



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología
Trabajo de Grado

SISMICIDAD DEL PARAGUAY

ALCIDES MAXIMILIANO CABALLERO

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Grado de Licenciado en Ciencias-Mención Geología

SAN LORENZO – PARAGUAY
JULIO – 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
Departamento de Geología
Trabajo de Grado

SISMICIDAD DEL PARAGUAY

ALCIDES MAXIMILIANO CABALLERO

Orientador: **Lic. Moisés Alejandro Gadea Villalba**

Co-Orientador: **Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici**

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de la Licenciatura en Ciencias Mención Geología

SAN LORENZO – PARAGUAY

JULIO – 2018

SISMICIDAD DEL PARAGUAY

Alcides Maximiliano Caballero

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de la Licenciatura Ciencias Mención Geología.

Fecha de aprobación: 19 de julio de 2018

COMITÉ ASESOR DE TRABAJO DE GRADO

MIEMBROS:

Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

A mi madre, Ana María Concepción Caballero Patiño

DEDICO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, Por iluminar mi camino día a día.

A mi madre, Ana María Concepción Caballero Patiño, quien de forma incansable siempre luchó para corregir mi rumbo durante mi etapa estudiantil.

A mis hermanos, Miguel, Pedro y Ana, por el apoyo y cariño.

A los Profesores, Moisés Alejandro Gadea Villalba, por sus enseñanzas durante la carrera y orientación en la elaboración del presente trabajo;
Ana María Castillo Clerici, por los consejos dentro de las aulas y en la confección de este documento.

A Mirian Almada, Por la ayuda con los softwares utilizados en la investigación.

A María Liz Maidana Núñez, Quien estuvo apoyándome en todo momento.

Sismicidad del Paraguay

Autor: ALCIDES MAXIMILIANO CABALLERO
Orientador: LIC. MOISÉS ALEJANDRO GADEA VILLALBA
Co-Orientador: PROF. DRA. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI

RESUMEN

En Paraguay ocurren sismos cuyos epicentros son de magnitudes bajas a moderadas. Recurriendo a datos antecedentes y los provenientes de instituciones de monitoreo sísmico regional y local, se determinaron zonas sismogénicas bien delineadas. Los sismos nacionales son del tipo intraplaca, que se relacionan a diferentes fuentes: la Región Occidental con la subducción de placa de Nazca bajo la placa Sudamericana; y en la porción Oriental debido al control estructural presente en la región. Los sismos regionales también se perciben en el país, especialmente en los pisos superiores de algunos edificios en Asunción debido a los efectos de sitio, de lo cual se estima la existencia de un riesgo sísmico moderado.

Palabras claves: Epicentro, subducción, intraplaca, sismos regionales.

Seismicity of Paraguay

Author: ALCIDES MAXIMILIANO CABALLERO
Advisor: LIC. MOISÉS ALEJANDRO GADEA VILLALBA
Co-Advisor: PROF. DRA. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI

SUMMARY

In Paraguay there are earthquakes whose epicenters are of low to moderate magnitudes. Drawing on background data and those from regional and local seismic monitoring institutions, well-defined seismogenic zones were determined. The national earthquakes are of the intraplate type, which are related to different sources: the Western Region with the Nazca plate subduction under the South American plate; and in the Eastern portion due to the structural control present in the region. Regional earthquakes are also perceived in the country, especially in the upper floors of some buildings in Asunción due to site effects, which is estimated to have a moderate seismic risk.

Keywords: Epicenter, subduction, intraplate, regional earthquakes.

Sismicidade do Paraguai

Autor: ALCIDES MAXIMILIANO CABALLERO

Orientador: LIC. MOISÉS ALEJANDRO GADEA VILLALBA

Co-Orientador: PROF. DRA. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI

RESUMO

No Paraguai há terremotos cujos epicentros são de baixa a moderada magnitude. Com base nos dados anteriores e em instituições de monitoramento sísmico regional e local, foram determinadas zonas sismogênicas bem definidas. Os terremotos que ocorrem no território são do tipo intraplaca, que estão relacionados a diferentes fontes: a Região Oeste com a subducção da placa de Nazca sob a placa Sul-Americana; e na porção Oriental, devido ao controle estrutural presente na região. Terremotos regionais também são percebidos no país, especialmente nos andares superiores de alguns edifícios em Assunção, devido aos efeitos locais, que se estima terem um risco sísmico moderado.

Palavras-chave: Epicentro, subducção, intraplaca, terremotos regionais.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Justificación	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. General	2
1.3.2. Específico	2
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Aspecto Sismológico	3
2.2. Aspecto Geotectónico	7
2.1.1. Región Oriental	7
2.1.2. Región Occidental	8
3. METODOLOGÍA	11
3.1. Localización del área de estudio	11
3.2. Materiales	12
3.3. Métodos	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1. Sismicidad regional	13
4.2. Sismicidad local	14
4.3. Fenómeno de “Earthquake boom” en Paraguay	18
4.4. Reflejos distantes	19
4.5. Riesgo sísmico	22
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
5.1. Conclusiones	25
5.2. Recomendaciones	26
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Principales Cuencas del Paraguay	10
2. Mapa de ubicación del área de estudio	11
3. Mapa de distribución de epicentros de Sudamérica	13
4. Mapa de distribución de epicentros superficiales	14
5. Distribución de epicentros del Paraguay	16
6. Epicentros en relación a su profundidad en las cuencas del Paraguay	17
7. Sismograma del evento del 17 de junio de 2015	18
8. Sismicidad regional percibida en Paraguay	22
9. Mapa de peligrosidad sísmica de Sudamérica	23
10. Fisura en las estructuras del edificio a consecuencia del evento chileno	24

LISTA DE TABLAS

	Página
1. Lista de epicentros del Paraguay desde 1947 hasta la actualidad	15
2. Lista de epicentros extranjeros sentidos en el Paraguay.	21

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

CPUP	Caapucú-Paraguay
I	Intensidad
INPRES	Instituto Nacional de Prevención Sísmica
M	Magnitud
Moho	Mohorovičić
MM	Mercalli Modificada
Ps	Peligrosidad sísmica
Py	Paraguay
Rs	Riesgo sísmico
USGS	United States Geological Survey
Vs	Vulnerabilidad sísmica

1. INTRODUCCIÓN

El territorio Paraguay se encuentra en la región central del continente Sudamericano, entre la Cordillera Andina Oriental y la Cuenca del Paraná en el sur de Brasil, lo cual en su mayor parte representa una región intraplaca. La sismicidad en el territorio Paraguay y regiones circundantes presentan aspectos de la sismicidad de subducción Andina y la sismicidad intraplaca estable (Berrocal & Fernandes, 1996).

1.1. Planteamiento del problema

En Paraguay no existe una alta frecuencia de sucesos sísmicos en comparación a los países andinos, esto sería el principal motivo por el cual no se ha desarrollado mucha investigación al respecto. Sin embargo, despierta un interés general en conocer la naturaleza de estos eventos; los efectos de los sismos de los países vecinos percibidos en el país, como también tener un panorama acerca de un posible riesgo sísmico.

1.2. Justificación

La frecuencia y magnitud con la que ocurren los eventos sísmicos en el Paraguay son relativamente bajas, pero lo suficiente para que existan reportes e inquietudes acerca de la percepción de los mismos en algunas regiones del país. No obstante, la simple evidencia de la actividad sísmica autóctona en el territorio hace de este fenómeno materia de estudio.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Determinar las características sismológicas del Paraguay.

1.3.2. Específico

- Reconocer zonas sismogénicas en el país.
- Describir los efectos de los sismos regionales percibidos en el territorio nacional.
- Determinar posibles riesgos sísmicos que puedan afectar al Paraguay.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aspecto Sismológico

- **Terremoto**

Los autores Tarbuck & Lutgens (2005), señalan que: “Un terremoto o un sismo es la vibración de la Tierra producida por una rápida liberación de energía. Lo más frecuente es que los terremotos se produzcan por el deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla. La energía liberada irradia en todas las direcciones desde su origen, el foco (foci punto) o hipocentro, en forma de ondas”.

- **Epicentro**

El epicentro es la proyección vertical del hipocentro hasta la superficie de la tierra (Kulhánek, 1990). Los terremotos registrados a distancias inferiores a 10° se denominan eventos locales o eventos regionales, mientras que los impactos registrados desde distancias superiores a 10° se denominan eventos telesísmicos o simplemente teleseísmos. Algunas agencias se refieren a eventos entre 10 y 20° como regionales y aquellos más allá de 20° como telesísmicos (Kulhánek, 1990).

- **Magnitud**

La magnitud de un sismo es un valor instrumental, relacionado con la energía elástica liberada durante un terremoto y propagada como ondas sísmicas en el interior y en la superficie de la Tierra. Es independiente de la distancia entre el hipocentro y la estación sismológica y se obtiene del análisis de los sismogramas.

Existen diferentes escalas para medir la magnitud, aunque la más difundida es la de Richter. Ésta es una escala abierta, o sea que no tiene límite superior (Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2017).

- **Intensidad**

La intensidad es una medida de los efectos producidos por un terremoto. La escala tiene carácter subjetivo y varía de acuerdo con la severidad de las sacudidas producidas en un lugar determinado. Tiene en cuenta los daños causados en las edificaciones, los efectos en el terreno, en los objetos y en las personas. Si bien existen diferentes escalas de intensidad, la más utilizada en el hemisferio occidental es la de Mercalli Modificada (MM), que es cerrada y contiene doce grados (I al XII) (Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2017).

- **Profundidad de los focos**

De acuerdo con su profundidad focal, los terremotos se clasifican en una de las tres categorías: superficial, intermedia o profunda. Los terremotos de foco superficial (aproximadamente el 80% de la actividad total) tienen sus focos a una profundidad de entre 0 y 70 km y tienen lugar en crestas oceánicas y fallas transformantes, también en zonas de subducción. Los terremotos de foco intermedio (profundidad focal entre 71 y 300 km) y los terremotos de foco profundo (profundidad focal de más de 300 km) ocurren en las zonas de subducción. La mayoría de los terremotos se originan en la corteza. En profundidades debajo del Moho. Los terremotos a lo largo de las crestas generalmente ocurren a una profundidad de aproximadamente 10 km o menos y son de tamaño moderado. Las fallas transformantes generan choques más grandes a profundidades de hasta aproximadamente 20 km. Los terremotos más grandes ocurren a lo largo de las zonas de subducción (Tarbuck & Lutgens, 2005).

- **Origen de los terremotos**

Existen los sismos naturales y antrópicos. Los naturales, a su vez pueden ser de origen tectónico, volcánico, de colapso o sismos mareales (Kulhánek, 1990). Entre los tectónicos existen los interplacas, que ocurren en los márgenes continentales activos; y los intraplacas, aquellos alejados de los bordes de placas tectónicas (Kulhánek, 1990).

- **Sismos Interplaca**

Cuando dos placas convergen, una usualmente pasa debajo de la otra y desciende a la astenosfera, un proceso llamado subducción. El bloque descendido, también llamado zona de subducción o zona Wadati-Benioff, se asimila con el manto circundante a una profundidad de aproximadamente 700 km, es decir, aproximadamente en el límite inferior de la astenosfera, debido a las temperaturas y los esfuerzos existentes a esa profundidad (Kulhánek, 1990).

El rozamiento de los bloques en una falla transformante, como así el proceso de divergencia producen terremotos (Tarbuck & Lutgens, 2005).

- **Sismos intraplaca**

“Varias hipótesis tratan de explicar esta sismicidad intraplaca. La más aceptada, propuesta por el sismólogo norteamericano Lynn R. Sykes en 1978, es de que el área de actividad sísmica probablemente es una zona de debilidad. Por lo tanto, cualquier cambio de esfuerzo local causaría un temblor” (Assumpção, 2008).

Las regiones intraplaca suelen presentar una actividad sísmica baja y éstas están asociadas a reactivaciones de fallas preexistentes (Bettucci *et al.*, 2016).

- **Sonidos asociados a los sismos (*Earthquake boom*)**

“El sonido es uno de los efectos más comunes reportados durante o inmediatamente antes del inicio de la vibración del terreno causado por terremotos. El sonido se escucha antes del temblor, probablemente porque es producido principalmente por ondas P (Hill *et al.*, 1976), mientras que el temblor perceptible es frecuentemente asociado con las ondas S. En general, el sonido del terremoto es escuchado dentro de un área que rodea el epicentro, incluso para pequeños eventos. Entre las muchas observaciones que acompañan un terremoto, un estruendo se ha informado con frecuencia, incluso en las crónicas más antiguas. El sonido que se escucha generalmente se compara con un trueno, rugido, viento impetuoso o explosión” (Tosi, 2012).

“Los fenómenos de *Earthquake booms*, son sonidos que se dan asociados a sismos de magnitudes bajas (alrededor de 3). Estos han sido reportados desde hace siglos y se dan de manera común, por ejemplo, en la costa este de Estados Unidos, en Turquía y Gran Bretaña, entre otros (contexto de intraplaca). Estos se reportan para localizaciones cercanas al hipocentro y llegan antes de la onda S, después de la P. Como la perceptibilidad de la onda P es en general baja y el movimiento perceptible se da asociado al pasaje de la onda S, las cuales llegan después al observador, genera que las personas "escuchen" primero y luego "sientan" el temblor” (Bettucci *et al.*, 2016).

Riesgo Sísmico

Es la probabilidad de consecuencias adversas ante un evento sísmico. El riesgo sísmico de una región resulta de la combinación entre la peligrosidad sísmica propia del lugar y la vulnerabilidad sísmica. En consecuencia, reducir la vulnerabilidad implica reducir el riesgo. Por otro lado, mayor peligrosidad sísmica no implica en forma directa, mayor riesgo sísmico.

$$R_s = P_s * V_s.$$

Dónde: R_s : Riesgo sísmico, P_s : Peligrosidad sísmica, V_s : Vulnerabilidad sísmica.

Vulnerabilidad Sísmica

Es la susceptibilidad de una comunidad y su entorno físico, a sufrir daños ante la ocurrencia de un sismo. Esto implica tanto las fragilidades edilicias, como la falta de resiliencia de esa comunidad expuesta y su capacidad de respuesta ante un evento natural.

Peligrosidad Sísmica

La peligrosidad o amenaza sísmica de una región, queda definida como la probabilidad de ocurrencia de sismos en un área geográfica específica durante un intervalo de tiempo determinado (Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2017).

2.2. Aspecto Geotectónico

2.2.1. Región Oriental

Como señala Putzer (1962) *in* Castillo Clerici (1986), en términos de estructuras el elemento más importante es el Arco Central Paraguayo o también llamado Arco de Asunción de dirección N-S, que delimita dos grandes Cuencas: la Cuenca del Chaco situada en la Región Occidental y la Cuenca Paraná de la Región Oriental (Figura 1). Este arco fue reactivado varias veces durante un intervalo de tiempo cerca de 250 MA incidiendo de esta forma en la sedimentación de la región oriental.

“El Paraguay Oriental está localizado en un área que geológicamente representa el extremo oeste de la Cuenca del Paraná, los sedimentos y la estratigrafía

son muy similares a los del lado Brasileiro de la cuenca, principalmente los de la región sur del Paraguay Oriental” (Castillo Clerici, 1986).

“Estudios sísmicos, gravimétricos, fotogeológicos y de campo en la porción paraguaya de la Cuenca Paraná revelaron fallamientos en bloques grandes, traslapamientos sedimentarios y paquete sedimentario de más de 5000 metros de potencia total.

La Región Oriental del Paraguay presenta características estructurales propias con las direcciones principales dominantes N-S y NW-SE. Y secundariamente, E-W. Las direcciones N-S corresponderían al evento tectónico más antiguo, ocurrido durante la evolución del ciclo orogénico Brasileiro, asociado con la intrusión de masas graníticas. Las direcciones NW-SE parecen estar relacionadas genéticamente a la apertura del Océano Atlántico durante el Mesozoico, con una mayor evidencia radicada en la megaestructura localizada en la parte centro-oriental del país. Las direcciones NE-SW son consideradas como correspondientes o asociadas con eventos regionales que ocurren en la periferia del basamento durante la fase tardía del ciclo Brasileiro” (Rossello *et al.*, 2006).

2.2.2. Región Occidental

“La gran cuenca del Chaco puede ser considerada una cuenca compuesta (Levorsen, 1973), dado que los acontecimientos sedimentarios fueron acompañados por eventos tectónicos de gran porte que contribuyeron en gran manera a delimitar la misma y las sub-cuencas que la componen” (Gomez D., 1986).

Esta cuenca formó parte de la Cuenca Chaco- Paraná que ocupa actualmente la Región Oriental y Occidental hasta el Paleozoico, posteriormente tuvieron evoluciones diferentes siendo el Arco Central Paraguayo el límite de las actuales Cuencas del Chaco (Pericratónica) y Paraná (Cratónica). Al respecto, varios autores dan cuenta que estas dos cuencas formaba parte de una sola, entre los cuales Fulfaro & Perinotto (1996) propusieron una conexión marina de la subcuenca de Apucarana

en Brasil, al menos, a través de grandes fosas aulacogénicas que, con orientación próxima a E–W cortaron el Arco de Asunción (e.g. “Bajo de San Pedro” en Paraguay) y permitían su comunicación con el Proto–Pacífico. En ese contexto, las similitudes encontradas en el tipo de sedimentación, arreglo de los paquetes sedimentarios, así como el contenido fosilífero, es similar al que se puede observar, particularmente, en la cuenca de Chaco–Paraná pero también en las cuencas de Chaco–Tarija y Ventana–Cabo. En estos tres grandes ámbitos de sedimentación predominaron los depósitos marinos acumulados en un ámbito epicontinental, poco profundo, formando arreglos transgresivos y que evidencian la existencia de varias fluctuaciones del nivel del mar durante su instalación (Veroslavsky *et al.*, 2006).

La Cuenca del Chaco a diferencia de la Cuenca del Paraná presenta una relación más estrecha con los Andes, debido a su proximidad geográfica, de esta manera, está sujeta a la intensidad de los ciclos tectónicos andinos (Castillo Clerici, 1986).

Según Wiens (2002), menciona también que el ciclo termotectónico Brasileño establece desde el Neoproterozoico al Cámbrico/Ordovícico un arreglo estructural con lineamientos hacia el noroeste y noreste, implementándose a una compleja imagen tectónica del Basamento Cristalino. Las fases epirogenéticas del Caledoniano (Silúrico) y del Eoherciniano (Carbonífero) marcan suaves episodios compresionales, formando amplios domos estructurales. Una acentuada distensión tectónica a lo largo de los lineamientos estructurales establecidos, es el resultado del ciclo termotectónico Sudatlántico (Mesozoico). Acompañan magmatitas sinformacionales. Este evento causa una reorganización geotectónica del Paraguay, estableciendo a partir del Mesozoico dos principales unidades deposicionales: la Cuenca del Chaco y la Cuenca del Paraná. El ciclo termotectónico Andino (Cenozoico) registra reajustes estructurales más recientes y está acompañado por un magmatismo local.

La Cuenca del Chaco posee 4 Subcuencas (Figura 1), dos son Paleozoicas; las Sub-cuencas Curupaity y Carandaity separados por el Arco de Lagerenza, otra

Subcuenca Pirity, Mesozoica, separado por el Alto de Boquerón y la Subcuenca Pilar, del Terciario (Castillo Clerici, 2018. Comunicación personal).

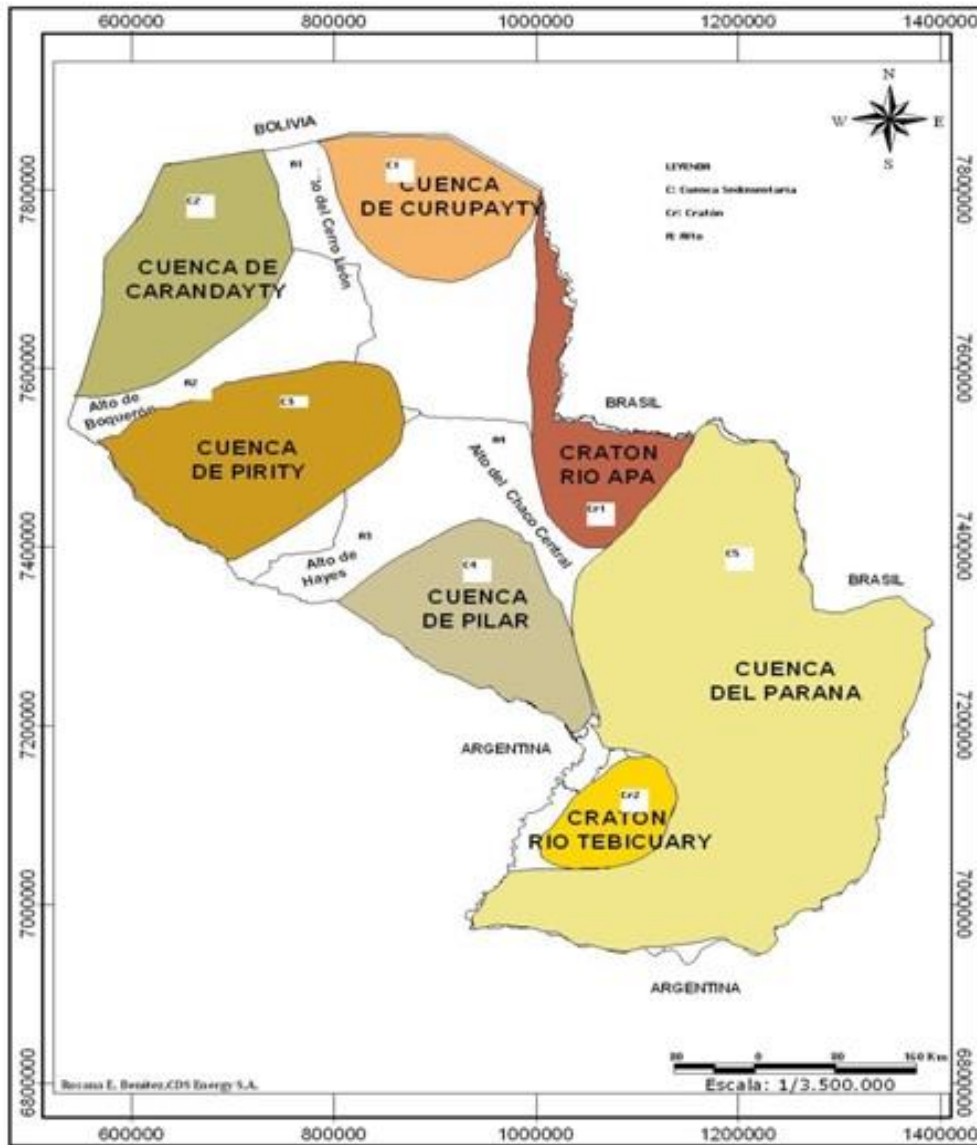


Figura 1. Principales cuencas del Paraguay.
Fuente: www.geologiadelparaguay.com.py

3. METODOLOGÍA

3.1. Localización del área de estudio

El área estudiada corresponde a todo el territorio paraguayo que se encuentra en el centro del continente Sudamericano (Figura 2), ubicado entre las latitudes 19°S - 28°S y longitudes 63°O - 54°O limitando con Brasil al Este y Noreste; al Sur y Sureste con Argentina; y al Norte y Noroeste con Bolivia.



Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Materiales

Se dispuso de datos sísmicos provenientes de 4 fuentes principales: la primera extraída de la bibliografía preexistente, como ser la información de los eventos históricos que antecedieron a los sensores sismológicos que se disponen hoy en día (los primeros 32 epicentros, desde el año 1947 hasta el 2000); la segunda con la Estación Sismológica de Paraguay CPUP; la tercera proveniente del Instituto Nacional de Prevención Sísmica de Argentina y la cuarta de la Universidad de São Paulo, Todas ellas accedidas mediante la internet.

En la interpretación de los datos fue muy importante el conocimiento de los softwares: ArcGis para la elaboración de mapas representativos y Microsoft Word para la confección del presente documento.

3.3. Métodos

El diseño metodológico es cuantitativo de carácter descriptivo, retrospectivo y transversal.

Criterios de inclusión y exclusión

Inclusión:

- Sismos locales de magnitudes y profundidades conocidas.
- Reflejos sísmicos producidos por eventos regionales.

Exclusión:

- Sismos locales con magnitudes y profundidades desconocidas.

Muestreo: No probabilístico, intencional

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Sismicidad regional

Los autores Berrocal & Fernandes (1994), señalan que la actividad sísmica es producida por la interacción de la placa de Nazca y Sudamericana teniendo epicentros someros en los límites occidentales de Sudamérica, tornándose más profundos cuando los epicentros aparecen hacia el interior del continente (Figuras 3 y 4).

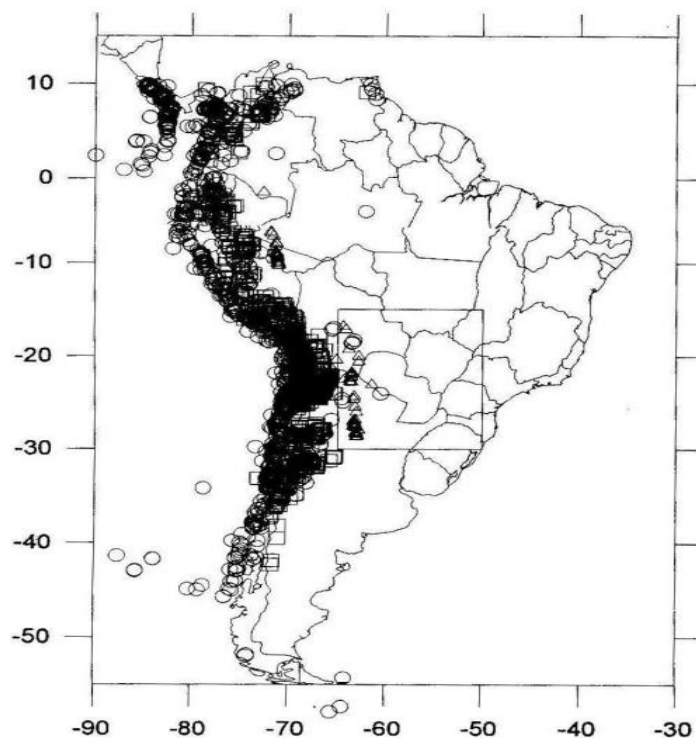


Figura 3. Mapa de distribución de epicentros de Sudamérica.
Fuente: (Berrocal & Fernandes, 1996).

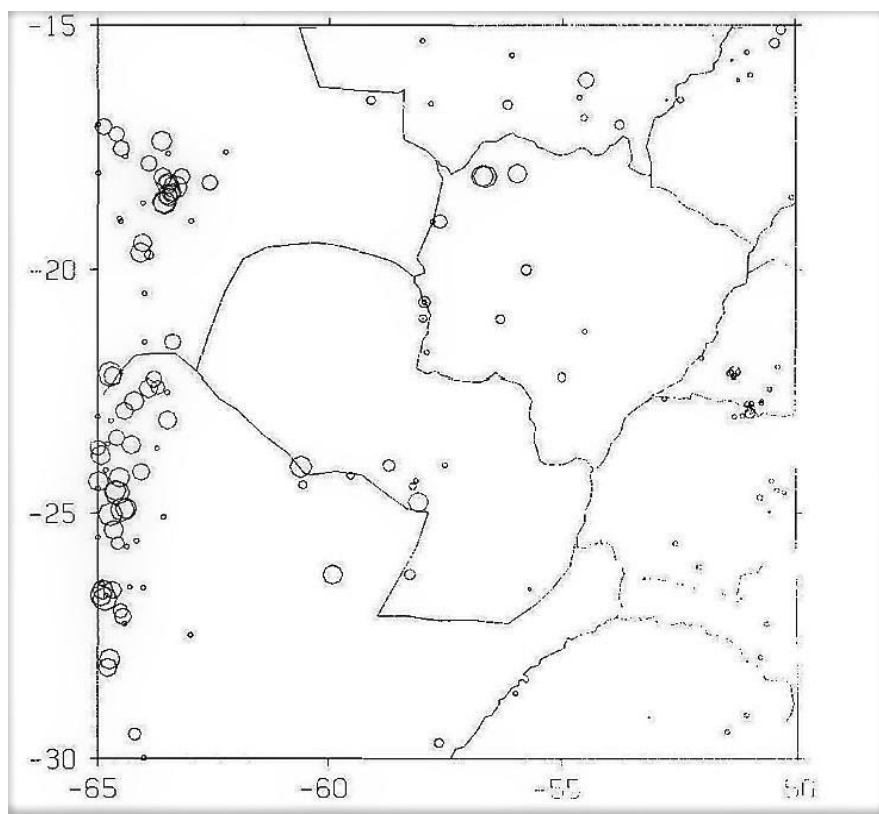


Figura 4. Mapa de distribución de epicentros superficiales ($h < 70 \text{ km}$).
Fuente: (Berrocal & Fernandes, 1996).

4.2. Sismicidad local

“El Paraguay en su porción occidental el alto grado de sismicidad está relacionado con la subducción de la Placa de Nazca y en el resto de la región ocurren pequeños terremotos de baja intensidad del tipo intraplaca, los cuales pueden ser relacionados a sistemas de fallamientos antiguos presentes en formaciones cristalinas en la plataforma Sudamericana” (Berrocal & Fernandes, 1996).

La actividad sísmica no es tan frecuente en el país, sin embargo, existe una serie de sismos registrados en el territorio (Tabla 1), en que la profundidad y magnitud de algunos eventos no se disponen por motivos que van desde limitaciones de las estaciones o datos poco fiables. A continuación se presenta la lista de epicentros del Paraguay.

Tabla 1. Lista de epicentros del Paraguay desde 1947 hasta la actualidad.

Nº	Fecha	Latitud	Longitud	Prof. (Km)	Magnitud
1 ²	31/8/1947	-22.4	-62.5	223	5.2
2 ¹	15/12/1947	-21.7	-57.9	-	1.2
3 ²	30/5/1959	-22	-63	500	4.9
4 ²	16/4/1961	-22.7	-61.8	176	...
5 ²	28/4/1961	-22	-62.9	82	5.1
6 ¹	15/4/1969	-21.83	-61.67	545	3.9
7 ¹	16/1/1979	-24	-58.7	-	4
8 ¹	20/7/1979	-24	-57.5	-	3
9 ²	20/11/1980	-26.25	-58.25	-	3.8
10 ¹	8/4/1982	-24.77	-58.07	24.4	5
11 ¹	7/3/1984	-24.44	-58.19	-	3.3
12 ²	12/4/1985	-23.94	-60.55	24	5.3
13 ¹	26/10/1985	-24.21	-59.52	-	3.3
14 ²	11/12/1986	-25.39	-57.356	-	2.8
15 ¹	7/6/1988	-24.32	-58.12	-	3
16 ¹	24/6/1988	-20.66	-57.97	33	...
17 ¹	24/6/1988	-20.66	-57.97	-	3.9
18 ²	15/10/1988	-22.52	-58.82	-	2.6
19 ¹	17/10/1988	-23.09	-60.47	-	2.8
20 ¹	17/10/1988	-21.6	-59.12	-	3.9
21 ¹	28/2/1989	-23.11	-61.47	569	5.6
22 ²	21/9/1989	-26.59	-55.74	-	2.7
23 ¹	20/10/1989	-26.55	-55.7	-	2.8
24 ²	20/9/1990	-26.61	-56.94	-	2.8
25 ²	13/11/1990	-25.48	-57.47	-	2.9
26 ²	9/2/1994	-24.21	-58.27	-	3.4
27 ²	4/10/1995	-26.06	-56.62	-	3.4
28 ²	6/5/1998	-26.24	-57	-	2.6
29 ²	27/4/2000	-26.9	-56.5	5	3.9
30 ²	1/12/2000	-26.93	-56.53	-	2.5
31 ²	18/12/2000	-27.22	-57.55	-	2.8
32 ²	21/12/2000	-26.15	-58.12	-	2.8
33 ³	20/8/2005	-25.91	-56.73	-	2.6
34 ³	21/6/2009	-27.1	-58.08	-	2.8
35 ³	10/11/2009	-27.27	-56.31	15	3.5
36 ⁵	25/10/2013	-25.912	-57.335	11	3.4
37 ³	17/6/2015	-25.913	-56.303	-	3.8
38 ³	15/9/2015	-25.873	-57.262	-	0.6
39 ⁴	14/12/2015	-26.05	-57.18	21	3.6
40 ³	27/2/2017	-26.974	-56.964	32	2.8
41 ³	15/10/2017	-27.09	-58.26	15	3
42 ⁴	16/06/2018	-27.19	-58.15	-	2.3

Fuentes: Berrocal & Fernandes 1996¹, Barros *et al.*, 2000², Estación Sismológica CPUP³, Universidad de São Paulo⁴, INPRES⁵.

MAPA DE SISMICIDAD DEL PARAGUAY (1947-2018)

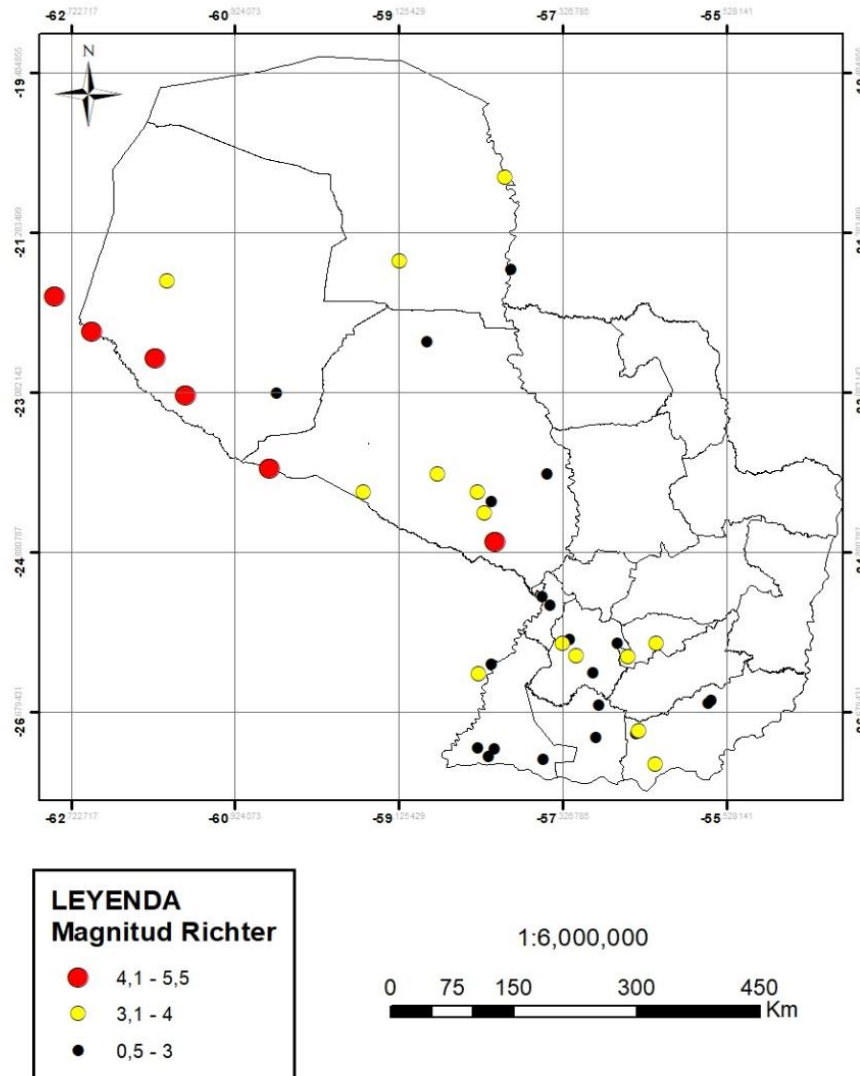


Figura 5. Distribución de epicentros en Paraguay.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se pueden apreciar los eventos sísmicos en función a su magnitud, los de mayor magnitud en la Región Occidental (círculos rojos), de magnitudes intermedias y menores en la Región Occidental y Oriental (círculos amarillos y negros).

MAPA DE SISMICIDAD Y ESPESOR CORTICAL DE LAS CUENCAS CHACO-PARANÁ Y PARANÁ

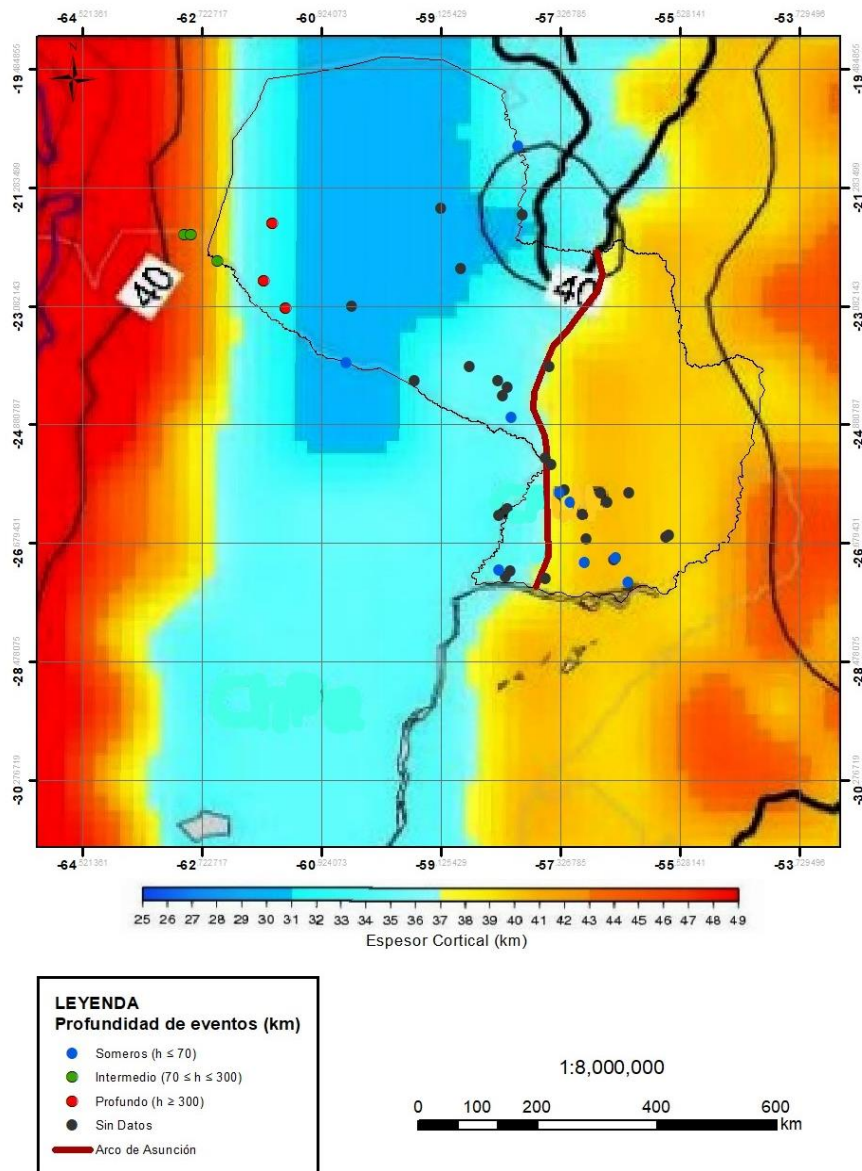


Figura 6. Epicentros en relación a su profundidad en las cuencas del Paraguay.

Fuente: Elaboración propia. Modificado de Rosa, M. L. *et al.* 2016.

En la figura 6 se puede observar el despliegue de epicentros profundos y someros en el extremo Oeste (círculos rojos y verdes), y someros dispersos de forma aleatoria en todo el país con mayor frecuencia en la Región Oriental (círculos azules).

4.3. Fenómeno de “*Earthquake boom*” en Paraguay

En el Paraguay existen reportes de fenómenos sonoros al momento de percibir un temblor (*earthquake boom*), así como lo había mencionado Harrington (1950), “En la noche del 24 de diciembre de 1944, un sismo bastante notable se sintió todo a lo largo de la depresión de Ypacarai, desde San Bernardino a Paraguairí. El sacudimiento fue bastante como para que muchas personas se alarmaran y abandonaran sus casas, y se oyeron, al mismo tiempo, fuertes ruidos parecidos a truenos lejanos. Este hecho prueba que el sismo fue realmente local, pues de otro modo no se hubieran escuchado Brontides, lo que a su vez indica que las fallas principales están aún activas en la zona”.

El 21 de junio de 2009 ocurrió un sismo de magnitud 2.8 en la ciudad de Pilar del Departamento de Ñeembucú, los habitantes percibieron el temblor y añadieron al relato: “Escuchamos una fuerte explosión, parecía un cañonazo”. (Diario Digital Última Hora).

El sismo de magnitud 3.8 producido el día miércoles 17 de junio de 2015 en el Departamento de Guairá, entre la cordillera del Ybyturuzú y el distrito de Ñumí, a la par de apreciar el temblor (Figura 7), los pobladores de la zona percibieron un estruendo característico. (Diario Digital ABC Color).

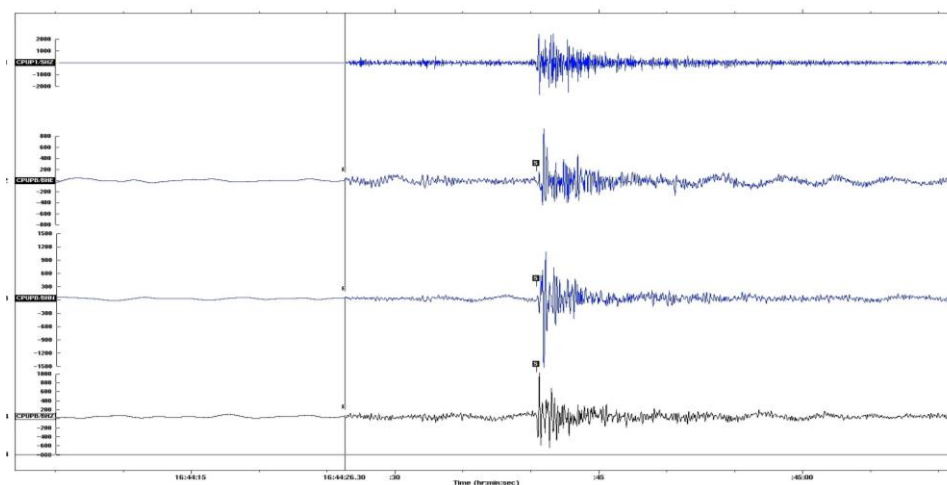


Figura 7. Sismograma del evento del 17 de junio de 2015.

Fuente: Laboratorio de Sismología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Otro evento similar se dio el 15 de octubre de 2017, un sismo de magnitud 3.0 en la zona de General Díaz en el Departamento de Ñeembucú, los habitantes percibieron el brontide, algunos describieron como un gran trueno parecido al inicio de una tormenta, mientras que otros hacían alusión al ruido semejante al paso de un camión. (Diario Digital ABC Color).

“Este ruido es un fenómeno común percibido por las personas en terremotos de baja magnitud y a profundidades someras, en contexto de zonas de intraplaca. Son condiciones para que ciertas frecuencias generadas durante la ruptura se transmitan del suelo al aire en el rango audible para el ser humano (20 Hz a 50 Hz) en zonas cercanas al epicentro (~50km)” (Bettucci *et al.*, 2016).

4.4. Reflejos distantes

Según Assumpção (2008), las ciudades como São Paulo, Manaus, Brasilia y Curitiba, son participe de temblores con focos distantes, las regiones sísmicas que provocan con más frecuencia este fenómeno son: Jujuy, Santiago del Estero, San Juan, en la Argentina; área costera y centro de Perú; área costera de Chile; y región sureste de Bolivia. El 80% de todos los eventos percibidos fueron de profundidades mayores a 100 km. Esto se debe a que dichas ciudades están sobre una cuenca sedimentaria, o sea, una región menos consolidada y las ondas son amplificadas al ingresar a la cuenca y transmitirse a través de material inconsolidado; a excepción de Brasilia que se sitúa sobre metasedimentos.

En Paraguay también se perciben sismos como reflejos distantes, especialmente en la ciudad de Asunción, que se funda sobre material sedimentario de la Formación Patiño; en sectores con presencia de cuellos volcánicos y diques, y sedimentos inconsolidados del Cuaternario (Ricommini *et al.*, 2001).

Debido a la configuración geológica de Asunción, las ondas sísmicas se amplifican durante su paso por el material blando y los edificios de Asunción se

comportan de modo pendular, donde los sismos usualmente son sentidos con mayor fuerza en los pisos superiores.

Los sismos en regiones como Santiago del Estero, Jujuy, Catamarca, Salta, en la Argentina; área costera de Bio Bio e Illapel en Chile fueron sentidos en el país (Tabla 2), y dieron motivo a evacuaciones en algunos edificios de la ciudad de Asunción.

Es destacable que los sismos foráneos fueron al menos de M 5.9 y que en el futuro seguirán observándose.

La distribución de los daños a consecuencia de un sismo está influenciada por las modificaciones de las señales sísmicas, que éstas a su vez dependen de la geología y topografía del terreno, y consiste en la amplificación de dicha señal, a todo el conjunto de variables mencionadas se lo denomina efecto de sitio (Tsige, 2006).

Un aspecto importante es el fenómeno de resonancia, entre la vibración de los suelos y el edificio. Cada objeto (inclusive edificios) tiene un periodo de tiempo de oscilación natural. Cuando una onda sísmica generada en un terremoto (que también tiene una oscilación característica) alcanza la base de un predio, puede coincidir con su oscilación natural. En esos casos, surge un fenómeno denominado resonancia, en el cual ocurre transferencia de energía de un sistema oscilante a otro (Assumpção, 2008).

Tabla 2 Lista de epicentros extranjeros sentidos en Paraguay.

Nº	Fecha	Latitud	Longitud	Prof. (Km)	M (origen)	I. en Py.
1 ¹	15/1/1944	-31.372	-68.436	15	7	IV-V
2 ²	7/9/2004	-28.58	-65.83	22.3	6.4	II
3 ²	21/3/2005	-24.68	-63.43	557.8	6.9	II
4 ²	21/3/2005	-24.93	-63.36	561.6	6.4	II
5 ²	12/11/2006	-26.07	-63.29	572	6.8	II
6 ²	27/2/2010	-36.28	-73.238	30.1	8.8	I
7 ²	2/9/2011	-28.39	-63.029	578.9	6.7	III
8 ²	6/10/2011	-24.18	-64.25	15	5.9	III-IV
9 ²	28/5/2012	-28.06	-63.077	586.9	6.7	III
10 ²	16/9/2015	-31.57	-71.654	25	8.3	II-III
11 ²	17/10/2015	-25.40	-64.437	8.2	5.9	II

Fuente: U.S.G.S¹ Estación Sismológica CPUP².

Existe un reporte de un temblor producto de un evento regional que se sintió en el departamento de Ñeembucú (General Díaz), a consecuencia del sismo de 1944 de magnitud local 7 en San Juan, Argentina. Este suceso, a diferencia de aquellos sismos foráneos sentidos en los edificios de Asunción, representa el único percibido no en la ciudad capital y en superficie terrestre. Esto no significa que en otros lugares no se hayan sentido, sólo que no existen reportes.

“Marcial Brull recordó que en aquel tiempo su familia tenía un almacén y las botellas caían de la estantería por la intensidad de la vibración” (Diario Digital ABC Color).

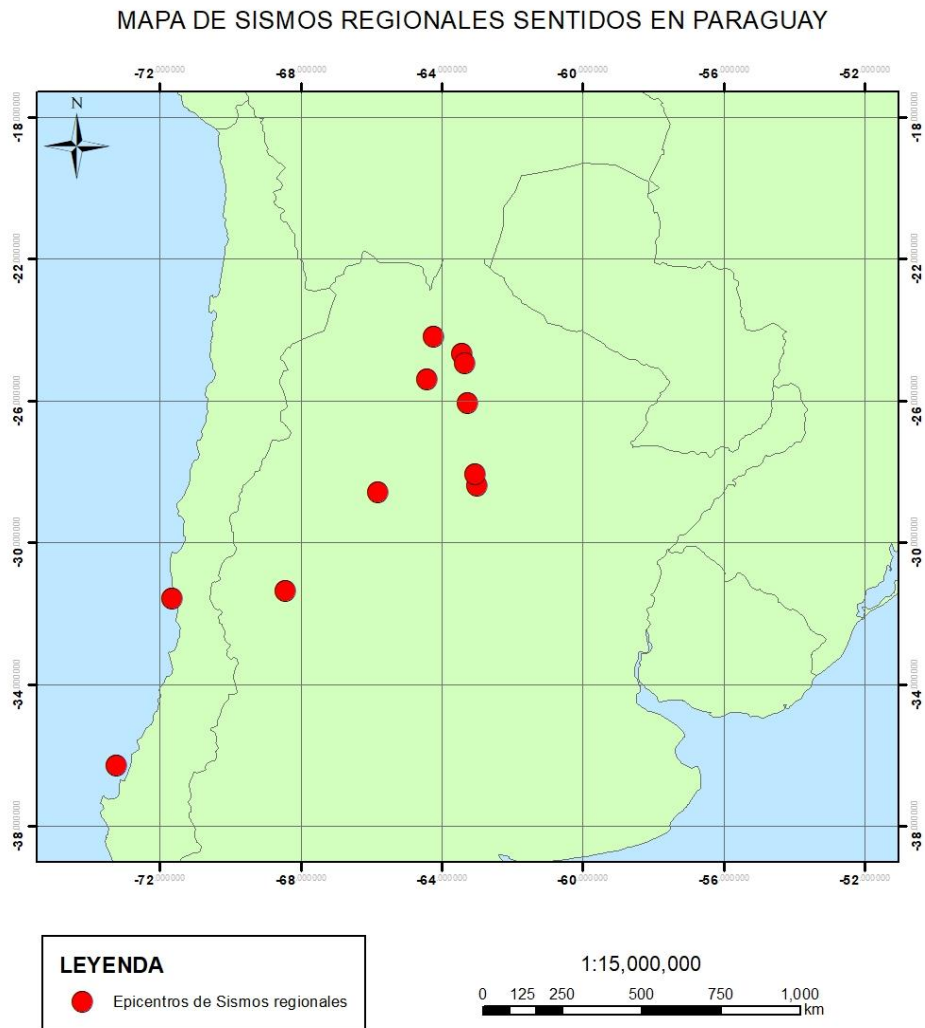


Figura 8. Sismicidad Regional percibida en Paraguay.
Fuente: Elaboración propia.

4.5. Riesgo Sísmico

En Paraguay aún no se han realizados estudios referente a riesgo sísmico. No obstante, el Servicio Geológico de los Estados Unidos elaboró un mapa de peligrosidad del continente Sudamericano (Figura 9), en el que se puede apreciar al territorio nacional con una baja peligrosidad.

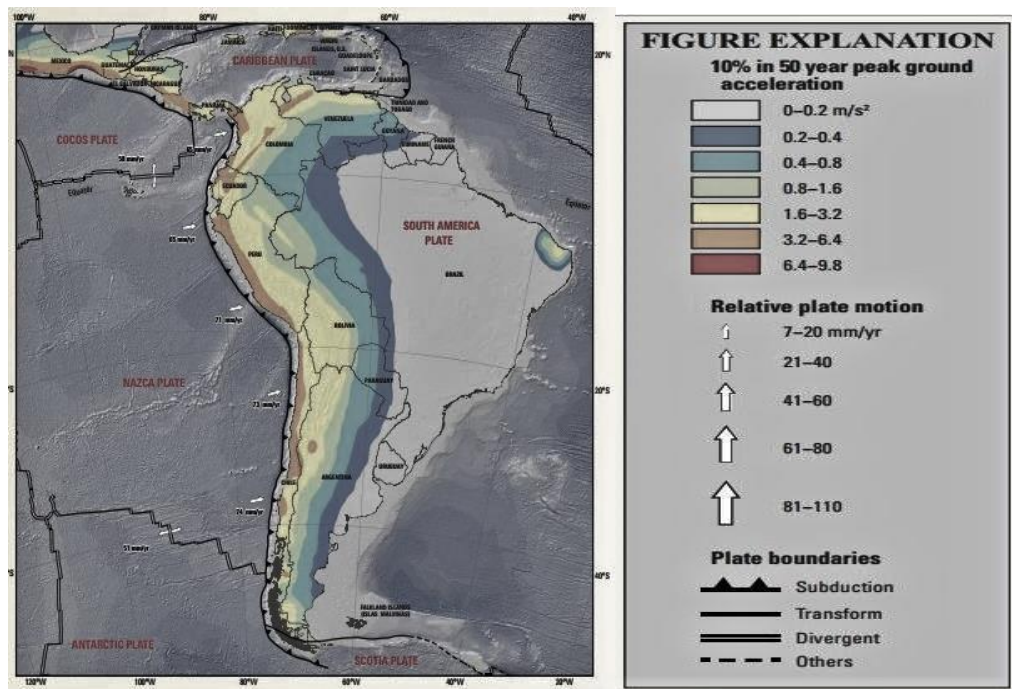


Figura 9. Mapa de peligrosidad sísmica de Sudamérica.

Fuente: U.S.G.S.

Según observaciones en las últimas décadas, no es posible descartar la existencia de riesgo sísmico en Paraguay. Los sismos autóctonos, según reportes periodísticos y anécdotas de ciudadanos, se ha constatado daños materiales producto de eventos sísmicos. Por citar como ejemplo, el evento del 8 de abril de 1982, causó grietas en las paredes, caídas de objetos, apagones, y susto generalizado.

De los eventos ocurridos, los más resaltantes podrían ser: El sismo de magnitud 6.2 en el origen del 06 de octubre de 2011, con epicentro en la Provincia de Jujuy, Argentina (Estación sismológica CPUP). “En un consultorio de Asunción se cayeron tres piezas de cielo raso y dejó una grieta de dos metros y medio” (Diario Digital Última Hora).

Otro evento es el de magnitud 8.3 en el origen del 16 de setiembre de 2015, con epicentro al Oeste de Illapel, Chile (Estación sismológica CPUP). “Se produjeron fisuras en una escalera de emergencia en un edificio corporativo de Asunción (Citicenter) que tuvieron que ser evacuados (Figura 10), este evento se

manifestó con una intensidad de 2.5 en la escala de Mercalli” (Diario Digital Última Hora).



Figura 10. Fisura en la estructura del edificio a consecuencia del evento Chileno.
Fuente: Diario Digital Última Hora.

El riesgo sísmico en Paraguay proviene de los sismos locales y extranjeros. Hasta el tiempo presente no se han reportado pérdidas humanas. Sin embargo, en varios eventos aislados se observaron daños en estructuras edilicias y susto en las personas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el Paraguay existen sismos naturales producidos por dos fuentes distintas: Una por el proceso de subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana, que generan sismos intermedios y profundos localizados en la porción Occidental del territorio, y otra regida por las estructuras presentes en la Región Oriental del Paraguay que dan lugar a eventos de profundidad somera.

Además de los epicentros registrados en el país también existen temblores percibidos en algunos edificios de Asunción a consecuencia de eventos cuyo origen no se dan en el territorio, sino en regiones vecinas. Estos eventos se manifiestan en conformidad a los efectos de sitio en la ciudad.

El peligro sísmico en el Paraguay es bajo, sin embargo, no se puede descartar totalmente. Se han verificado daños leves en edificios y viviendas como hechos puntuales. No será de extrañar si en el futuro ocurren sismos que causen daños menores y pánico en la población.

5.2. Recomendaciones

Considerar la instalación de un sistema de monitoreo sismológico nacional a los efectos de un mejor estudio y análisis de la sismicidad del Paraguay en todos sus aspectos.

Con respecto a la vulnerabilidad sísmica, específicamente en la ciudad de Asunción, son de suma importancia los estudios de efectos de sitio para comprender las respuestas de los edificios ante los eventos sísmicos.

Informar a las unidades académicas nacionales de enseñanza de ingeniería civil y construcciones acerca del riesgo sísmico en Paraguay y sus posibles consecuencias.

Elaborar un mapa de riesgo sísmico nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSUMPÇÃO. M. 2008. Reflexos no Brasil de terremotos distantes. *Ciência hoje*, São Paulo. Brasil. 21-25p.

BARROS, L. et al 2000. Seismological Observatory, University of Brasilia, Brazil. 1312-1315p.

BERROCAL, J. & FERNANDES, C. 1996. Sismicidad en Paraguay y regiones vecinas. Edusp/Fapesp, São Paulo. Brasil. 57-66p.

BETUCCI *et al.* 2016. Informe del evento de 24 de noviembre de 2016, Observatorio Geofísico de Uruguay. Las piedras. Uruguay. 18p.

CASTILLO CLERICI. A.M. 1986. Reavaliação da Geologia do Paraguay Oriental. Tesis Dr. São Paulo, Universidad De São Paulo, Brasil. 141p.

DIARIO DIGITAL ÚLTIMA HORA, Ed. El país S.A. 22 de junio de 2009.
<http://www.ultimahora.com/el-fuerte-temblor-pilar-la-noche-del-domingo-solo-dejo-susto-n232030.html>

DIARIO DIGITAL ÚLTIMA HORA, Ed. El país S.A. 07 de octubre de 2011.
<http://www.ultimahora.com/asuncion-temblo-unos-segundos-causa-sismo-argentina-n469840.html>

DIARIO DIGITAL ABC COLOR, Ed. Azeta S.A. 16 de octubre de 2017.
<http://www.abc.com.py/nacionales/temblor-fue-autoctono-segun-expertos-1641127.html>

DIARIO DIGITAL ÚLTIMA HORA, Ed. El país S.A. 16 de septiembre de 2015.
<http://www.ultimahora.com/sismo-chile-hace-vibrar-edificios-asuncion-evacuaron-el-citicenter-n931044.html>

GEOLOGÍA DEL PARAGUAY. www.geologiadelparaguay.com.py [en línea].
Última actualización: 28 Marzo 2018.

GÓMEZ, D. 1986. Contribución al conocimiento del Chaco paraguayo. 24p.

HARRINGTON, H. J.; 1950. Geología del Paraguay Oriental. Buenos Aires.
Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. 82p.

HAYES, G.P., SMOZYK, G.M., BENZ, H.M., VILLASEÑOR, ANTONIO, AND FURLONG, K.P., 2015, Seismicity of the Earth 1900–2013, Seismotectonics of South America (Nazca Plate Region): U.S. Geological Survey.

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA. 2017. San Juan, Argentina. 123p.

KULÁNEK, O. 1990. Anatomy of seismograms. Seimological Section, University of Uppsala, Uppsala, Sweden. 177p.

PINEDA, E. B.; DE ALVARADO, E. L.; De Canales, F. H. 1994 Metodología de la investigación. 2da ed. Washington D.C. 225p.

- RICCOMINI C., VELÁZQUEZ F.V., GOMES C.B., 2001, Cenozoic Lithospheric Faulting in the Asunción Rift, *Journal of South America Earth Sciences*, 14 (2001), 625 – 630.
- ROSA, M.; COLLAÇO, B.; ASSUMPCÃO, M.; SABBIONE, NORA C. 2016. Tomografía sísmica de la cuenca Chaco-Paraná mediante ondas superficiales. *Geoacta* 40. 1-10p
- ROSSELLO *et al.* 2006. La Dorsal Asunción–Rio Grande. *Revista Brasileira de Geociencias*. 535-549p.
- TARBUCK, E. J.; LUTGENS, F. K., Y TASA, D. 2005. *Ciencias de la tierra*. 8va ed. Madrid. Pearson Educación S. A. 736p.
- TOSI. P. 2012. Earthquake sound perception. Instituto de Geofísica y vulcanología. Roma, Italia. 5p.
- TSIGE, M. GARCÍA FLÓREZ, I. 2006. Propuesta de clasificación geotécnica del “Efecto Sitio” (Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la Región de Murcia. Universidad Complutense de Madrid. España. *Geogaceta* 39-42p.
- VEROSLAVSKY, G.; UBILLA, M.; MARTÍNEZ, S. 2006. Cuencas sedimentarias de Uruguay. Edición D.I.R.A.C. (División Relaciones y Actividades Culturales de Facultad de Ciencias). Montevideo. Uruguay. 326p.
- WIENS, F. 2002. Síntesis del potencial hidrocarburo del Paraguay. Asunción. Paraguay. 7p.