



Relación magnitud-frecuencia de sismos para la ciudad de Mendoza, Argentina

Magnitude-frequency relationship of earthquakes for the Mendoza city, Argentina

Pizarro, Nery F.¹ - Frau, Carlos D.¹ - Tornello, Miguel E.¹ - Gallucci, Ángel R.¹ ✉

Recibido: 24 de octubre de 2013 • Aceptado: 30 de marzo de 2014

Resumen

El presente artículo se centra en la determinación de las relaciones Magnitud-Frecuencia para sismos de magnitudes mayores de tres ocurridos en el sistema de fuentes potenciales sísmicas ubicadas en la zona del Gran Mendoza, la cual se emplaza en una región geográfica considerada, según los reglamentos sismorresistentes de la nación, como de máxima peligrosidad sísmica de la República Argentina. La probabilidad de ocurrencia se determina para eventos de una magnitud dada. Resulta conveniente actualizar estas relaciones y probabilidades, a la luz de la gran cantidad de eventos registrados en los últimos 40 años. La actividad sísmica de la región ha sido diferenciada por la profundidad del foco sísmico. Las fuentes de información, para la elaboración del trabajo, contemplan la sismicidad histórica e instrumental de la zona conjuntamente con las características sismotectónicas regionales. Las leyes Magnitud-Frecuencia se representan para sismos con profundidades no mayores a 35 kilómetros. También se presentan las probabilidades de ocurrencia para terremotos de magnitud superior a un umbral preestablecido y para distintos periodos de tiempo.

Palabras claves: Magnitud-frecuencia. Probabilidad de ocurrencia. Sismicidad local. Mendoza.

Abstract

This article determines of the magnitude-frequency relations for earthquakes of magnitudes greater than three occurred in the system potential seismic sources located in the area of Gran-Mendoza, which is located in a geographic region considered, as earthquake resistant regulation code of the nation, as a high hazard seismic of Republic Argentina. The estimated probability of occurrence is calculated for events of a given magnitude. It is appropriate to update these relationships and probabilities, in light of the large number of events recorded in the last 40 years. Seismic activity in the region has been differentiated by the depth of the seismic focus. The sources of information for the preparation of this paper, provide historical and instrumental seismicity of the area along with regional seismotectonic characteristics. Magnitude-frequency laws are plotted for earthquakes with depths no greater than 35 kilometers. The probabilities of occurrence for earthquakes greater than a preset threshold and for different periods of time scale are also presented.

Keywords: Magnitude-frequency. Probability of occurrence. Local seismicity. Mendoza.

1. Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción Sismología e Ingeniería Sísmica (CeReDeTeC) Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

✉ argallucci@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los antecedentes sísmicos y las características geotectónicas indican que la región del Gran Mendoza se encuentra localizada en la zona de mayor peligro sísmico de Argentina tal cual lo indica el reglamento de diseño sísmico *INPRES-CIRSOC 103 (2013)*.

De acuerdo con los antecedentes disponibles en cuanto a la identificación de fuentes sismogénicas (*INPRES, 1986; Nafá y Zamarbide, 1989; Costa et al., 2000; González et al., 2002*) se considera que el área de actividad sísmica asociada a terremotos que podrían afectar al conurbano de la Ciudad de Mendoza está delimitado por los paralelos 32,25° y 33,50° de latitud Sur y los meridianos 68,00° y 69,50° de longitud Oeste (Figura 1). Particularmente, el último terremoto de importancia que afectó al Gran Mendoza, el 26 de enero de 1985, a pesar de haber tenido una magnitud moderada ($m_b = 6,2$), produjo considerables daños en todo el núcleo urbano (*INPRES, 1986*).

La determinación de parámetros clásicos de la sismicidad de un área como los que integran la ley de Gutenberg-Richter (*Gutenberg and Richter, 1944*) permiten caracterizar sismológicamente a regiones expuestas a peligrosidad sísmica a fin de poder inferir probables sismos futuros. Estos parámetros han sido abordados con anterioridad por *Nafá y Zamarbide (1989)* y por *Silva et al. (2002)*. A la luz de un nuevo caudal de datos generados por distintas fuentes en los últimos 10 años resulta de interés actualizar los estudios realizados con anterioridad. Por ello en el presente trabajo se actualizan y corrigen los parámetros de la ley de Gutenberg-Richter en relación a la Magnitud-Frecuencia y las probabilidades de ocurrencia de sismos superficiales que afectan al conglomerado urbano de la Ciudad de Mendoza en la República Argentina.

Los resultados presentados son de carácter global y representan una tendencia, dado que no se han considerado aspectos que definen estudios específicos de microzonificación sísmica, tales como características geométricas y sísmicas de la fuente, comportamiento dinámico de los distintos tipos de suelos, entre otros.

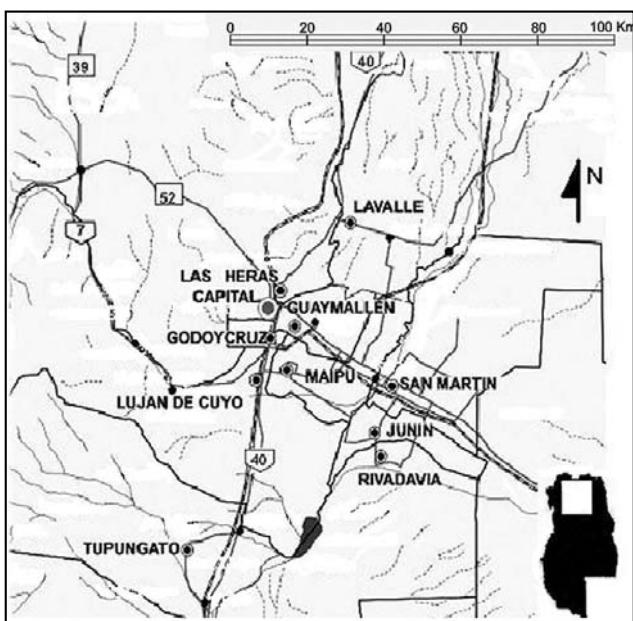


Figura 1. Zona de estudio y su ubicación relativa en la provincia de Mendoza.

ASPECTOS GENERALES DE LA CONFIGURACIÓN GEOLÓGICA Y TECTÓNICA

La tectónica de la región donde está inserta el área de estudio es fruto de la convergencia entre la placa Sudamericana y la placa de Nazca que se extiende a lo largo de la fosa Peruano-Chilena donde la placa de Nazca, que se mueve en dirección al Este, subduce debajo de la placa Sudamericana que se mueve en sentido opuesto. Dicho mecanismo induce un régimen de esfuerzos compresionales a la placa Sudamericana que domina la configuración estructural de la región en estudio. Los citados esfuerzos compresionales resultan responsables de la orientación y sentido del desplazamiento de las fallas y como consecuencia de la sismicidad de la zona (*INPRES, 1986*). Así, el basamento de la zona oeste de Mendoza, está fracturado en bloques separados por fallas de ángulo elevado. Son fallas paralelas a los cordones montañosos precordilleranos, inversa en casi todos los casos, mientras que las oblicuas a los mismos son directas o de desplazamiento lateral. En la Figura 2, se indican algunas de las fallas sismogénicas de la zona en estudio. Las principales fuentes sismogénicas, correspondiente al fallamiento cuaternario asociadas al marco tectónico local, estudiadas y conocidas en la zona en estudio (*Nafá y Zamarbide, 1989; Costa et al., 2000; Gonzalez, M. A. et al., 2002*) son:

AR-28	Falla las Peyas o Jocolí.
AR-29	Pliegue Las Vacas.
AR-30	Falla Cerro La Cal.
AR-31	Pliegue Capdeville-Borbollón.
AR-32	Falla Cerro de la Gloria.
AR-33	Falla Melocotón.
AR-34	Falla Las Higueras.
AR-36	Falla Punta del Agua.
AR-37	Falla y pliegues Barrancas Este.
AR-38	Falla y pliegues Barrancas Oeste.
AR-58	Falla Divisadero Largo.

La nomenclatura asignada a cada falla se corresponde con "Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Argentina" (*Costa C. et al., 2000*).

DATOS SISMOLÓGICOS Y MARCO TECTÓNICO

Los datos de los sismos históricos utilizados en la investigación fueron obtenidos de la base de datos de la sismicidad histórica del INPRES desde el año 1861 (*INPRES, 1998*) y los sismos con registro instrumental provenientes de la base de datos del USGS a noviembre de 2012, publicada en su página web (*USGS, 2012*), todos de magnitudes mayores o iguales a 3. Se ha tomado como cluster de estudio un espacio euclídeo tridimensional en el área de estudio con una profundidad de 0 a 35 km debido a que la actividad sísmica proveniente de las fuentes sismogénicas superficiales se desarrolla con mayor frecuencia en este rango de profundidad. La actividad sísmica disminuye notablemente por debajo de la profundidad mencionada y hasta los 100 km, zona donde comienza nuevamente a notarse un incremento de la frecuencia de ocurrencia de sismos (Figura 3). Experiencias de estudios realizados por otros investigadores en otras zonas de Argentina (*Benítez et al., 2012*) confirman la conveniencia de establecer los parámetros sismológicos de magnitud-frecuencia por rango de profundidades. Otro aspecto que fundamenta el rango de profundidades seleccionados para el presente estudio es la potencialidad destructiva que

presentan los sismos de foco muy superficiales (Frau C., 2009). La Figura 4 confirma la gran actividad sísmica declarada en la zona; la distribución de la actividad sísmica en los primeros 35 km de profundidad se muestra en la Figura 5 y en la Figura 6.

Una agrupación de focos sísmicos en un margen más amplio de latitud al del presente estudio, evidencia a la placa de

Nazca subducida y moviéndose en dirección Este respecto a la placa Sudamericana, situación que se observa en la Figura 7.

Para el presente estudio se identificaron 297 sismos con profundidad de foco comprendidos entre los 0 y 35 km, 25 sismos con profundidad de foco entre 35,1 y 99,9 km y 171 sismos con profundidades de foco mayores.

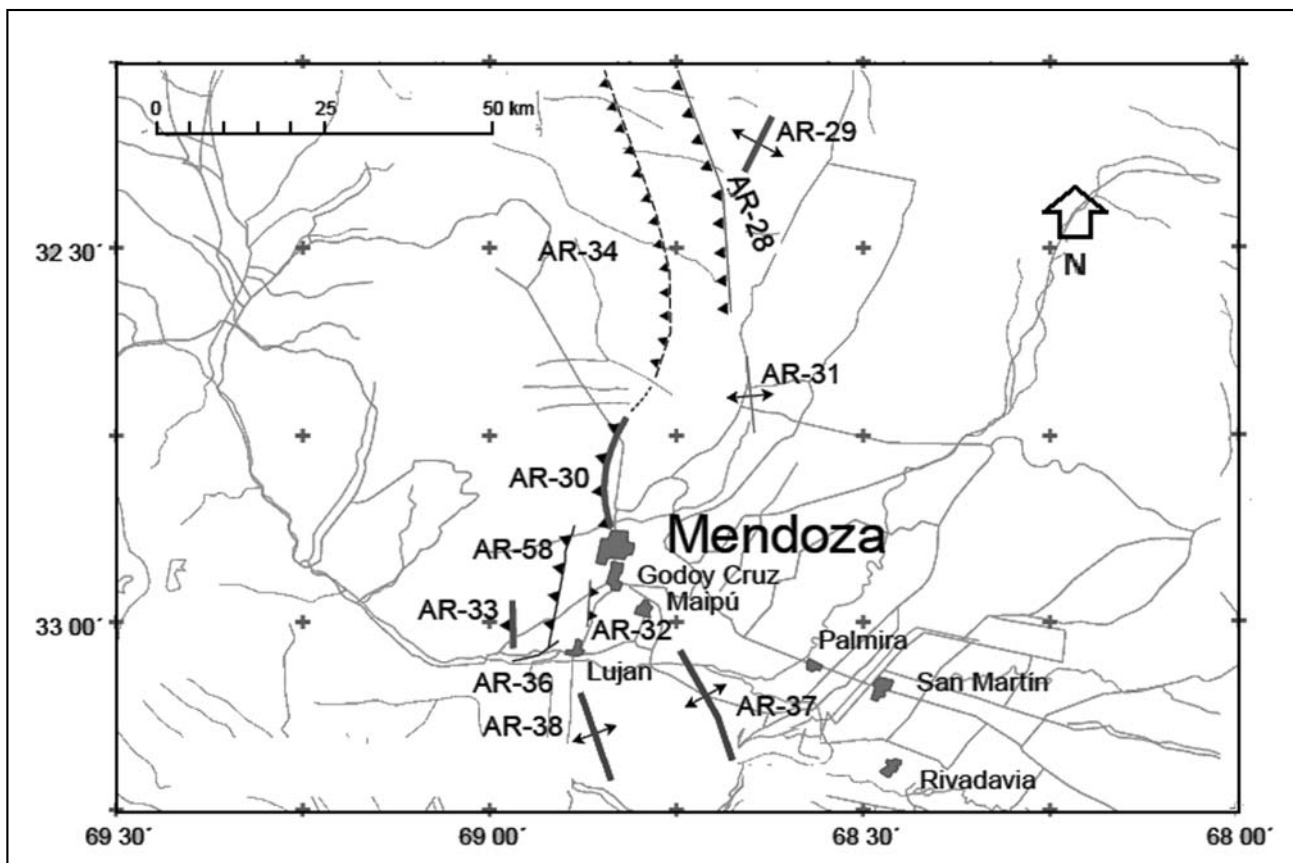


Figura 2. Fuentes sismogénicas potenciales asociadas al área de estudio (Costa C. et al., 2000).

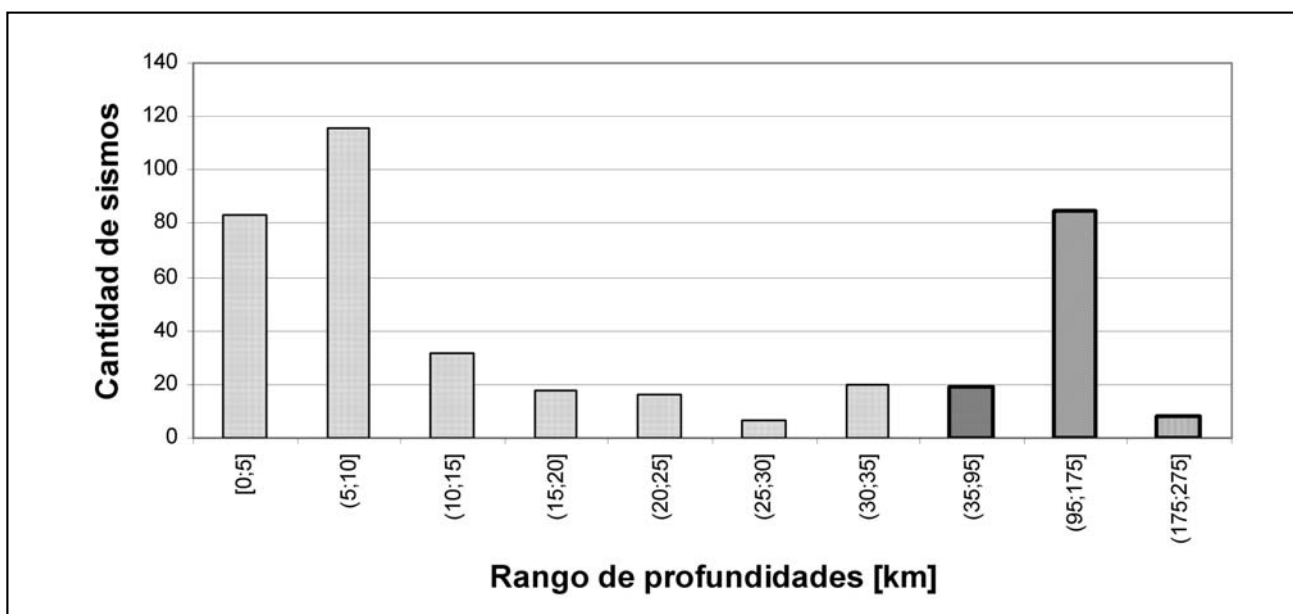


Figura 3. Cantidad de sismos de magnitud mayor o igual que 3 entre paralelos -32,25° y -33,50° y meridianos -68,00° y -69,50°.

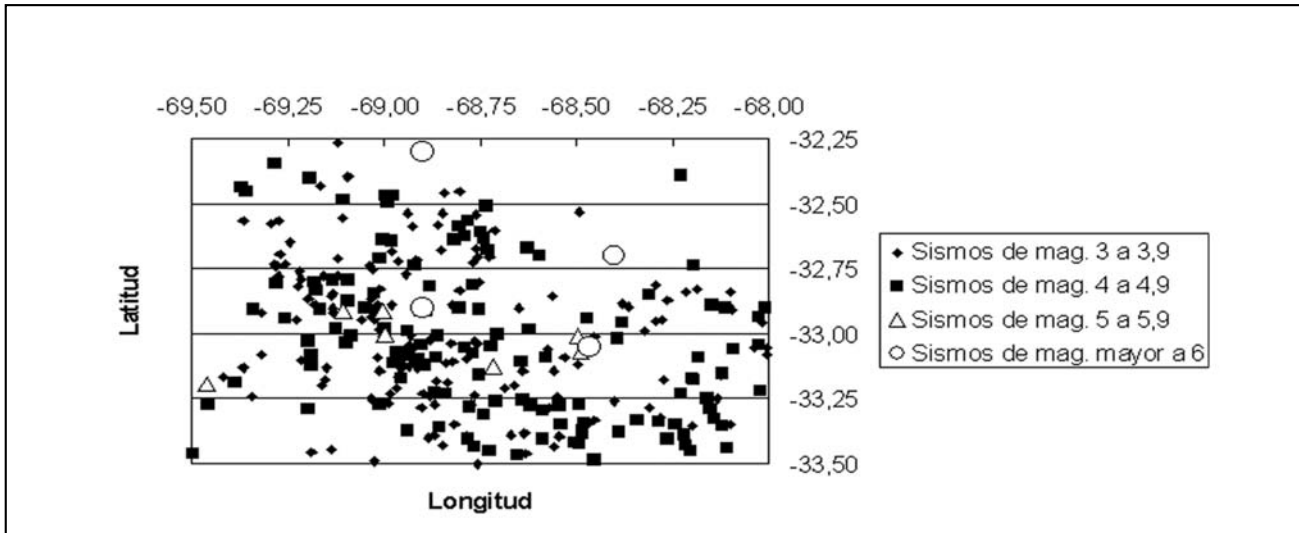


Figura 4. Longitud-Latitud de los focos de los sismos en la zona de estudio.

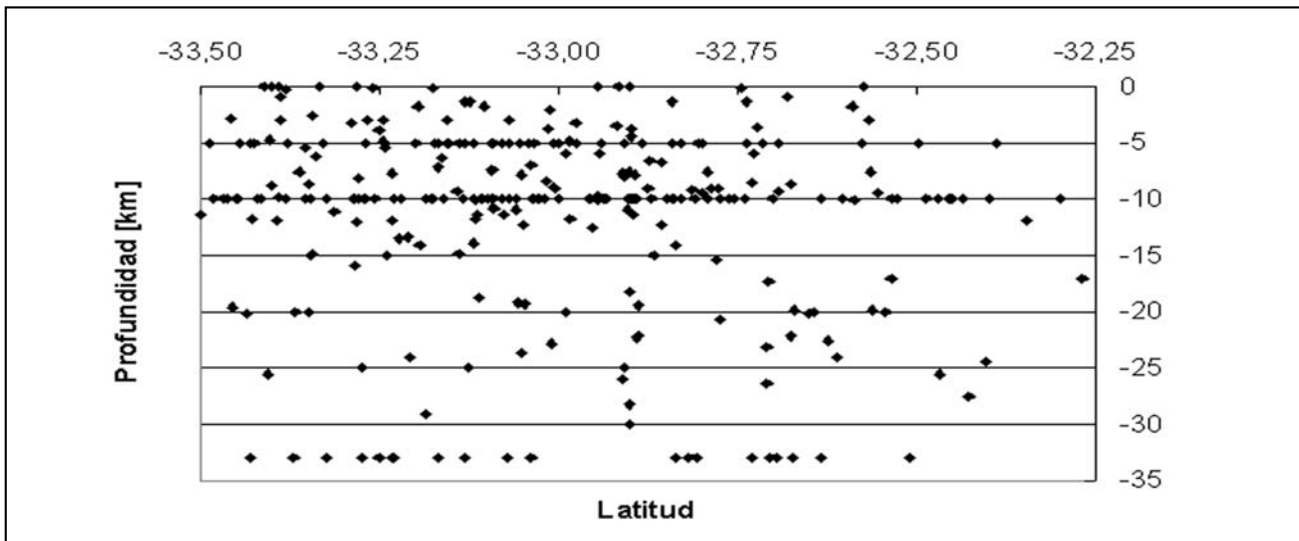


Figura 5. Latitud vs. Profundidad de los focos de los sismos entre meridianos -68,00° y -69,50°.

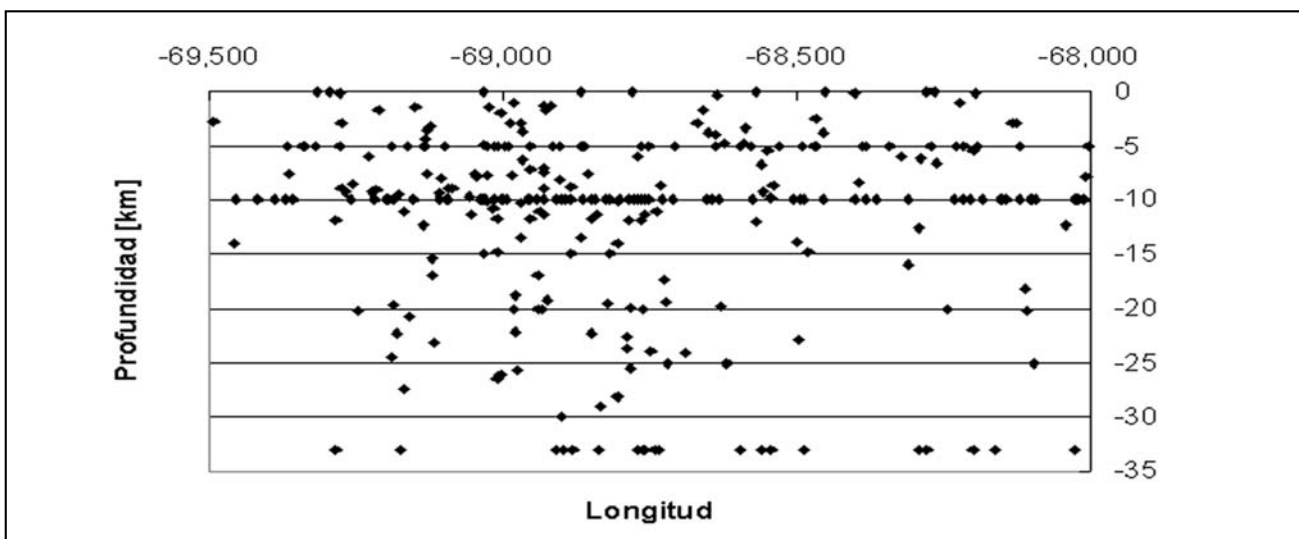


Figura 6. Longitud vs. Profundidad de los focos de los sismos entre paralelos -32,25° y -33,50°.

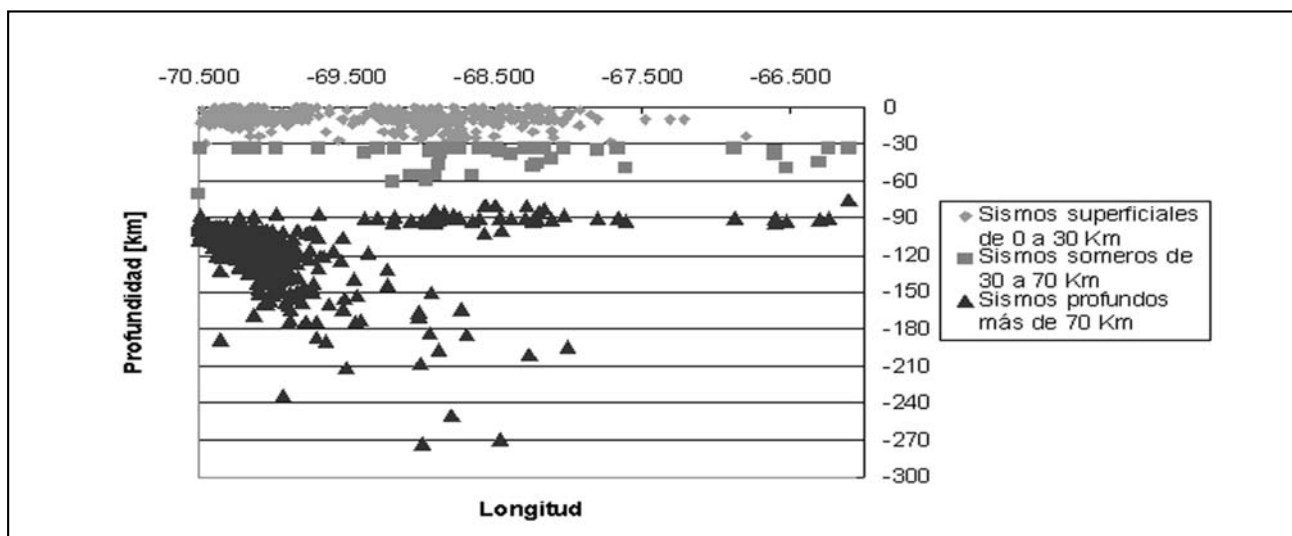


Figura 7. Longitud-Profundidad de los focos de los sismos en longitud ampliada entre latitudes $-32,50^\circ$ y $-33,50^\circ$. Zona de subducción entre la placa de Nazca y la Sudamericana. Zona de Benioff.

Al sur del paralelo $-33,50^\circ$, la distribución de focos sísmicos muestra actividad superficial y profunda desde el límite con Chile hasta el meridiano $-68,00^\circ$. Desde dicho meridiano hacia el Este disminuye sensiblemente la actividad profunda, existiendo algunos focos superficiales en longitudes próximas a la ciudad de San Rafael (Silva et al., 2000).

Al Norte del paralelo $-34,00^\circ$ se introduce la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana en una franja de aproximadamente 200 km. de ancho y con un ángulo próximo a los 16° ,

mostrando una tendencia a horizontalizarse a partir del meridiano $-69,00^\circ$, con una notable disminución de la actividad profunda hacia el Este a partir del meridiano $-68,00^\circ$. En la Figura 8 y Figura 9 se muestra la distribución de los eventos sísmicos según su magnitud.

De mucha mayor importancia para el núcleo urbano del Gran Mendoza resulta la actividad sísmica con focos superficiales y profundos en la zona en estudio (Silva et al., 2002).

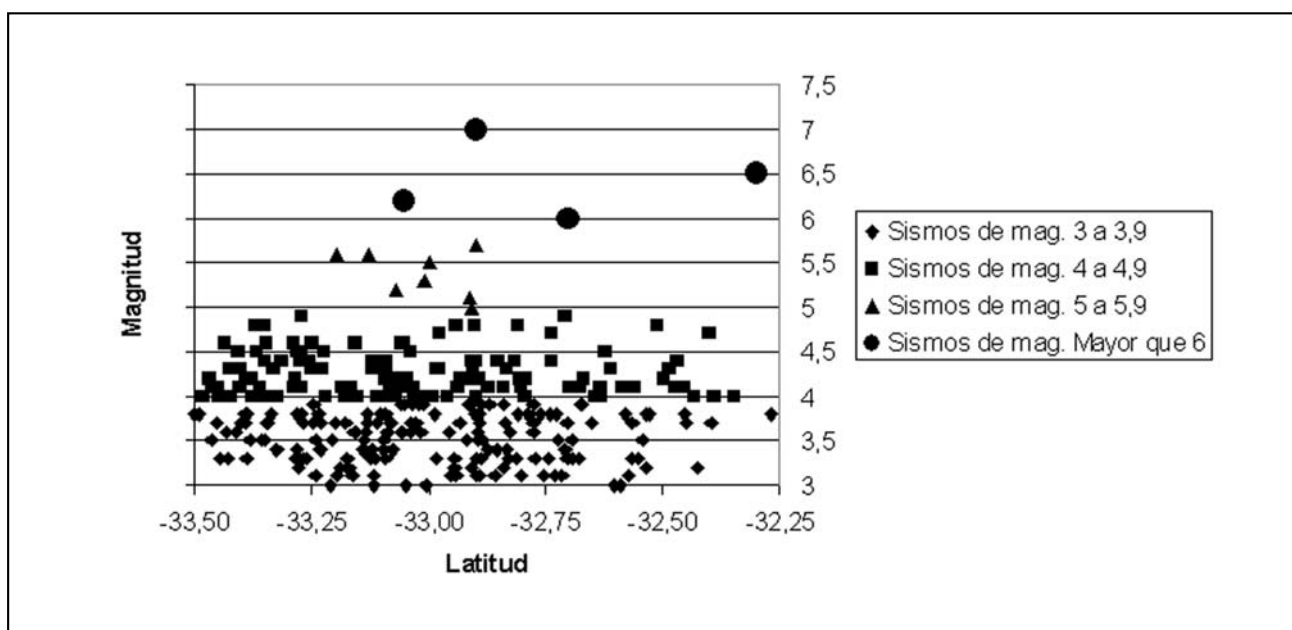


Figura 8. Latitud vs. Magnitud de sismos entre meridianos $-68,00^\circ$ y $-69,50^\circ$.

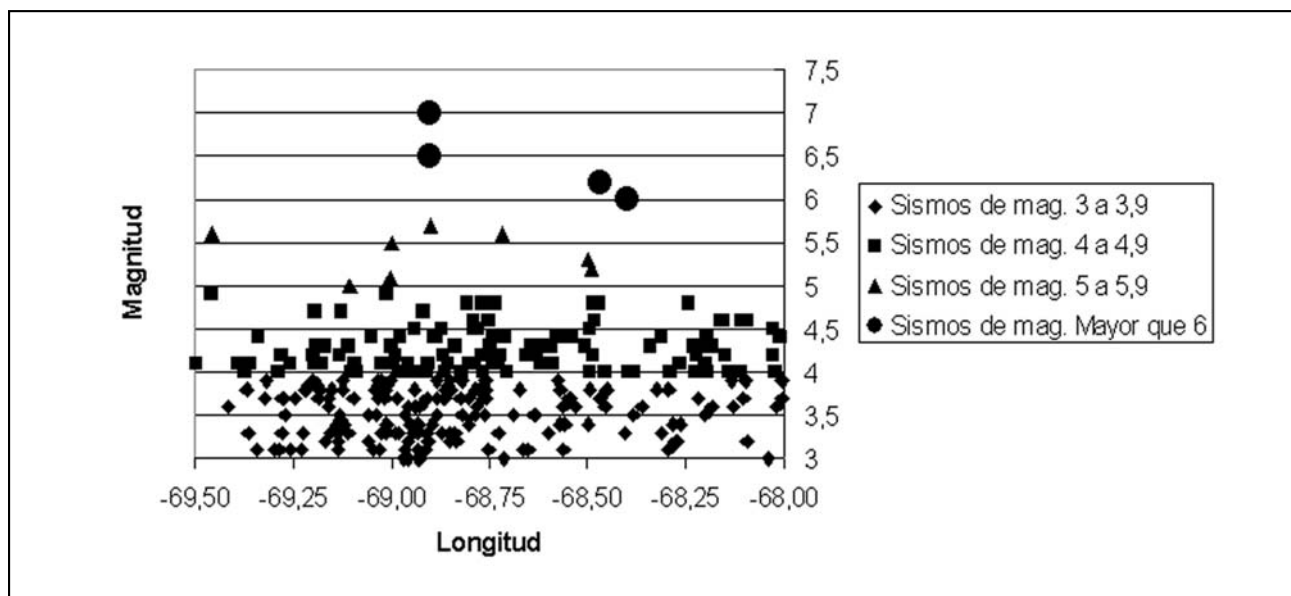


Figura 9. Longitud vs. Magnitud de sismos entre paralelos -32,25° y -33,50°.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Tasa Media de la Actividad Sísmica

Es un análisis que cuantifica la frecuencia de los eventos sísmicos de distintas magnitudes por unidad de tiempo para una determinada área en estudio. Para obtener la relación de recurrencia de la actividad sísmica de la zona en estudio se utilizó la expresión propuesta originalmente por Ishimoto, *M. y Lida, K. (1939)* y posteriormente adecuada por Gutenberg-Richter (*Gutenberg and Richter, 1944*); según lo que indica la Ecuación 1.

$$\log N = a - b M \quad (1)$$

En años pasados se han realizado investigaciones sobre la frecuencia de los eventos en esta región (*INPRES, 1986; Silva et al., 2002*), sin embargo es necesario actualizar los valores conocidos de “a” y “b” a la luz de los nuevos registros sísmicos que se tienen a la fecha en la zona de estudio. Un descenso de “b” en un período dado indica un incremento en la proporción de sismos importantes o una disminución relativa en la frecuencia de sismos pequeños. Otros estudios han encontrado que los períodos de máxima liberación de energía en la corteza terrestre han estado precedidos y acompañados por un descenso marcado del valor de “b”, en consecuencia las variaciones regionales de dicho parámetro pueden indicar variaciones en el nivel de esfuerzos de compresión en la corteza terrestre. Es conocido que el valor de “a” varía significativamente, mientras que el valor de “b” puede variar, aproximadamente entre 0,5 a 1,5, en función del emplazamiento de la región sísmica. Estudios realizados sobre dicha temática han demostrado que el valor de “b”, varía entre 1,00 a 1,30 en regiones de baja sismicidad, y su valor disminuye a valores del orden de 0,50 a 0,70 cuando la actividad se incrementa (*Wiemer and Wyss, 2002; Rodriguez-Pascua et al., 2000; Salcedo et al., 1997; Mohraz and Elghadamsi, 1989*).

El valor del parámetro “b” a nivel mundial es aproximadamente 1,00, según lo que indican muchos autores que han realizado estudios sobre el tema. El valor de “b” se considera como una medida de los esfuerzos promedio de la corteza terrestre en la región considerada (*Wiemer and Wyss, 2002*). Existe una relación inversa entre “b” y el nivel de esfuerzo, dado

que un valor bajo está relacionado con un número mayor de eventos de magnitudes grandes con relación a la cantidad de eventos de magnitudes pequeñas, lo que implica una concentración de esfuerzos mayores en la zona. Ello significaría que se trata de una zona tectónicamente antigua, estable, de baja atenuación y por lo tanto de menor peligro sísmico (*Olarte Navarro, 2000*). Para valores de “b” grandes le corresponde una concentración de esfuerzos menores (*Zúñiga and Wyss, 2001; Wiemer and Wyss, 1997, 2002*), lo que indica un valor bajo de tensión del terreno, una zona tectónicamente joven, inestable, de alta atenuación y por lo tanto alto peligro sísmico (*Olarte Navarro, 2000*).

Para el trazado de las rectas que representan la relación Magnitud - Frecuencia se ha compatibilizado la cantidad de sismos y sus magnitudes. El período histórico con información registrada de sismos disponible es reducido respecto a los tiempos geológicos, por lo tanto se ha realizado una proyección al sísmo histórico más antiguo conocido de tal manera de incluirlos a todos para lograr una mejor comparación entre ellos. La Tabla 1 contiene la cantidad de sismos ocurridos por año, referenciados a una magnitud media *M*, en tanto que los resultados obtenidos se grafican en la Figura 10.

Tabla 1. Número probable de sismos según la magnitud media de sismos en la zona de estudio.

Magnitud Media <i>M</i>	Nº de sismos/ año
3,5	7,205
4,0	4,436
4,5	1,692
5,0	0,513
5,5	0,231
6,0	0,022
6,5	0,009
7,0	0,004

La relación Magnitud - Frecuencia según Gutenberg-Richter (ecuación 1) para la zona en estudio resultó ser:

Log N = 4,60 - 1,00 M (Para eventos hasta una profundidad ≤ 35 km)

En el contexto del análisis de la regresión lineal, el valor de R², denominado coeficiente de determinación múltiple, puede interpretarse como una variación de la suma de los cuadrados de los residuos de la recta de regresión estimada respecto a los datos de entrada. En el presente trabajo R² alcanza el valor 0,9765, suficientemente elevado y cercano a 1, lo que indica que el porcentaje de variabilidad de la recta de regresión se ajusta adecuadamente (con muy poca dispersión) a los datos de entrada, lo que nos da un alto grado de seguridad en los resultados de “a” y “b” obtenidos para la clasificación de los sismos en la profundidad que se ha propuesto en este trabajo.

Para la evaluación del peligro sísmico de una determinada zona, muchos autores han fijado valores característicos de “a” y “b” para distintas regiones sísmicas del planeta. A título de ejemplo y al objeto de comparar la relación de recurrencia obtenida en este trabajo, en la Figura 11 y en la Figura 12 se grafican leyes “Magnitud-Frecuencia” para otras regiones sísmicas, comparadas con la obtenida en este trabajo, como lo son:

Noroeste Argentino (prof. < 70 km): **Log N = 5,53 - 0,77 M** (Benítez et al., 2012).

Falla de San Andrés: **Log N = 3,30 - 0,88 M** (Schwartz et al. en Moraz y Elghadamsi, 1989).

Chile Este: **Log N = 5,87 - 1,16 M** (Saragoni, 1996).

Colombia - Perú: **Log N = 5,60 - 1,11 M** (Kaila et al. en Dowrick D., 1984).

Gran Mendoza: **Log N = 4,60 - 1,00 M** (Para eventos hasta una profundidad ≤ 35 km)

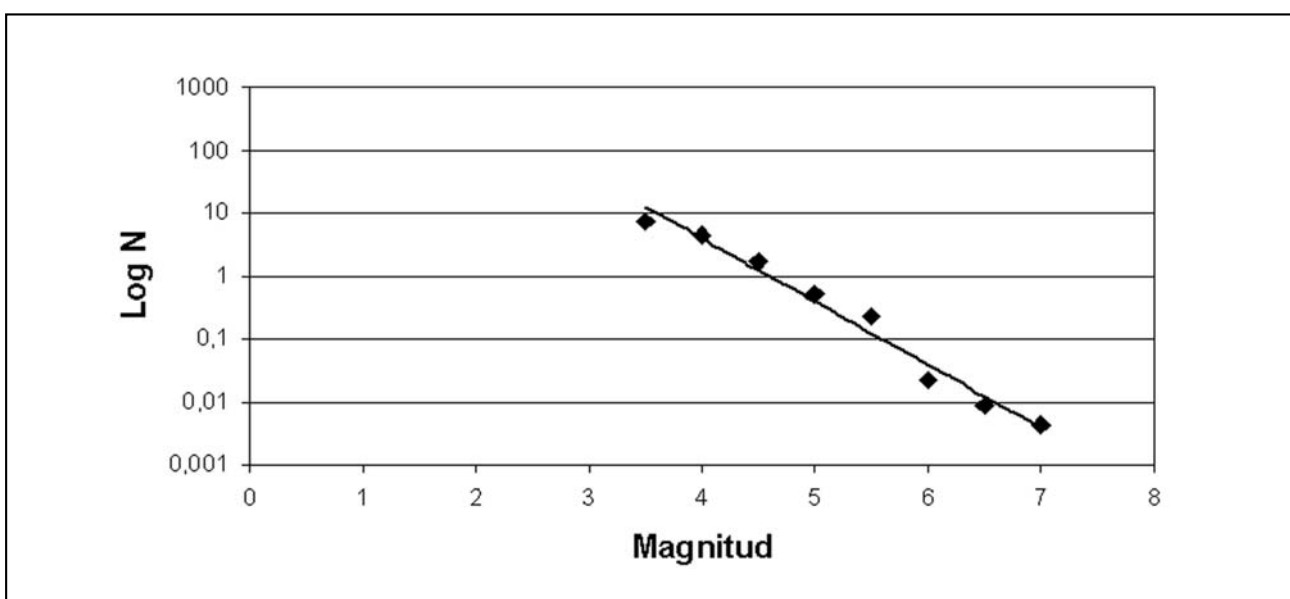


Figura 10. Relación Magnitud-Frecuencia de actividad sísmica en la zona estudiada según la expresión de Gutenberg – Richter.

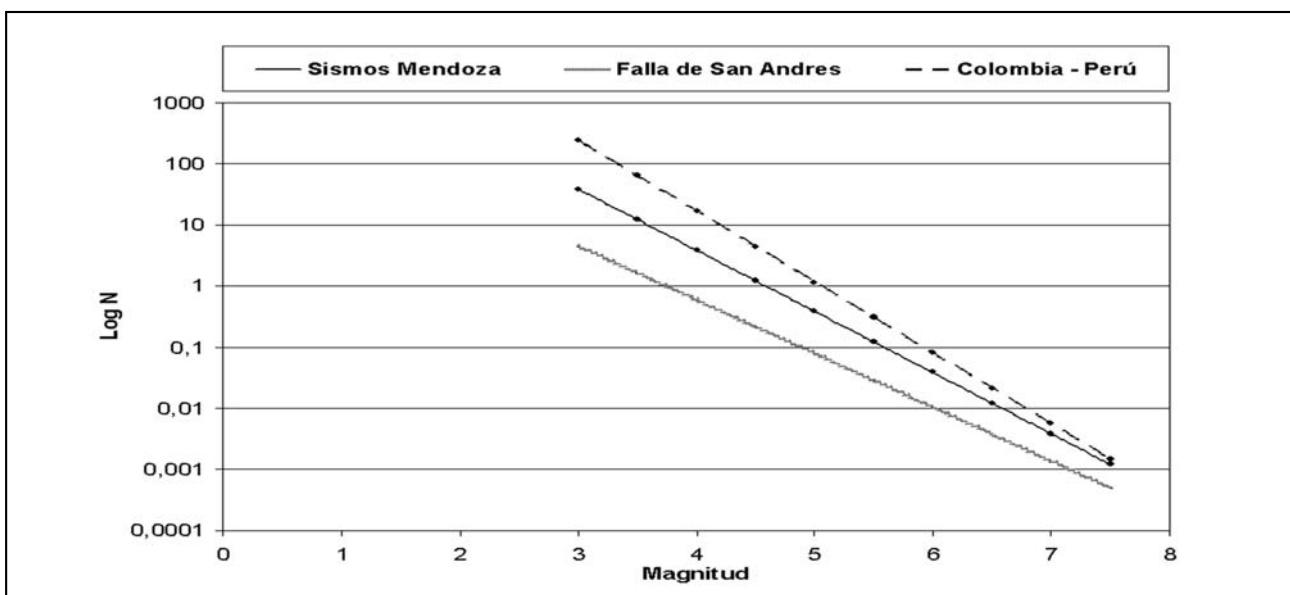


Figura 11. Regresiones “Magnitud-Frecuencia” para distintas zonas de América.

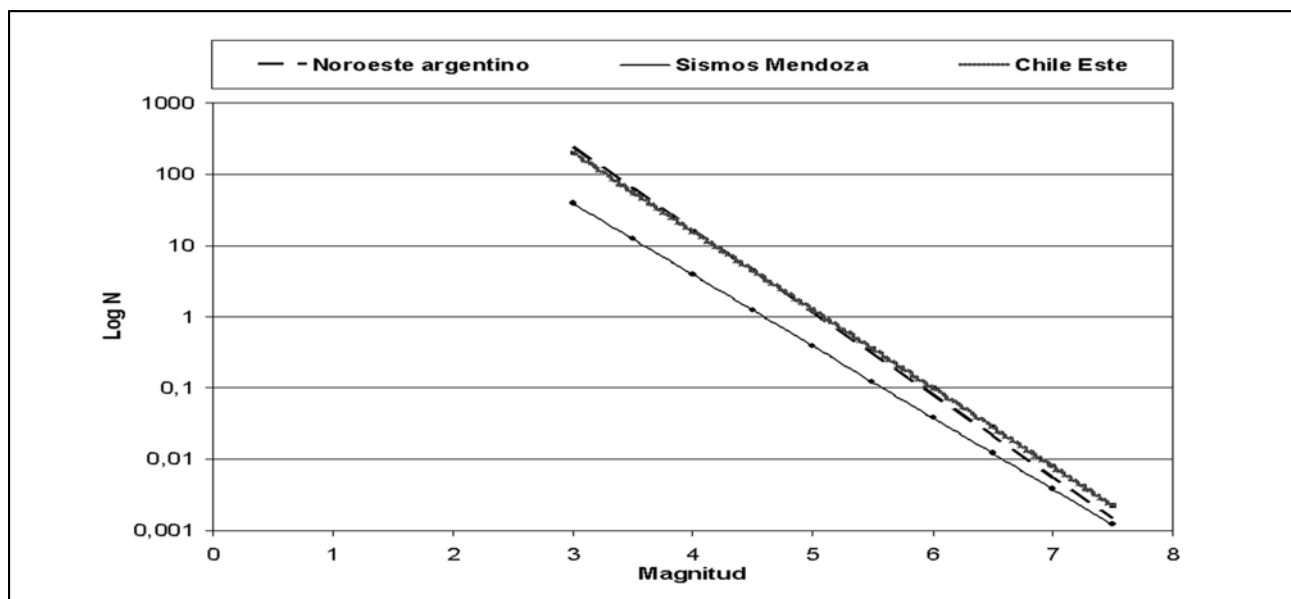


Figura 12. Regresiones "Magnitud-Frecuencia" para distintas zonas de América.

Probabilidad de Ocurrencia de Futuros Eventos Sísmicos

Del análisis de los resultados de la tasa o frecuencia media de ocurrencia por unidad de tiempo, se ha deducido la probabilidad de ocurrencia de futuros eventos sísmicos en la región estudiada, admitiendo que el nivel de actividad sísmica de los últimos 200 años se mantendrá aproximadamente igual, en promedio, en los próximos 100 años. Para evaluar dicho riesgo sísmico se ha utilizado el modelo de probabilidades de Poisson, el cual supone que los eventos en sus movimientos principales se producen de un modo aleatorio e independiente, donde los tiempos de origen, las coordenadas de los focos y las magnitudes son variables independientes entre sí. Es decir que la ocurrencia de un evento, no tiene influencia en la ocurrencia de otro, y la probabilidad de que dos eventos sucedan en el mismo sitio y al mismo tiempo es casi nula. Según *Saragoni (1993)* la hipótesis de independencia de la ocurrencia de los eventos sísmicos, en muchos casos no concuerda con la naturaleza física de la acumulación de energía en zonas sísmicas donde la regularidad observada para la ocurrencia de sismos de magnitudes altas es más o menos conocida. De acuerdo a la teoría de los huecos sísmicos, la probabilidad de ocurrencia de un gran terremoto depende, en gran medida, de la fecha de ocurrencia del último gran terremoto, lo que introduce una componente determinística en el proceso estocástico de ocurrencia de los terremotos. Para estos casos puede resultar más conveniente el uso de modelos con alguna dependencia temporal que relacione las leyes de probabilidades con los eventos ya ocurridos como es el caso de la zona central de Chile, donde la placa puede acumular energía durante 83 ± 9 años aproximadamente. El modelo denominado semi-Markoviano, basado en transiciones entre estados, considera la permanencia del sistema en un estado dado antes de efectuar una transición, por ejemplo el tamaño del último gran sismo define el último estado del sistema y el tiempo transcurrido desde entonces, la permanencia del sistema en ese estado (*Saragoni R., 1993*).

A la luz de los datos disponibles de la zona en estudio, surgen para eventos de magnitud elevada, valores no concordes tanto de regularidad de ocurrencia, como de ubicación

de la fuente. Por lo que la teoría poissoniana, a pesar de las limitaciones citadas, suministra una medida del riesgo sísmico aceptable para la región. La probabilidad de ocurrencia de "n" eventos en un intervalo de tiempo "T", para una tasa o frecuencia media "K", expresada en forma genérica por la ley de Poisson, viene dada por la Ecuación 2 (*Figueroa Soto, 2009; Sauter, 1989*):

$$P_n(t) = \frac{e^{-KT} (KT)^n}{n!} \quad (2)$$

Desde un punto de vista ingenieril se necesita conocer la probabilidad de que ocurra al menos un evento de magnitud igual o mayor a "M", en un período de tiempo "T". Esta probabilidad fue determinada con la relación expresada en la Ecuación 3:

$$P = 1 - e^{(-KT)} \quad (3)$$

Otros autores (*Lay and Wallace, 1995; Torres de Plaza et al., 2002*), proponen el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico entre un tiempo "t" y uno "t+Δt", mediante una distribución de frecuencia de Weibull. Como lo menciona *Torres de Plaza et al. (2002)*: "Un proceso Weibull es un modelo útil para fenómenos que cambian con el tiempo. Esencialmente, todos los trabajos sobre proceso Weibull han sido motivados por aplicaciones en las cuales ocurren fallas en un sistema que puede ser reparado, en este caso podemos considerar los eventos sísmicos como eventos «reparables», ya que luego de la liberación de la energía acumulada que provoca los preshocks el shock principal o terremoto y los postshocks o réplicas, el sitio (o sistema) queda nuevamente en «equilibrio».

En el presente trabajo se ha adoptado el cálculo de las probabilidades considerando la ley de Poisson. En la Figura 13 y en la Tabla 2 se muestra, para el área estudiada, la probabilidad de que ocurra al menos un evento de magnitud mayor o igual a "M" para intervalos de tiempo de 10, 50 y 100 años.

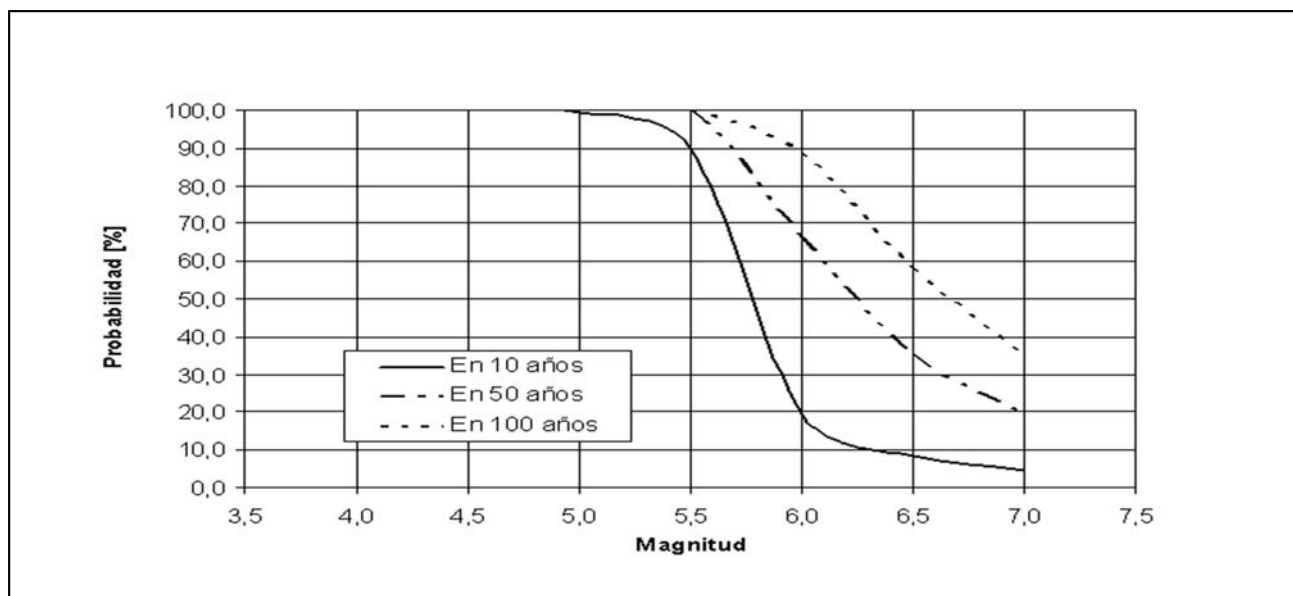


Figura 13. Probabilidad de Ocurrencia de sismos en la región de estudio.

Tabla 2. Probabilidad de Ocurrencia de sismos en la región de estudio.

Magnitud	Probabilidad de Ocurrencia		
	T=10 años [%]	T= 50 años [%]	T= 100 años [%]
3,5	100,00	100,00	100,00
4,0	100,00	100,00	100,00
4,5	100,00	100,00	100,00
5,0	99,41	100,00	100,00
5,5	90,05	100,00	100,00
6,0	19,54	66,28	88,63
6,5	8,33	35,26	58,09
7,0	4,25	19,54	35,26

En la Figura 14 se observa la probabilidad de ocurrencia de “n” eventos para un intervalo de tiempo de 50 años.

Las figuras 3 a 14 han sido confeccionadas con el software Microsoft Office Excel utilizando la función “gráfico” en su formato dispersión simple y dispersión con variación suavizada y las líneas de tendencia o regresión en su formato exponencial. En la metodología utilizada luego de la conformación de la base de datos de los sismos se procedió a unificar por mé-

todos gráficos (Heaton et al., 1986) y algorítmicos (Araya Ruiz, 2007), las magnitudes datos a magnitudes M_s (magnitud de ondas superficiales). En la selección de los registros se descartaron las réplicas y se ordenaron en orden cronológico y creciente con profundidad, magnitud, longitud y de latitud. Finalmente para obtener la tasa media de la actividad sísmica y las probabilidades de ocurrencia se evaluaron las mismas según intervalos de magnitud.

Tabla 3. Probabilidad de ocurrencia de un sismo en términos de magnitud del mismo.

Estado límite	Probabilidad “p” Por año	Magnitud Asociada Sismos Superficiales	Magnitud Asociada Sismos Profundos
Servicio	0.02	6.2	7.2
Control de daño	0.002	7.6	8.8

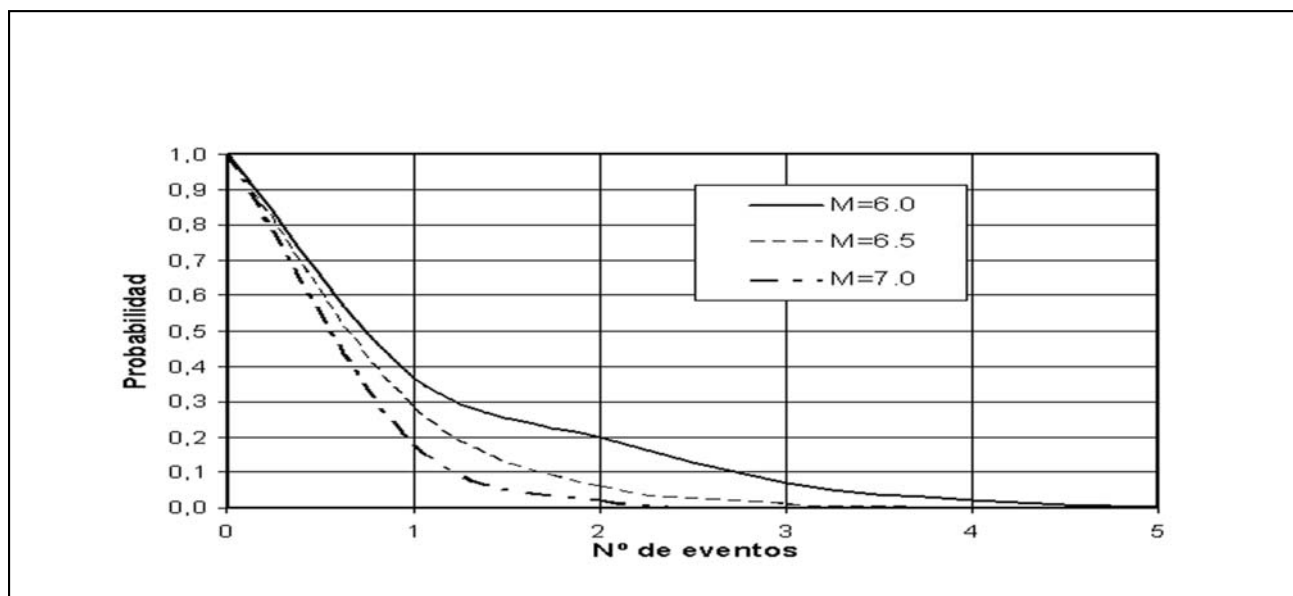


Figura 14. Probabilidad de Ocurrencia en 50 años de sismos en la región de estudio.

Impacto sobre el diseño sísmico

Las normas sísmicas más recientes enfocan el diseño sísmico relacionando los terremotos con estados límites de las estructuras, los valores de probabilidad anual "p" que pueden ser considerados apropiados para el diseño de edificios según *Paulay y Priestley (1992)*, son las siguientes:

Diseño en Estado Límite de Servicio: $p = 0,02$ /año

Diseño en Estado Límite de Control de Daño: $p = 0,002$ /año

Diseño en Estado Límite de Protección de Vidas: $p = 0,0002$ /año

Estas probabilidades evaluadas en términos de magnitud y de acuerdo a las relaciones propuestas se muestran en Tabla 3.

No se evaluaron los valores correspondientes al estado límite de protección de vidas, debido a que las relaciones propuestas responden a una sola línea de regresión la cual sobrestima los valores en el rango de las bajas probabilidades (altas magnitudes).

CONCLUSIONES

La relación de recurrencia de la actividad sísmica propuesta para la zona estudiada queda enmarcada en el rango de las relaciones determinadas en otros estudios para el Noroeste Argentino, para la falla de San Andrés, Chile Este y Colombia - Perú; en particular en lo referente al parámetro "b" (pendiente

de la recta de regresión) que toma el valor de 1,00 y queda comprendido entre 0,88 y 1,16.

Si consideramos el último evento sísmico relevante en la región como fue el sismo del 26 de enero de 1985, con foco superficial y magnitud aproximadamente a 6,2; de la relación propuesta se desprende que eventos de esa magnitud, presentan una probabilidad anual de $p = 0,022$, que implica un tiempo de retorno de aproximadamente 46 años. Esto podría encuadrarse como "sismo frecuente" de acuerdo a la clasificación dada por el comité *VISIÓN 2000 - SEAOC (1995)* (Structural Engineer Association of California - Asociación de Ingenieros Estructurales de California en Estados Unidos de Norte América).

Del análisis realizado y representado en la Figura 13 puede deducirse que, para sismos que se producen a la profundidad de estudio, existe una probabilidad del 19,54% en 10 años que ocurra un terremoto de magnitud igual o mayor de 6, del 66,28% en 50 años y del 88,63% en 100 años.

Si bien es preponderante el peligro sísmico emergente de la actividad sísmica superficial, próxima al Gran Mendoza, no debería descuidarse la proveniente de fuentes más profundas.

Si se considera la frecuencia anual que propone *Paulay y Priestley (1992)* para el Estado Límite de Servicio ($p=0,02$); aplicando las regresiones obtenidas, resulta, para sismos ocurridos hasta una profundidad de 35 km, una magnitud asociada de 6,2. En principio dicho valor podría considerarse aceptable para un estado límite de servicio debido a los pocos daños observados en edificios de altura para el sismo del 26 de enero de 1985 ocurrido en Mendoza.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ARAYA RUIZ, P. F., 2007.

Catálogo actualizado de intensidades sísmicas para Chile.

Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería civil.

BENÍTEZ, L. M., GRIMOLIZZI, O. M. Y BENÍTEZ, S. B., 2012.

Comportamiento del parámetro "b" de Gutenberg-Richter en los sismos de la región NOA. Argentina.

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, N°29, p.101-107, Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería ASAGAI, Diciembre 2012.

- COSTA, C., MACHETTE, M., DART R., BASTÍAS, H., PAREDES, J., PERUCCA, L., G. TELLO, G. & 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.
- DOWRICK, D. J. 1984.
“Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos”.
México, Ed. Limusa.
- FIGUEROA SOTO, A. G., 2009.
Análisis de tiempo interevento en secuencias de réplicas para la identificación de estados de relajación del esfuerzo.
- 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.
- GUTENBERG, B. AND RICHTER, C. F., 1944.
“Frequency of earthquakes in California”.
Bull. Seismol. Soc. Am. 34:184-188.
- HEATON, T., TAJIMA, F. Y MORI, A. W., 1986.
“Estimating Ground Motions Using Recorded Accelerograms”,
Surveys in Geophysics, v.8, 25-83.
- INPRES-CIRSOC 103, 2013.
Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte I, Construcciones en General.
Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina.
- INPRES
Publicación Técnica N° 10, 1986.
“Gran Mendoza, el núcleo urbano expuesto al mayor nivel de riesgo sísmico en la República Argentina”.
- INPRES
Publicación Técnica N° 11, 1986.
“Características principales del terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985”.
- INPRES 1998.
Base de Datos de eventos de la Provincia de Mendoza.
San Juan.
- ISHIMOTO, M. AND LIDA, K., 1939.
“Observations sur les séism enregistrés par le microseismograph construit dernièrement (I)”.
Bull. Earthquake Res. Inst. 17:443-478.
- LAY, T. AND WALLACE, T. C., 1995.
“Modern Global Seismology”.
San Diego: Academic Press.
- MOHRAZ, B. AND ELGHADAMSI, F., 1989.
“Earthquake Ground Motion and Response Spectra.”
The Seismic Design Handbook.”
- 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.
- OLARTE NAVARRO, J., 2000.
“Sismicidad y Peligrosidad Sísmica en la Región Sur Occidental del Perú”.
- PAULAY, T. & PRIESTLEY, M. J., 1992.
“Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”.
New York, John Wiley & Sons, Inc.
- RODRIGUEZ - PASCUA, M., DE VICENTE, G. Y CALVO, J. P., 2000.
“Similitudes entre la actividad sísmica actual y la paleosismicidad durante el mioceno superior en las zonas externas de las cordilleras bélicas: restricciones a partir del parámetro b”.
- SALCEDO, E., RIVERA, C. Y GÓMEZ, A., 1997.
“Análisis de la frecuencia de terremotos fuertes en la región central de Colombia mediante parámetros del régimen sísmico”.
ISSN 0370-3908.

- SARAGONI, R., 1993.
“Análisis del Riesgo Sísmico para la Reconstrucción del Puerto de Valparaíso”.
Sextas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Sísmica. Volumen II. Santiago de Chile. 1993.
- SARAGONI, R., 1996.
“Seismic Risk Evaluation for the Desig of Large Dams in Chile”.
Chile National Committee on large dams.
- SAUTER, F., 1989.
“Fundamentos de Ingeniería Sísmica - Introducción a la Sismología”.
Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- SILVA, E., TORNELLO, M. Y FRAU, C., 2000.
Energy quantification of seismic activity originated in the province of Mendoza in the period 1956-1998.
12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand.
- 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.
8º Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Valparaíso, Chile.
- TORRES DE PLAZA, M. I., BENÍTEZ DE PARRA, L. M. Y SUAYTER, L. E., 2002.
“Un modelo estadístico para el análisis del riesgo de sismo y su aplicación a datos de los departamentos Burreyacu y Trancas”.
Revista cet 22. Año 11 N° 22 Octubre de 2002. Revista de propiedad de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán. Argentina.
- USGS (“United States Geological Survey” - Servicio Geológico de los Estados Unidos).
Noviembre de 2012.
URL earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic.
- VISION 2000 - SEAOC, 1995.
“Performance Based Seismic Engineering of Buildings”.
Structural Engineers Association of California.
- WIEMER, S. AND WYSS, M., 1997.
“Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence times?”.
- WIEMER, S. AND WYSS, M., 2002.
“Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes. Advances in Geophysics”.
- ZÚÑIGA, F. R. AND WYSS, M., 2001.
“Most - and least-likely locations of large to great earthquakes along the Pacific Coast of Mexico estimated from local recurrence times based on b-values”.