y pavimento. Grandes grietas en terreno con anchas grietas y muchos deslizamientos de tierras.
XI	Daños importantes en todas las construcciones, carreteras fuera de servicio y canalizaciones destruidas. Deformaciones considerables en el terreno con anchas grietas y muchos deslizamientos de tierras.
XII	Todas las estructuras destruidas o gravemente dañadas, cambios en la topografía, grandes grietas con importantes desplazamientos, desviación de ríos y formación de lagos.

TIPOS DE CONSTRUCCION	
A	Muros de mampostería en seco o con barro, adobe y tapial.
B	Muros de ladrillo, bloques de mortero, mampostería con mortero, entramado de madera.
C	Estructura metálica o de hormigón armado.

ANEXOS SUPLEMENTARIOS

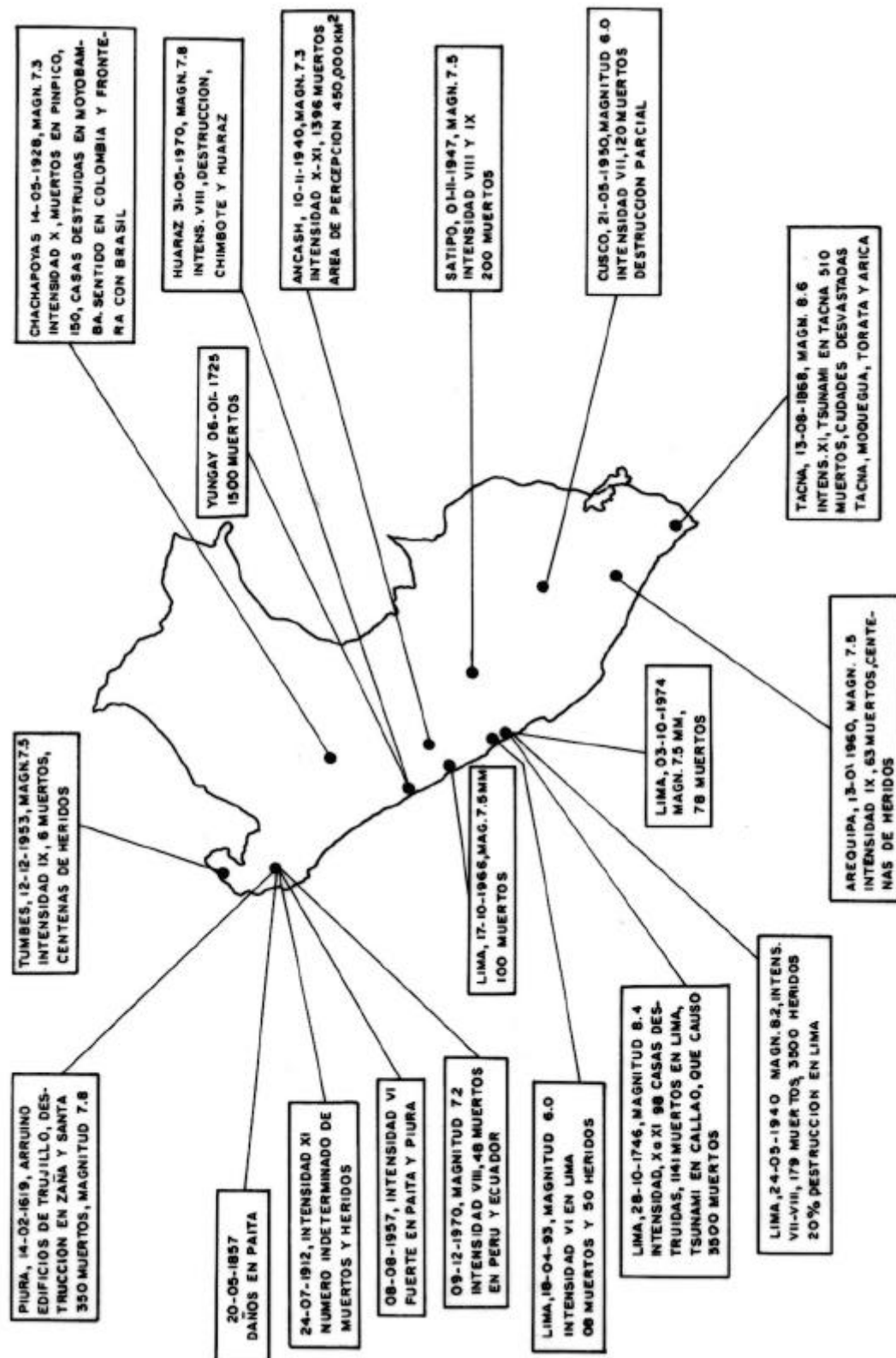
Terremotos importantes de América del Centro y del Sur

FECHA	EPICENTRO	MAGNITUD	
MEXICO-GUATEMALA			
25-III-1806	Jalisco		Muchos muertos
7-III-1845	Acapulco	~7	Tsunami
15-III-1845	Guatemala		
11-II-1875	Zapopan, Jalisco	7,5	
19-IV-1902	Quetzaltenango	8,3	Muchos muertos
7-VI-1911	Jalisco	8	45 muertos, daño en México capital
3-I-1918	Guatemala		Destructor en Guatemala capital, varios muertos
22-II-1943	Guerrero	7,5	Daño en México capital
30-I-1973	Michoacán-Colima	7,7	56 muertos
28-VIII-1973	Puebla-Veracruz	7,1	100 kilómetros de profundidad, 600 muertos
4-II-1976	Guatemala	7,9	22000 muertos
AMERICA CENTRAL			
19-X-1820	San Pedro Sula, Honduras		
2-IX-1841	Costa Rica Central		
31-VII-1847	Nicaragua		
FECHA	EPICENTRO	MAGNITUD	
8-XII-1859	El Salvador		
7-IX-1882	Panamá		
20-XII-1904	Costa Rica, Panamá	8,3	
6-V-1951	Jucnapa, El Salvador	6,5	400 muertos
23-XII-1972	Managua	6,5	Cerca de 10000 muertos
	El Salvador		
CARIBE Y VENEZUELA			
26-III-1812	Caracas, Venezuela		Destructor
11-VIII-1831	Barbados		
7-V-1842	Norte de Haití		
20-VIII-1852	Santiago, Cuba		
26-IX-1874	Antigua		
21-VI-1900	Islas Caimán	7,9	
14-I-1907	Kingston, Jamaica		1000 muertos
22-XII-1923	Boyaca, Colombia	6,9	Tsunami
4-VIII-1946	N. de Santo Domingo	8,1	
29-VII-1967	Caracas, Venezuela	6,5	250 muertos, 100 millones de dólares de daño
COLOMBIA Y ECUADOR, PERU-BOLIVIA			
16-VII-1805	Honda, Colombia		
30-III-1838	Callao, Perú		
22-III-1859	Quito, Ecuador		
23-II-1871	San Antonio, Bolivia		
FECHA	EPICENTRO	MAGNITUD	
31-I-1906	Norte de Ecuador	8,9	
24-VIII-1942	Nazca, Perú	8,6	
10-XI-1946	Aucash, Perú	7,8	1500 muertos
5-VIII-1949	Ambato, Ecuador	6,8	6000 muertos
29-VII-1967	Santander, Colombia		
31-V-1970	Aucash, Perú	7,8	40000 muertos
CHILE Y ARGENTINA			
3, 4, 11-IV-1819	Copiapó, Chile	~8	Tsunami
20-II-1835	Concepción, Chile	~8 1/2	Tsunami
21-III-1861	Mendoza, Argentina		18000 muertos
25-I-1939	Chillan, Chile	8,3	30000 muertos
15-I-1944	San Juan, Argentina		5000 muertos
22-V-1960	Valdivia, Chile	8,4	
28-XII-1966	Taital, Chile	7,5	
8-VII-1971	La Ligua, Chile	7,5	
23-IX-1977	San Juan, Argentina	7,4	



Mapas de Sismicidad para América del Sur (1980 - 1990).

a) Profundidad entre 0 - 100 km, b) 101 - 300 km y c) mayores a 300 km.



Terremotos Importantes que afectan diversas ciudades de Perú.