

# Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



**ASAGAI**

ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE GEOLOGÍA APLICADA  
A LA INGENIERÍA

Córdoba - Argentina

# INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Cuerpo Editorial		I
Comisión Directiva		II
Síntesis de zeolita na-p en solución alcalina a partir de una toba vítrea parcialmente zeolitizada	<i>Locati, F - Marfil, S. - Lescano, L. - Madsen, L. - Cravero, F - Castillo, L. - Barbosa, S. - Maiza, P.</i>	1
Los terremotos, la profundidad del hipocentro y la energía liberada. La influencia en las construcciones	<i>Pizarro, Nery F. - Tornello, Miguel E. - Gallucci, Ángel Rubén</i>	9
Correlación entre parámetros de compactación y propiedades geotécnicas en suelos tropicales misioneros	<i>Bogado, Gustavo O. - Pintos, Nicolás A. - Reinert, Hugo O. - Bressan, Daniel A.</i>	19
Instrucciones para autores		27
Formulario de suscripción o compra		31



## Los terremotos, la profundidad del hipocentro y la energía liberada. La influencia en las construcciones

## The earthquakes, the depth of the hypocenter and the energy released. The influence in the constructions

Pizarro, Nery F. <sup>1,2</sup> ✉ - Tornello, Miguel E. <sup>1,2</sup> - Gallucci, Ángel Rubén <sup>1,2</sup>

Recibido: 22 de agosto de 2017 • Aceptado: 21 de noviembre de 2017

### Resumen

*El Centro-Norte de la provincia de Mendoza, Argentina, es considerado como zona de elevado riesgo sísmico. La elevada probabilidad de ocurrencia de un terremoto destructivo no dependerá solamente de su magnitud. La poca profundidad del hipocentro es una característica muy importante. Los grandes terremotos históricos han dejado su enseñanza.*

*La magnitud de un terremoto está relacionada con la energía que se libera y ésta a los posibles daños en las construcciones. Esta energía se disipa de diversas formas, una gran cantidad lo hace en el entorno del foco y otra en la distancia que recorren las ondas sísmicas y las características geológicas del sustrato. El tipo de terremoto, armónico o impulsivo, toma una importante relevancia en los estudios realizados.*

*La base de datos utilizada, son registros de terremotos proporcionados por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica y los obtenidos en el CEREDTEC.*

*Se clasifica a los terremotos según la profundidad de su hipocentro, distinta a la clasificación existente, teniendo en cuenta las características propias de la zona sismo-tectónica. La profundidad del foco está relacionada con la energía que llega a la superficie terrestre. El nombre asignado a esta energía es: "Energía Superficial". Se propone considerarla como un parámetro importante para relacionarlo con las características estructurales que deberán poseer las construcciones para disiparla y así controlar los daños. Se ha construido una curva de atenuación, propia para la región, de la energía que libera el terremoto para calcular la Energía Superficial. La validación deberá corroborarse cuando ocurra un terremoto destructivo.*

**Palabras Claves:** *Energía de los terremotos - Profundidad del hipocentro - Atenuación.*

### Abstract

*The Center - North of the of, Argentina, is considered a zone of high seismic risk. The high probability of occurrence of a destructive earthquake will not depend only on its magnitude. The shallow depth of the hypocenter will be a very important feature. The big historical earthquakes have left their lessons.*

1. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza. Argentina.

2. CEREDTEC (Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica)

✉ nery@frm.utn.edu.ar

*The magnitude of an earthquake is related to the energy that is released and this one to the possible damage to the buildings. This energy is dissipated in different ways: a lot is dissipated in the environment of the focus and another in the distance travelling seismic waves and the soil type. The earthquake harmonic or impulsive, takes an important relevancy in the studies realized.*

*The database used, are records of earthquakes provided by the National Institute of Seismic Prevention and those obtained in CERDETEC.*

*The earthquakes are classified according to the depth of the hypocenter, different from the existing classification, taking into account the characteristics of the seism-tectonic zone.*

*The depth of focus is related to the energy that reaches the Earth's surface. The name assigned to this energy is "Surface Energy". It is proposed to consider this energy like an important parameter to relate it to the structural characteristics of the constructions to dispel it and in this way to control the damages. A curve of attenuation has been elaborated, for this region, of the energy released by the earthquake to calculate the surface energy. The validation will have to be corroborated when a destructive earthquake happens.*

**Keywords: Earthquake energy - Depth of hypocenter - Attenuation .**

## INTRODUCCIÓN

El centro-norte de la provincia de Mendoza, Argentina, es una zona de elevado riesgo sísmico. Este proviene de una gran cantidad de fallas tectónicas intraplaca (Costa, C., et al., 2000. González, M.A., et al., 2002. Costa, C., 2011) que existen en la corteza terrestre y que se extienden a poca profundidad.

La clasificación de los terremotos según su profundidad normalmente adoptada en el mundo no representa la realizada de la región estudiada, por lo tanto se propone una clasificación distinta (Sauter, F., 1989). *New Manual of Seismological Observatory Practice, 2002. Bolt y Bruce, A., 2017. Servicio Geológico Colombiano 2017. USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos). 2017.* Teniendo en cuenta la profundidad del hipocentro de los terremotos que ocurren en la zona, y la distribución de ellos según los datos del INPRES (*Instituto Nacional de Prevención Sísmica*) (2017), motiva a realizar una modificación de esta clasificación.

La distribución de los focos de los terremotos ha demostrado que, según los datos disponibles, en especial la magnitud y profundidad, los efectos que han de soportar las construcciones dependen de ellos. Esto es muy común que se lo mencione en muchos trabajos de investigación y ya es considerado como un conocimiento adoptado por los profesionales en el tema (*New Manual of Seismological Observatory Practice. 2002*).

Se plantea que, un evento sísmico de igual magnitud pero cuyo hipocentro está a distinta profundidad, le brindará una distinta demanda energética a disipar por las estructuras de las construcciones. La demanda se la ha relacionado con la liberación de energía de los terremotos, que se transforma en distintos tipos, trasladándola a la superficie de la tierra. A esta energía se la denomina "Energía Superficial" (Esup). Para calcularla se propone una curva de atenuación de la energía liberada en relación magnitud-profundidad del hipocentro.

Se conoce que éste aspecto no es el único, y tal vez no el principal, efecto que provoca daños a las estructuras, como por ejemplo el efecto Near-Fault o el de direccionalidad, entre otros (Silva, E., et al., 2002. Frau, C., 2009). Sin embargo contribuye a poder evaluar el poder destructivo de los terremotos. Es necesario aclarar que la terminología "poder destructivo" que es utilizada por otros investigadores (Orosco, L. y Alfaro Villegas, I.,

2007. Zúñiga Dávila, F. R., 2011), no posee el mismo contenido conceptual que la "Energía superficial". En esos trabajos se designa como "poder destructivo" de un terremoto relacionándolo con el registro instrumental, generalmente de velocidades, respecto a la disipación de energía que poseería un sistema estructural de un grado de libertad. Ejemplo de esto es la Intensidad de Housner (1952) donde relaciona la pseudo-velocidad espectral integrada en un determinado tiempo. La intensidad de Arias (1970) que relaciona la aceleración del terremoto en un periodo determinado de tiempo. Por último se cita el poder destructivo de Araya y Saragoni (1985) que toma la intensidad de Arias y la modifica teniendo en cuenta un parámetro que surge de la cantidad de veces que el registro de aceleración pasa por el cero. Este último parámetro introduce el concepto: contenido de frecuencia. Por lo expresado, en la investigación realizada se ha denominado a este concepto "Energía superficial".

El trabajo queda limitado a validarlo ya que los terremotos destructivos (INPRES. 1986) que se han producido en la zona no han tenido un registro instrumental o bien este no es acorde a los requerimientos tecnológicos que se necesitan para aseverar que la propuesta es aproximadamente correcta, acorde a lo que se está proponiendo. La validación de los resultados podría contrastarse cuando ocurra un terremoto destructivo en la zona.

Los resultados obtenidos, se pueden relacionar con otros aspectos característicos de los sismos que influyen en la demanda de disipación de energía que deberán poseer las construcciones, algunos de ellos son: la estructura sismorresistente que posee, su ubicación en cercanía o lejanía a la falla tectónica, el tipo de suelo de emplazamiento, la diferencia entre un sismo del tipo armónico o del tipo impulsivo, entre otros. Lo que surge de la investigación determina como disminuiría o limitaría la influencia de los aspectos mencionados.

En los resultados de la investigación se presenta una propuesta que involucra parámetros propios de los terremotos, no así lo que ocurriría con las construcciones. La investigación realizada propone contribuir al conocimiento de otro parámetro, característico de un terremoto destructivo, que influiría desfavorablemente en la respuesta de las construcciones. Se define una forma de considerar la energía superficial mediante una curva de atenuación propia de la región.

Se destaca que el desarrollo o difusión de resultados de investigaciones sobre el presente tema es escasa.

En esta investigación se tomaron como datos los registros de los terremotos publicados por el INPRES desde el 9 de octubre de 1998 hasta el 26 de octubre de 2016 y los registros instrumentales que se posee en el CEREDETEC. Los mismos se limitaron entre la Latitud Sur, desde el paralelo  $32^\circ$  hasta  $33,5^\circ$  y Longitud Sur, desde el meridiano  $68^\circ$  hasta  $69,5^\circ$ . El recuadro de la región en estudio (Figura 1) está ubicado: al Este por la ciudad de Las Catitas, departamento de Santa Rosa; al Oeste, por la ciudad de Uspallata, departamento de Las Heras; al Norte, por la ciudad de Media Agua (sur de la provincia de San Juan) y al Sur por la localidad de Zapata en el departamento de Tunuyán.

Los terremotos han sido procesados graficándolos, en primera instancia, por año de ocurrencia. Hay que tener en

cuenta que en los primeros años de registros no se pudieron publicar la totalidad, ya que el sistema de registro y publicación estaba poniéndose en marcha. La Figura 2 muestra la variación de la cantidad de sismos por año desde el 2006, con magnitudes mayores a 3. No se tiene en cuenta: la profundidad del hipocentro ni la ubicación exacta del epicentro.

Observando la Figura 2 se justifica trabajar únicamente con los terremotos ocurridos desde el año 2011 en adelante. Desde ese año se poseen una significativa cantidad de datos de los eventos sísmicos. Se puede destacar que existe una disminución notable de la cantidad de sismos de magnitudes mayores o iguales a 3 desde el año 2012 hasta la fecha del presente análisis. Esto puede que se llegue a intuir que existe una acumulación de energía que en algún momento se liberará, siguiendo la teoría del "Rebote Elástico".

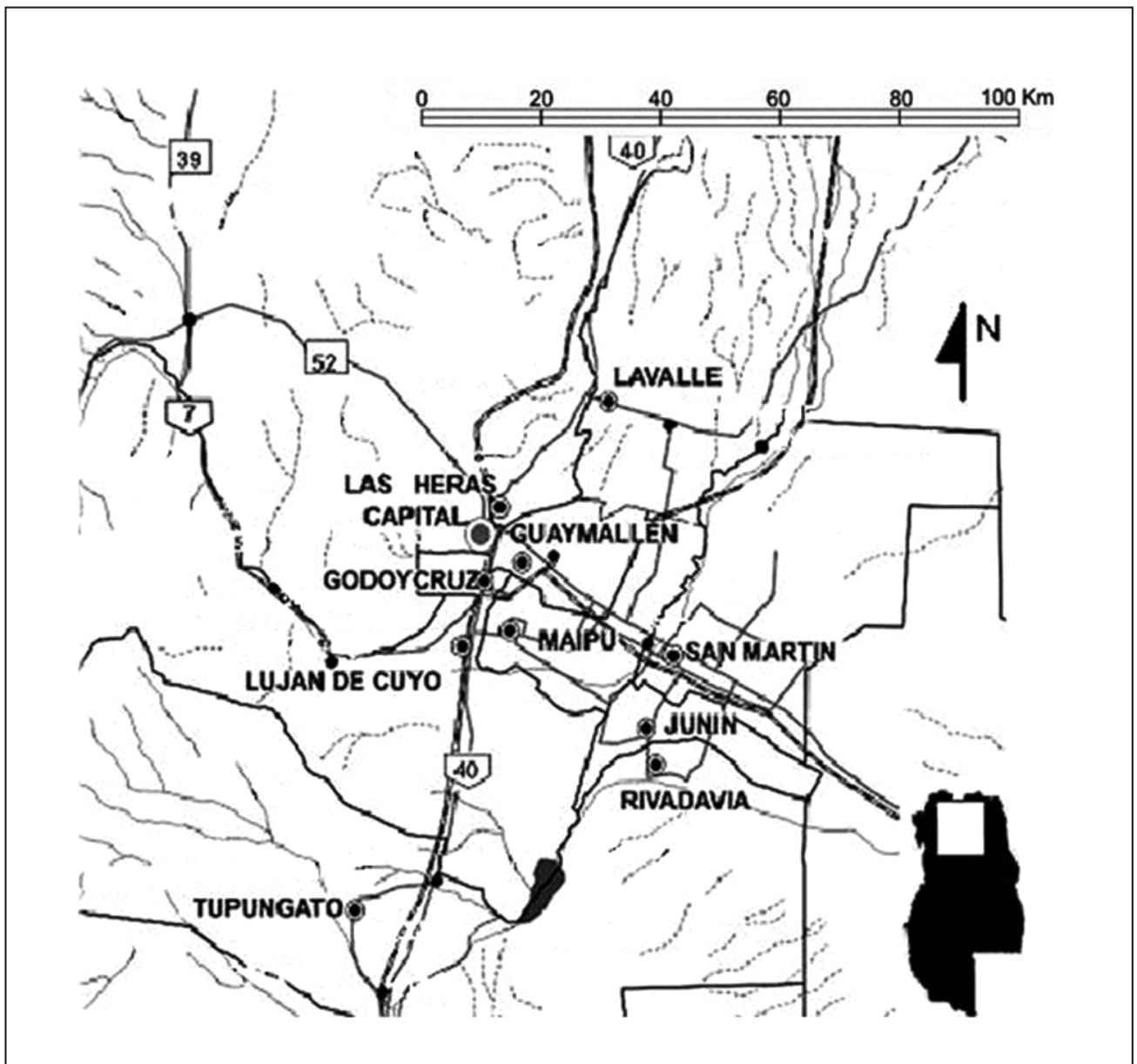


Figura 1. Zona de análisis. Ubicación en la provincia de Mendoza, Argentina.

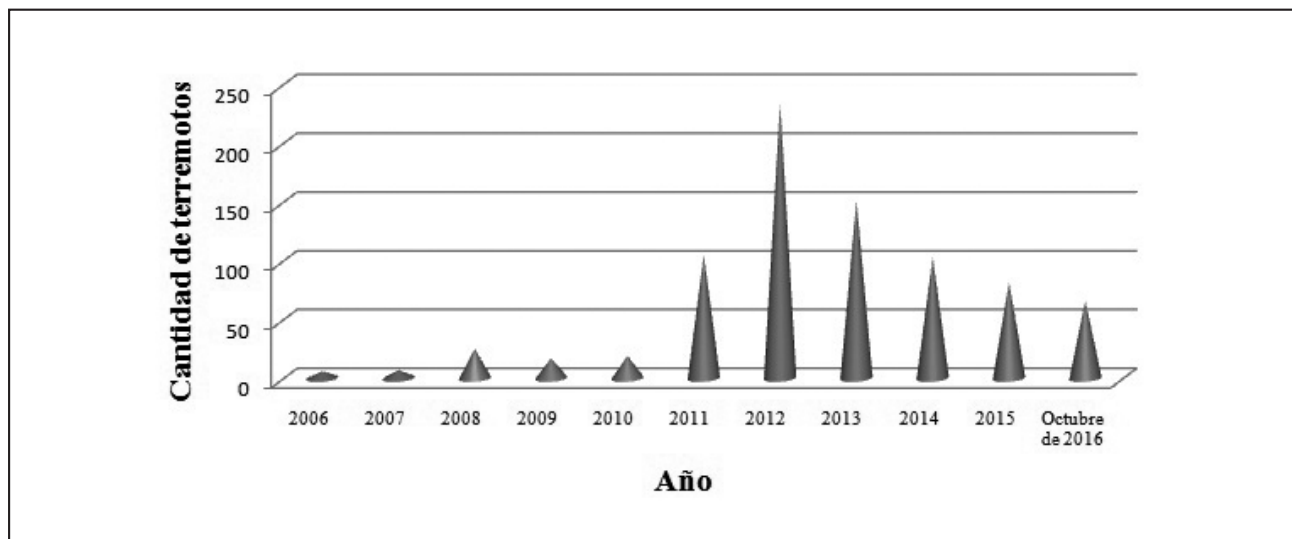


Figura 2. Cantidad de terremotos por año con magnitudes mayores o iguales a 3.

### CARACTERÍSTICA SISMO-TECTÓNICA DE LA REGIÓN

La placa Sudamericana se desplaza hacia el oeste y la placa de Nazca lo hace en sentido opuesto. Este mecanismo induce un estado de esfuerzos compresionales a la placa Sudamericana, que domina la configuración estructural de la región en estudio. Son éstos los responsables de la orientación y sentido del desplazamiento de las fallas intraplacas que caracterizan la sismicidad de la zona (INPRES, 1986). En la Figura 3, se indican algunas de las fallas sismogénicas de la zona en estudio, donde las fuentes corresponden al proceso de fallamiento cuaternario asociado al marco tectónico local, estudiado y conocido en la zona en estudio (Costa, C., et al. 2000. González, M.A., et al. 2002. Nafá y Zamarbide 1989).

En la región de estudio la probabilidad de ocurrencia de que haya un terremoto destructivo no depende principalmente de su magnitud, la poca profundidad del hipocentro es una de las características importantes a tener en cuenta. El sismo tendría su foco en una falla intraplaca (Figura 3). Una causa importante es que la placa tectónica de Nazca subduce bajo la placa Sudamericana, cerca a las costas de Chile. La inclinación en dicha región es aproximadamente de 27° a 30° y a medida que se introduce bajo la placa sudamericana la inclinación disminuye a un ángulo de 10° a 7° (Figura 4) a una profundidad cercana a los 100 Km INPRES (2005).

### PROFUNDIDAD. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE LOS TERREMOTOS

Con la base de datos disponible se ha realizado un estudio de los sismos con magnitudes iguales o mayores a 3 (Figura 5).

Según lo que se observa en la Figura 5 justifica que los sismos sean catalogados de distinta forma a la que se ha generalizado en la mayor parte del mundo. Se dice que los sismo entre 0 y 70 Km de profundidad son superficiales, de 70 Km a 300 Km son intermedios y mayor a 300 Km de profundidad son profundos (según distintas publicaciones: Carpetta Pedagógica, 2017). La propuesta es que los sismos deben ser catalogados según cada región sismo-tectónica.

Para la zona en estudio serían superficiales cuando la profundidad del foco del terremoto se encuentran entre 0 a 40 Km,

desde allí y hasta los 100 km, se los denomine someros, luego y hasta los 200 Km serán intermedios y más de 200 Km son profundos (Silva, E. y Tornello, M. 1997). Esta propuesta da base a lo que se propone en la investigación acerca de la energía superficial de los terremotos.

### ENERGÍA DE LOS TERREMOTOS

Cuando ocurre un terremoto se produce, en el área de ruptura, una liberación de energía que está muy relacionada con la magnitud. Al incrementarse la magnitud, la energía crece en forma exponencial. Es muy conocido que existen distintos tipos de magnitud que dependen fundamentalmente de la onda sísmica con la que se calcula y ésta, a su vez, de otros factores, como el de la distancia epicentral desde donde se obtiene el registro, el tipo de registro según el instrumental de medición, la máxima amplitud onda, entre otros. En este trabajo se ha incluido la profundidad del foco.

Para un sismo superficial y con registro no lejano, se utiliza generalmente la magnitud local ML. Si el foco está a mayor profundidad, se utilizan la magnitud onda superficial Ms y si las ondas son de borde la magnitud mb.

La magnitud no es una variable física (Zúñiga Dávila, F. R. 2011) por lo que se ha buscado relacionarla con cantidades físicas, como es el caso de la energía liberada. La energía se expresa en forma logarítmica y la unidad de medida es el Ergio. Su valor se la compara normalmente con la energía que libera una explosión (INPRES, 2017). Actualmente la magnitud más utilizada es la magnitud momento, Mw, la cual tiene una directa relación física con la energía.

Gutenberg - Richter en 1956 establecieron expresiones que relacionan la energía liberada con la magnitud:

Para sismos superficiales:  $\log E_s = 11,8 + 1,5 M_s$

Para sismos profundos:  $\log E_s = 5,8 + 2,4 m_b$

En la Figura 6 se representa la energía de los terremotos ocurridos en la zona Nor-Oeste de la provincia de Mendoza según las expresiones planteadas, y en la Figura 7 se muestran por año.

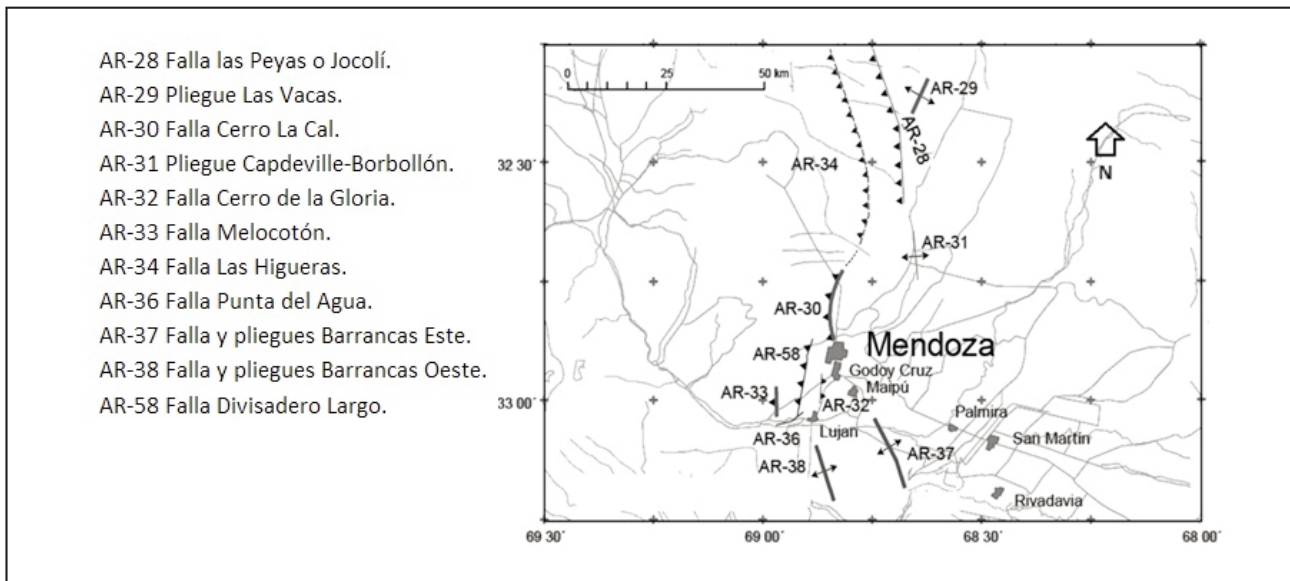


Figura 3. Fuentes sísmogénicas potenciales asociadas al área de estudio. Fuente: Costa C, et al. 2000.

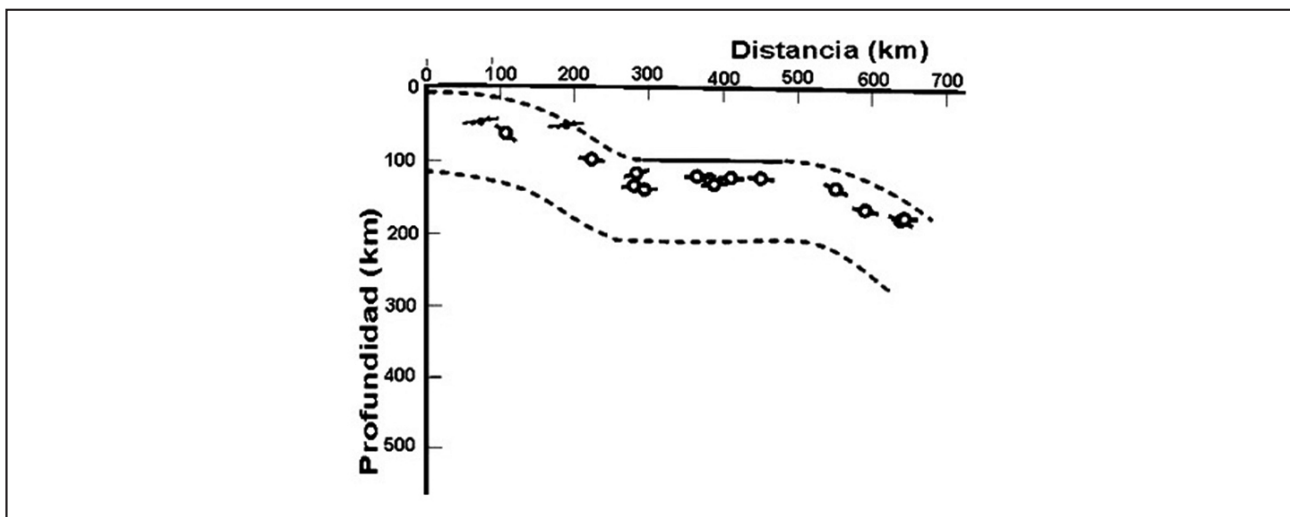


Figura 4. Corte transversal bajo la zona de estudio de la subducción de la placa de Nazca que subduce por debajo de la placa Sudamericana. Fuente: INPRES 2005.

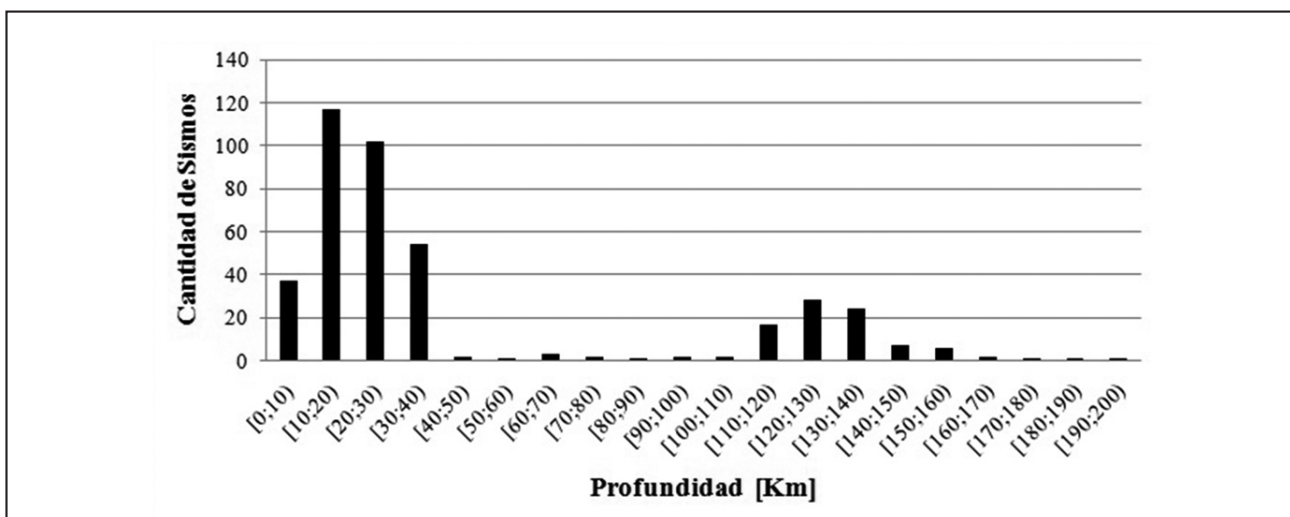


Figura 5. Sismos en Mendoza entre las latitudes  $-32,25^\circ$  y  $-33,50^\circ$  y longitudes  $-68,00^\circ$  y  $-69,50^\circ$  (Fuente: INPRES).

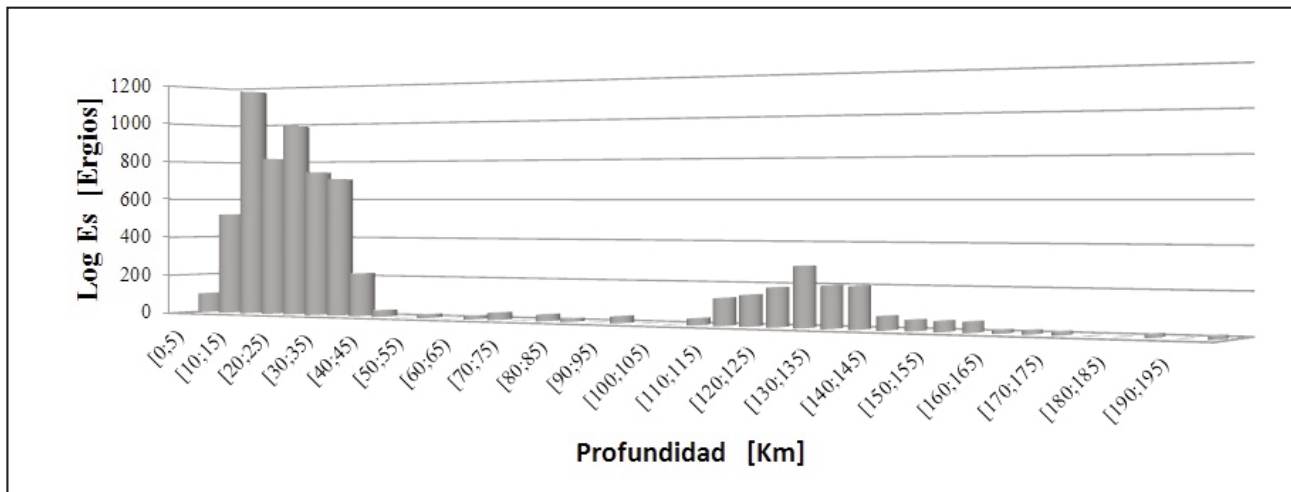


Figura 6. Energía liberada por los terremotos expresada en Log Es vs. Profundidad del hipocentro en Km.

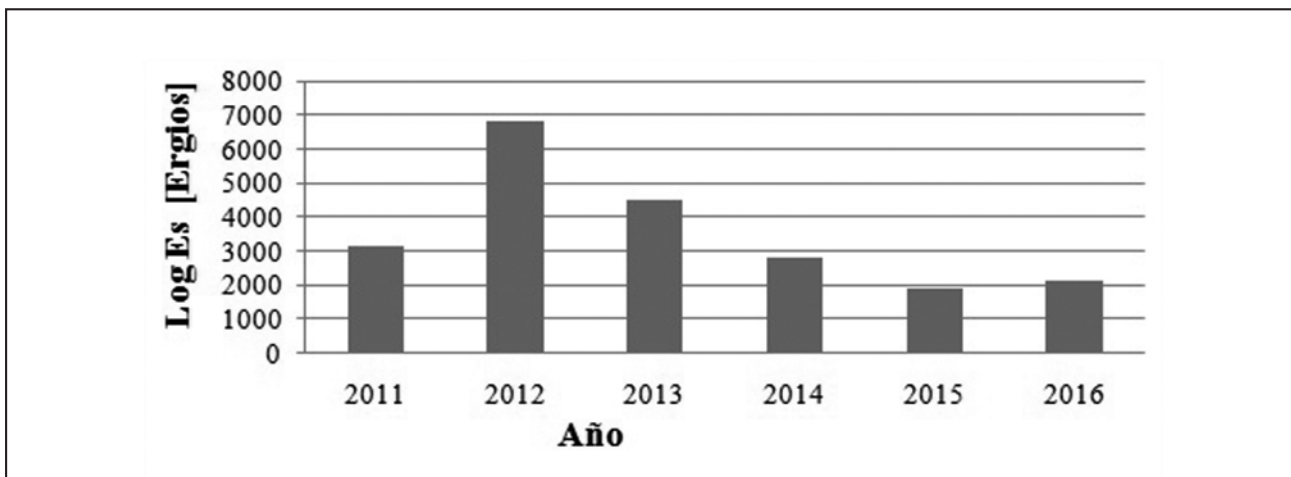


Figura 7. Energía liberada por los terremotos según Gutenberg - Richter (1956)

## ENERGÍA SUPERFICIAL

La energía que produce un terremoto depende, de la energía cinética, según la masa del suelo y de la velocidad de las ondas sísmicas; de la energía potencial, en forma general de las deformaciones del suelo y de la producción de calor, efectos de fricción interna en el suelo.

La energía siempre está en equilibrio, pero depende del tipo de onda, del recorrido hasta la superficie de la tierra y de las características de suelo, ya sea por la posibilidad o no de trasladarse por distintos medios y por la deflexión que se produce al pasar de un medio a otro. Hay que tener en cuenta que en cada región donde se realiza el estudio la heterogeneidad del suelo en profundidad puede ser muy acentuada. Infiere en forma directa el cambio de las velocidades de los distintos tipos de onda al pasar por determinados estratos del suelo. Puede ocurrir que algún tipo de onda no llegue a la superficie terrestre. En general, las velocidades que tienen las ondas sísmicas disminuyen en el recorrido por los distintos estratos que posee la corteza terrestre (*New Manual of Seismological Observatory Practice. 2002*), existen zonas en la superficie terrestre, generalmente

muy delimitadas y pequeñas, donde la velocidad se incrementa. Para estos casos en particular, la energía superficial debería incrementarse según registros propios del lugar.

Según el análisis de la profundidad del hipocentro de los terremotos se puede inferir que, desde éste hasta el epicentro, la energía se ha ido disipando, disminuyendo hasta llegar a la superficie donde están emplazadas las construcciones. Por este motivo, la demanda energética que las construcciones deberán disipar depende, además de otros parámetros, de la profundidad del hipocentro.

Los sismos que se han utilizado como base de datos y sus magnitudes son de poca envergadura, por lo tanto, los daños que han ocasionado son escasos. Analizando terremotos de similar magnitud y de diferentes profundidades, se ha confeccionado una curva de atenuación de la energía liberada hasta llegar a la superficie terrestre. Esta curva de atenuación tiene base en las expresiones de Gutenberg - Richter. Es una primera aproximación a lo que realmente pueda suceder cuando ocurran terremotos de mayor envergadura. En estos casos se podrá validar o adecuar la curva de atenuación.



La curva de atenuación posee las siguientes expresiones (Ecuación 1 y Ecuación 2) y está representada en la Figura 8:

De 0 hasta 60 Km de profundidad:

$$50 * [ \cos (1,8 * Z) + 1 + 10^{-2} * Z + 10^{-5} * Z^2 ] \leq 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

De 61 hasta 200 Km de profundidad:

$$3750 / Z \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde Z es la profundidad del hipocentro medida en Km.

En esta curva se observa que los terremotos ocurridos a una profundidad igual o menor a los 20 Km, la atenuación de la energía es nula. Desde allí y hasta los 40 Km, sismos que se proponen también denominarlos superficiales, la energía que se disipa es solamente de un 15%. Luego la disipación disminuye inversamente proporcional y en forma suave con la profundidad.

Si aplicamos esta atenuación a los sismos de la base de datos, obtenemos la energía superficial que se tiene de los terremotos. Por año y por profundidad (Figura 9 y Figura 10).

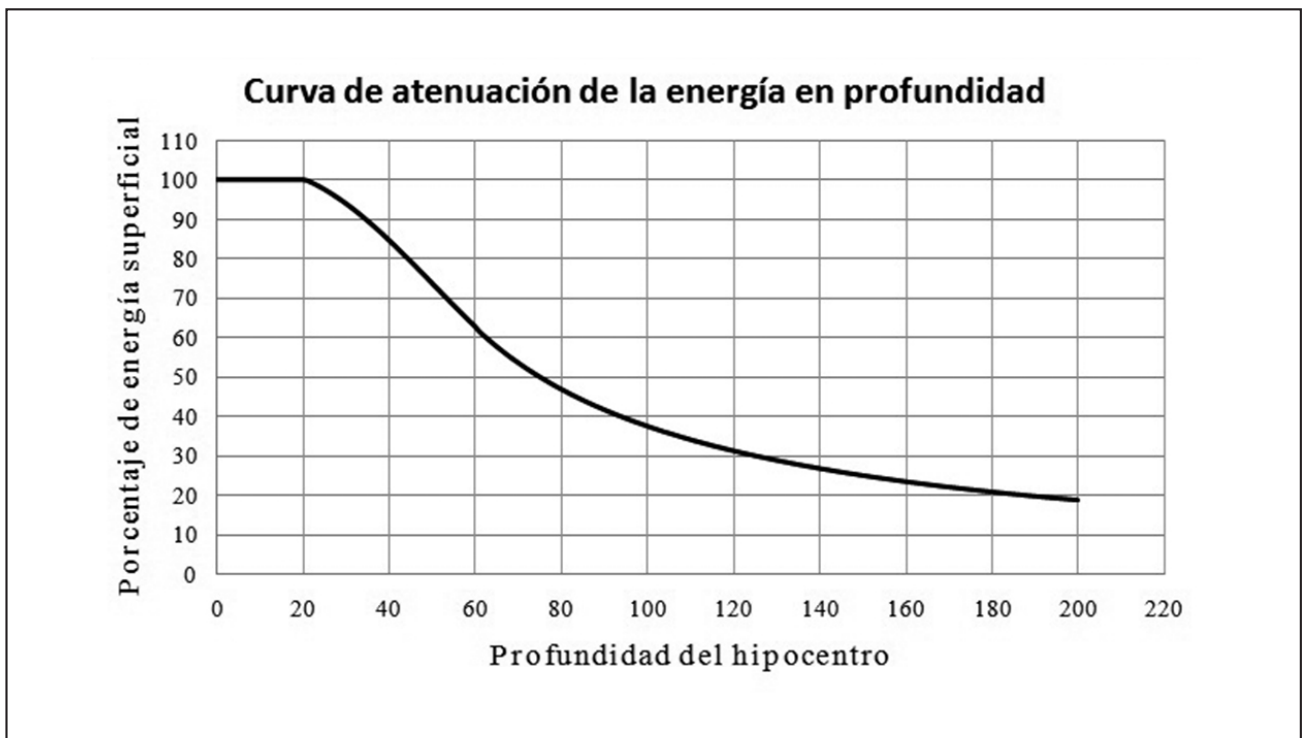


Figura 8. Curva de atenuación de la energía liberada por un terremoto según la profundidad del hipocentro al llegar a la superficie terrestre (Energía superficial).

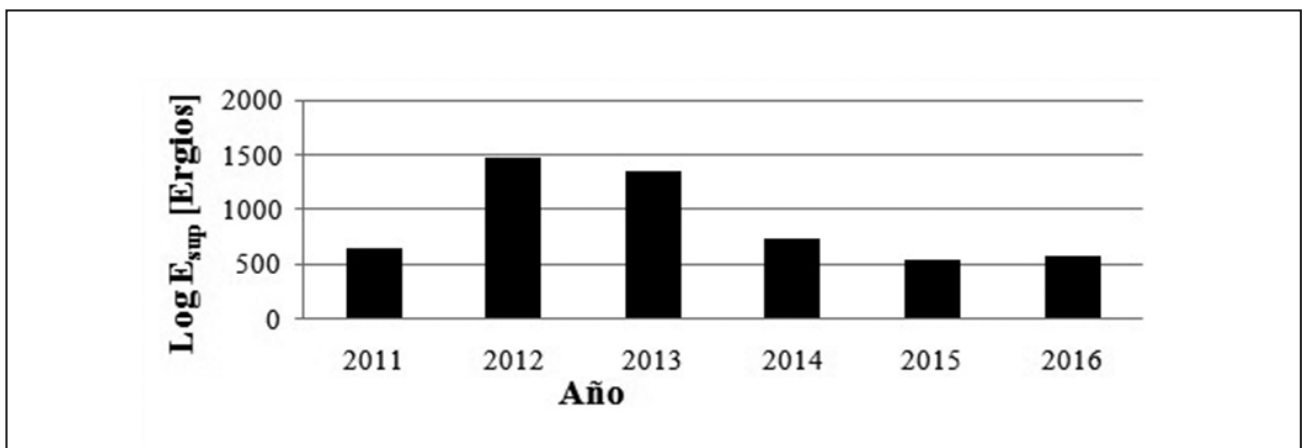


Figura 9. Energía superficial liberada por los terremotos por año expresada en Log E<sub>sup</sub>.

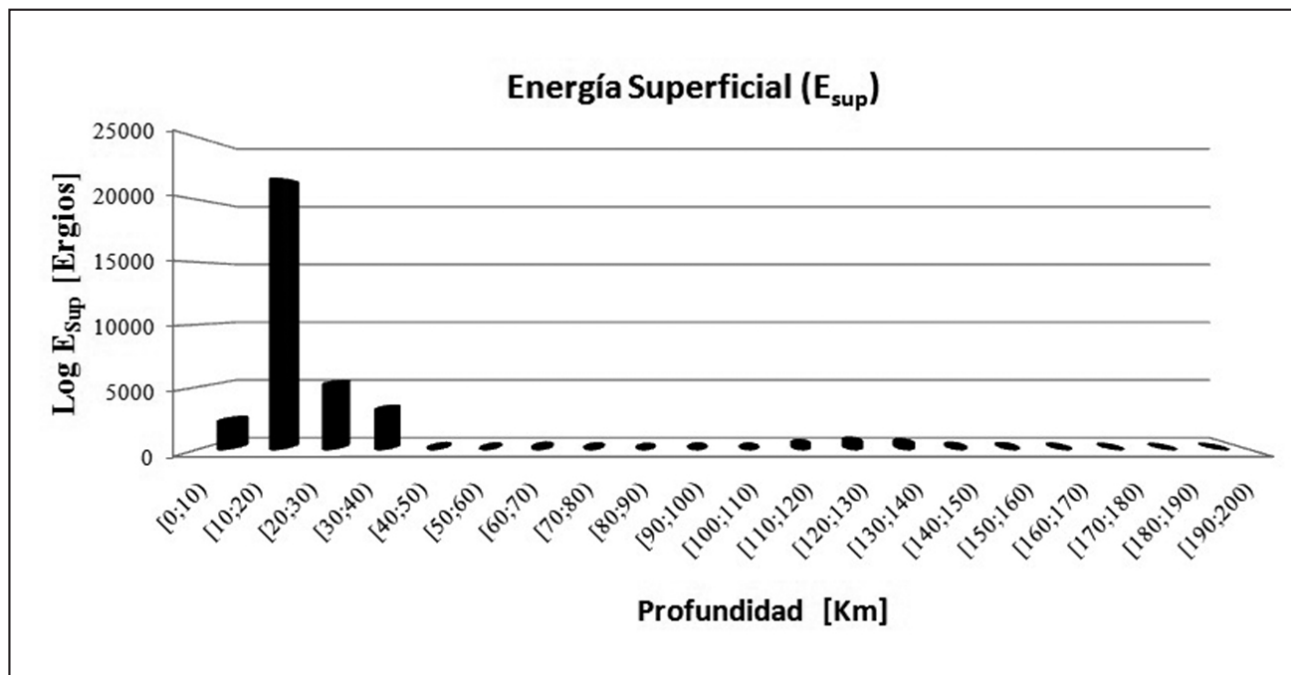


Figura 10. Energía superficial liberada por los terremotos expresada en Log E<sub>sup</sub> vs. Profundidad del hipocentro en Km.

## CONCLUSIONES

La investigación realizada, basada en los registros obtenidos de los terremotos en el CEREDETEC y contrastados con los registrados por el INPRES, ponen en evidencia que sismos de muy similar magnitud pero cuyo foco está ubicado en distintas profundidades producen distintos efectos en las construcciones. Los registros de los terremotos utilizados en el presente análisis no son destructivos, sus magnitudes no superan los 5 grados Richter. Por tal motivo habría que realizar, en el futuro, la contrastación de la curva de disipación propuesta que nos permite obtener la E<sub>sup</sub>, con registros de terremotos de mayor envergadura. No se disponen de datos de estos ya que no han ocurrido en los últimos años.

La Energía superficial mejora la relación de la demanda que los terremotos le otorgan a las construcciones y a su poder destructivo. Se recuerda que no se ha utilizado la terminología "poder destructivo", ya que otros investigadores la han utilizado pero en un contexto diferente. Será necesario estudiar, si al combinar ambos conceptos, se puede obtener una relación que nos brinde mayor acercamiento a lo que ocurre realmente.

Es importante conocer la demanda real que le brinda un terremoto a las construcciones. Al conocerla, se podrá actuar con aspectos de diseño y cálculo de las estructuras más adecuados, según cada región sismo-tectónica. Esto es un posible acercamiento empírico para diferenciar los efectos que produce un terremoto del tipo armónico con otro del tipo impulsivo.

La propuesta de clasificar los terremotos según su profundidad se condice con las figuras que se han presentado. En otras regiones no debería aplicarse lo mismo, sino, adecuarla a sus realidades. Esta nueva clasificación se la ha tomado como fundamento para la propuesta de la curva de atenuación de la energía de los terremotos respecto a la profundidad de su hipocentro.

Se propone seguir avanzando en esta línea de investigación en la medida de disponer nuevos registros. Hay que combinar los aspectos ya mencionados en el cuerpo del artículo, tendiendo a diferenciar lo que puede provocar sobre las construcciones un terremoto impulsivo con otro del tipo armónico.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

BOLT Y BRUCE, A., 2016.

Enciclopedia Británica. Last Updated: 12-23-2016 See Article History. Earthquake Geology. Shallow, intermediate, and deep foci.

En: <https://www.britannica.com/science/earthquake-geology#toc176199main>. Obtenido en junio de 2017.

CARPETA PEDAGÓGICA

Plataforma educativa de recursos digitales. 2011. Clasificación de los sismos según su profundidad.

<http://cienciageografica.blogspot.com.ar/2011/09/clasificacion-de-los-sismos-segun-su.html>. Obtenido en Junio de 2017.

COSTA, C., MACHETTE, M., DART, R., BASTÍAS, H., PAREDES, J., PERUCCA, L., TELLO, G. Y HALLER, K., 2000.

Map and database of quaternary faults and folds in Argentina, USGS,

International, Lithosphere Program, Task Group II-2, Major Active Faults of the World, Open-File Report 00-0108.

- COSTA, C.H., 2011.  
Curso: Neotectónica Aplicada a la Ingeniería. Análisis de fallas y peligro sísmico asociado.  
*ASAGAI. Córdoba. 15 al 17 de junio de 2011.*
- FRAU, C., 2009.  
Espectro de diseño considerando efectos de directividad en zonas Near-Fault de Argentina.  
*Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.*
- GONZÁLEZ, M.A., GONZÁLEZ DÍAZ, E.F., SEPÚLVEDA, E., REGAIRAS, M.C., COSTA, C., CISNEROS, H., BEA, S., GARDINI, C., PÉREZ, I. Y PÉREZ, M., 2002.  
Carta de Peligrosidad Geológica 3369-II, Mendoza, Provincias de Mendoza y San Juan.  
*Boletín N° 324. Servicio Geológico Minero Argentino, Subsecretaría de Minería de la Nación, Argentina.*
- INPRES (INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA), 2017.  
Secretaría de obras públicas - ministerio del interior, obras públicas y vivienda.  
*<http://www.inpres.gov.ar>. Obtenida la información en abril de 2017.*
- INPRES, 1986.  
Gran Mendoza, el núcleo urbano expuesto al mayor nivel de riesgo sísmico en la República Argentina,  
*Publicación Técnica N° 10, 1986 a.*
- INPRES, 2005.  
Subducción de la placa de Nazca y Sudamericana. San Juan, Argentina.  
*Disponible en <http://www.inpres.gov.ar>. Obtenida la información en abril de 2017.*
- NAFÁ Y ZAMARBIDE, 1989.  
Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, República Argentina.  
*Instituto Nacional de Prevención Sísmica, San Juan, Argentina, Resumen Ejecutivo, Volume I y II.*
- NMSOP (NEW MANUAL OF SEISMOLOGICAL OBSERVATORY PRACTICE), 2002.
- OROSCO, L. Y ALFARO VILLEGAS, I., 2007.  
Potencial Destructivo de Sismos.  
*Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta.*
- SAUTER, F., 1989.  
Fundamentos de Ingeniería Sísmica - Introducción a la Sismología. Costa Rica,  
*Editorial Tecnológica de Costa Rica.*
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2017.  
Profundidad de un sismo:  
*<http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/index.php/material-educativo/conceptos-basicos>. Obtenido en Junio de 2017.*
- SILVA, E., TORNELLO, M. Y FRAU, C., 2002.  
Caracterización de la relación magnitud-frecuencia para fuentes sismogénicas próximas al conurbano de la ciudad de Mendoza.  
*8° Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Valparaíso, Chile.*
- SILVA, E. Y TORNELLO, M., 1997.  
Cuantificación energética de la actividad sísmica con origen en la provincia de Mendoza en el periodo 1956 A 1990.  
*IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismorresistente y I Seminario Iberoamericano de Ingeniería Sísmica. La Serena. Chile. Noviembre de 1997. Vol. 1 Pág. 19 a 28.*
- USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), 2017.  
*<http://pubs.usgs.gov/gip/earthq1/how.html>. Obtenido en junio de 2017.*
- ZÚÑIGA DÁVILA, F. R., 2011.  
Madrid. Centro de Geociencias. Unam-Campus Juriquilla.  
*Posgrado en Ciencias de la Tierra Centro de Geociencias.*

# Copia personal del autor

---

Pizarro, Nery F. - Tornello, Miguel E. - Gallucci, Ángel Rubén