

Las Zonas Sísmicas en Paraguay

The Seismic Zones in Paraguay

Rafael Fugarazzo^{1,3}, Moisés Gadea^{1,4}, Maximiliano Caballero^{1,5}, Marcelo Souza de Assumpção^{2,6} & Vincent Figueres^{1,7}

¹Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Sismología.

²Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas.

³<https://orcid.org/0000-0002-0298-2613> - Email: rfugarazzo@facen.una.py; ⁴<https://orcid.org/0000-0002-4628-5668>;

⁵<https://orcid.org/0000-0002-5951-2997>; ⁶<https://orcid.org/0000-0003-0378-8406>; ⁷<https://orcid.org/0000-0002-1308-6267>

Resumen: Habiendo recurrido a una revisión de catálogos de eventos sísmicos históricos y recientes, publicados por instituciones de monitoreo regionales de Argentina, Bolivia, Brasil y los registros de la Estación Sismológica de FaCEN – UNA (CPUP) de aquellos sismos con epicentros dentro del territorio paraguayo, se reporta un inventario de sismos ocurridos en Paraguay y se proponen sus zonas sísmicas.

Palabras Clave: Sismos, Paraguay, Intraplaca, Subducción.

Abstract: Having checked catalogs of historical and recent seismic events, posted by regional monitoring stations of Argentina, Bolivia, Brazil and the seismic records of the Seismological Station at FaCEN – UNA (CPUP) of those earthquakes with epicenters in the Paraguayan territory, an inventory of earthquakes occurred in Paraguay is reported and its seismic zones are proposed.

Key Words: Earthquakes, Paraguay, Intraplate, Subduction.

Introducción

Paraguay se localiza entre los paralelos 19° y 27.7° Sur; y los meridianos 54° y 63° Oeste en el subcontinente Sudamérica, rodeado por Argentina, Bolivia y Brasil; en el centro de la Placa Sudamericana, en los márgenes nororientales de la cuenca del Chaco y suroccidentales de la cuenca del Paraná (Figura 1).

Algunos Antecedentes

Según Rengger (2010), en Paraguay los temblores son muy raros, y en caso de ocurrir, se sienten apenas. Harrington (1950), realizó consideraciones a partir de un evento percibido por la población el día 24 de diciembre de 1944 en el contexto del valle de Ypacaraí: *la sacudida fue lo suficientemente intensa para alarmar a la gente (...) y se escucharon como relámpagos distantes (brontides), lo cual prueba que el sismo fue local y que las fracturas principales aún siguen activas en la zona.*

En la bibliografía antigua se comprueba que las primeras mediciones refinadas de sismos paraguayos fueron llevadas a cabo por Assumpção & Suarez (1988), con el objeto de medir el mecanismo focal

del sismo ocurrido el 8 de abril de 1982 en el bajo Chaco. En un trabajo posterior, Assumpção (1992) determina el mecanismo focal para otro evento chaqueño acaecido el 12 de abril de 1985.

Veloso et al. (1994) realizan una evaluación de la sismicidad del Paraguay. Este se constituye en el primer trabajo de investigación de la situación sismológica propiamente de Paraguay.

La publicación de Berrocal & Fernandes (1996) se destaca como uno de los de mayor relevancia en relación a la sismología del Paraguay y sus regiones vecinas. En dicho trabajo también se proponen posibles fuentes sismogénicas y se caracterizan eventos en función de sus profundidades.

Con datos de primera mano del Observatorio Sismológico de la Universidad de Brasilia (OSB) en complemento con algunos pocos registros del catálogo de la USGS, Barros et al. (2001) realizan un historial de los sismos ocurridos en Paraguay.

La siguiente actualización del catálogo sismológico del Paraguay se presenta en el Congreso del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), en Lima – Perú, y en donde

Recibido: 27/11/2019 Aceptado: 26/03/2021



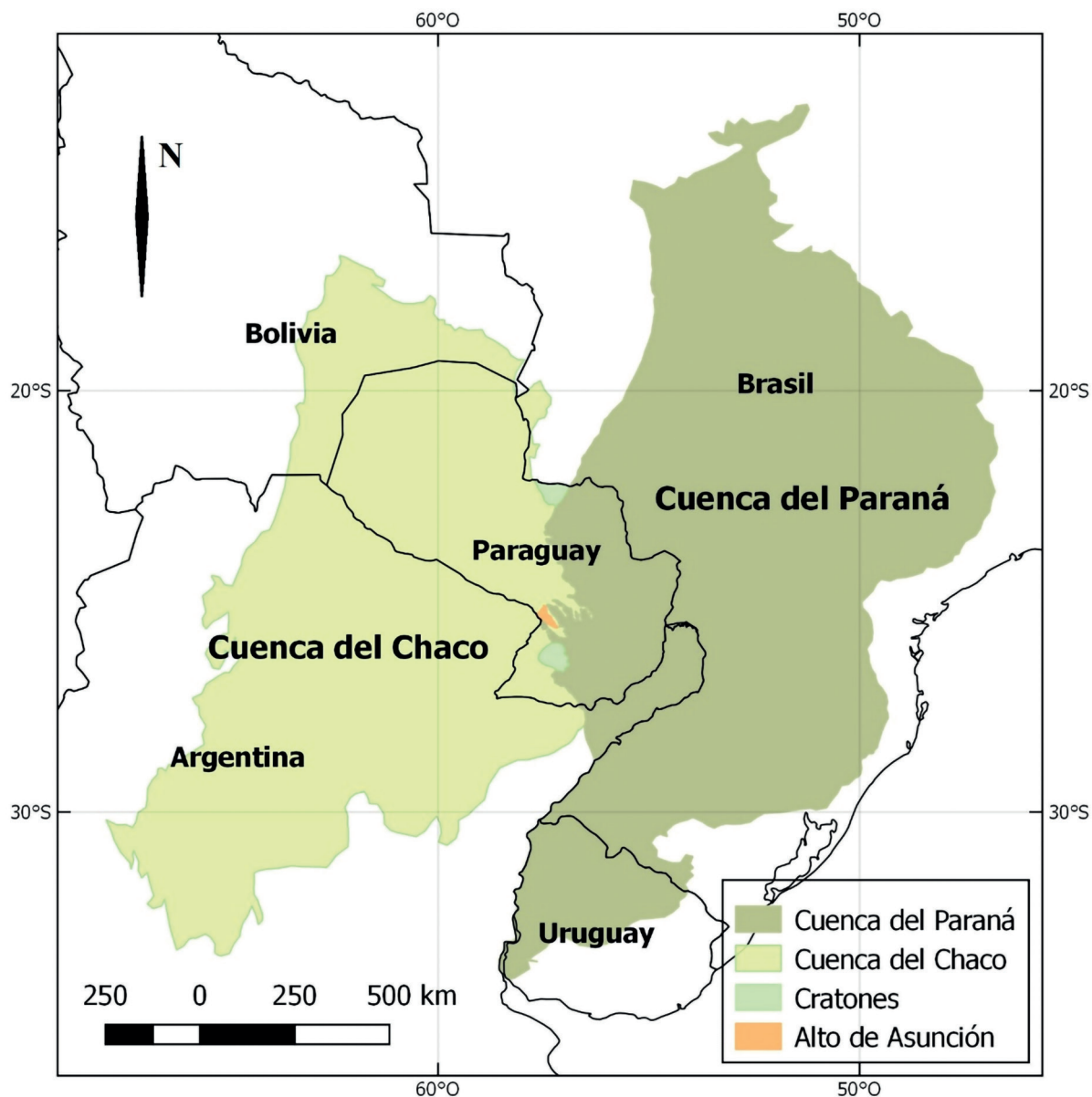


Figura 1. Paraguay en el entorno geográfico Sudamericano.

Velázquez et al. (2009) realizan un recuento de las actividades que hacen al desarrollo de la sismología en Paraguay.

El último y reciente inventario fue elaborado por Caballero (2018), en su tesis para obtención de Grado – Mención Geología: “Sismicidad del Paraguay”, en la Universidad Nacional de Asunción. En dicho trabajo, agregado al catálogo actualizado, se

mencionan y destacan diversos aspectos sismológicos observados y reportados en Paraguay.

Estaciones de Monitoreo Sísmico en Paraguay Red Sismográfica Binacional ITAIPU (ISN)

Implementada en 1980 con una estación, la red de ITAIPU se compone actualmente por seis estaciones remotas, tres de las cuales se localizan en el

territorio brasileño y tres en el paraguay. Una red telemétrica envía datos a un laboratorio central, ubicado en el dique de la represa en la cota 214.

Estación Sismológica CPUP

Perteneciente a Global Seismograph Network (GSN) envía datos en tiempo real desde el 4 de agosto de 1994. Los sismómetros se encuentran en el distrito de Montiel Potrero de Caapucú, al suroeste del departamento de Paraguarí; por tal motivo fue designado el código con el acrónimo CPUP para esta estación, abreviando de: Caapucú – Paraguay.

Los datos son registrados por los sismómetros e inmediatamente digitalizados y enviados vía satélite al laboratorio de sismología, localizado en el predio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción; y luego, por el mismo método telemétrico, los datos son redirigidos a los cuarteles de la fuerza aérea (AFTAC) de los EE.UU. y a la sede de CTBTO en Viena.

CTBTO opera como un organismo internacional, cuyo interés radica en la adherencia de los países al Tratado de la Prohibición Completa de Ensayos Nucleares. Dicha entidad dispone de recursos tecnológicos capaces de monitorear pruebas de armas nucleares en cualquier geografía del globo terrestre, así como promueve el desuso de este tipo armas. Paraguay ha firmado y ratificado dicho Tratado en 1996 y el 2001 respectivamente.

El laboratorio de sismología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales sigue en plena vigencia, y los trabajos operativos de procesamiento de datos y mantenimientos son llevados a cabo por técnicos paraguayos en conjunto con los norteamericanos. Asimismo, se analizan datos sísmicos crudos para determinar algunos parámetros fundamentales de los eventos autóctonos, y que con cierta frecuencia afectan a la población civil en Paraguay.

Sismología

¿Sismo o Terremoto?

Etimológicamente, del griego, sismo significa “temblor”; y terremoto “movimiento de suelo”. Estrictamente son sinónimos, y se diferencian en

el uso en base a los efectos del evento: sismo se refiere a aquellas sacudidas que causan susto, sin ocasionar daños mayores; y terremoto para aquellos ajetreos violentos que de alguna forma han tenido incidencia social, incluso pérdidas humanas y/o daños edificios severos.

Según ciertas agencias, sismo es cualquier evento entre el rango de Magnitud del 1 al 6, y terremoto aquel evento que supera el valor de 6 (Sánchez, 2016. Comunicación personal); aunque en EE.UU. a todos los eventos sin distinción se los denomina comúnmente “*earthquake*”.

Consideraciones Preliminares

Los sismos sentidos en Paraguay son de dos tipos naturales: los autóctonos (o locales) y los alóctonos. Los sismos autóctonos son aquellos cuyos epicentros se localizan dentro del territorio paraguay. Los alóctonos son eventos percibidos por la población y que ocurren en países regionales como ser Argentina y Chile (Caballero, 2018). Si las sacudidas regionales conllevan suficiente energía son percibidas en Paraguay. De este último tipo de eventos no se consideran los detalles en el presente trabajo.

También se ha verificado en los sismogramas una infinidad de señales de eventos que no fueron reportados por la población. Son los pequeños sismos (<2 de Magnitud Richter), solamente comprobables por medio de los sismómetros, y de los cuales es posible extraer información acerca de la tectónica local. Este tipo de sismos son conocidos como los instrumentales (Kulháněk, 1990), que merece un desarrollo investigativo de carácter propio, por lo cual no ha sido incluido en este escrito. Se ha calculado la ocurrencia de los sismos instrumentales como de 600.000 veces por año en todo el mundo (Tarbuck & Ludgens, 2005).

Naturaleza de los Sismos en Paraguay

Se proponen dos fuentes sismogénicas en Paraguay: una relacionada con la subducción de la Placa de Nazca, cuyos eventos se destacan por sus magnitudes moderadas y de hipocentros profundos, preferentemente en el margen chaqueño. La otra

se asocia a sismos de bajas magnitudes y profundidades focales someras, por la tectónica activa local, especialmente en el escenario de la cuenca del Paraná (Berrocal & Fernandes, 1996) y algunos antrópicos del tipo explosiones de canteras.

Sismos Inter/Intraplacas

Los sismos pueden clasificarse por su distribución geográfica en relación a los bordes de placas tectónicas. Aquellos interplacas usualmente se manifiestan por rozamiento en los bordes de placas, y los intraplacas en lugares alejados de dichos bordes (Kulhánek, 1990). Los sismos autóctonos del Paraguay son todos del tipo intraplaca.

Existen varias hipótesis que intentan explicar las causas de los sismos intraplacas. La de mayor aceptación es aquella que propone el sismólogo norteamericano Sykes (1978. En França & Assumpção, 2008), cuando afirma que donde existe actividad sísmica es una zona débil, y cualquier cambio de esfuerzo local originaría un sismo. Otra hipótesis explica que la sismicidad intraplaca ocurre en regiones de concentración de esfuerzos (Talwani, 2014). Muchas veces la conjunción de estos factores (concentración de esfuerzos y zonas de debilidad) ocurren en una misma zona sísmica.

Assumpção et al. (2004) han reconocido por medio de tomografías sísmicas zonas en el entorno intraplaca, donde la concentración de epicentros aumenta en zonas donde la litósfera presenta menor espesor y los módulos de las velocidades de las ondas P son menores. Según ese modelo, el calor de la astenósfera aumenta la temperatura en la parte mantélica de la litósfera haciéndola más dúctil. Esto genera una concentración de esfuerzos en la corteza superior, más rígida, generando así zonas de propensión sísmica.

Los sismos intraplaca, Teixeira et al. (2009) consideran a estos sismos como reflejos de las tensiones compresivas y extensivas de los bordes y normalmente ocurren en profundidades rasas, hasta 30/40 km con magnitudes bajas a moderadas.

Tabla 1. Clases y Tipos de Magnitudes de los Sismos (USGS, 2018; Michigan Tech, 2018; Tarbuck & Ludgens, 2005).

Magnitud (Richter)	Tipo
Iguales o Superiores a 8.0	Megaterremoto/Gran Sismo
7.0 – 7.9	Sismo Mayor
6.0 – 6.9	Sismo Fuerte
5.0 – 5.9	Sismo Moderado
4.0 – 4.9	Sismo Ligero
3.0 – 3.9	Sismo Débil
2.1 – 2.9	Microsismo
Iguales o Menores a 2.0	Instrumentales

Sismos de acuerdo a sus Magnitudes

En la Tabla 1 podemos ver la clasificación de los sismos de acuerdo a sus magnitudes.

Sismos de acuerdo a sus Profundidades

Se clasifican en tres tipos: sismos someros o superficiales (80% de la actividad sísmica), en donde los focos de sismos se producen en el rango de profundidad entre 0 y 30 Km; los intermedios, cuyas profundidades ocurren entre 30 y 300 Km; y los profundos, siendo aquellos que igualen o superen el hipocentro de 300 km (Assumpção, 2018. Comunicación personal).

Métodos

Se recurre a catálogos de entidades de monitoreo sísmico regionales para realizar un recopilado de eventos que superen o igualen a las magnitudes locales y/o regionales (ml; mR; mb) de 2, cuyos epicentros se enmarcan en la superficie de Paraguay. Así mismo, se integrarán los datos del Laboratorio de Sismología de la FaCEN – UNA a los demás eventos y se establecerá otra tabla.

Los eventos recopilados se georreferenciarán en un mapa temático. Posterior a ello, se cotejarán los epicentros con el modelo de tomografía sísmica de las ondas P y S en Paraguay y se realizarán observaciones para arribar a conclusiones acerca de su sismicidad.

Tabla 2 (inicio). Catálogo de Sismos. **Referencias:** **mb**) Magnitud de onda de cuerpo. **ml**) Magnitud local. **mbR**) Promedio de magnitud de onda de cuerpo y regional. **mr**) Magnitud regional para Brasil (Assumpção, 1983). **Fuentes:** **COPEL** (Companhia Paranaense de Energia - Brasil), **IAG** (Instituto Astronómico y Geofísico - São Paulo, Brasil), **IPT** (Instituto de Pesquisas Brasileñas), **ISC** (International Seismological Centre), **INPRES** (Instituto de Prevención Sísmica, Argentina), **ISC** (International Seismological Centre, Inglaterra), **OSC** (Observatorio San Calixto, Bolivia), **RSBRA** (Rede Sismográfica Brasileña), **UNA** (Universidad Nacional de Asunción, Paraguay), **UnB** (Universidad Nacional de Brasília), **USGS**. Servicio Geológico de los Estados Unidos, **A83** (Assumpção, 1983). A regional Magnitude scale for Brazil, BSSA, 73). **B0** (Barros *et al.*, 2001. Paraguay seismicity during 2000. SBGF 2010, Extended Abstract, Salvador, BA).

#	Año	Fecha	Hora	Lat.	Lon.	Err. (km)	Magnitud	Pf. (km.)	Región/Zona	Departam.	Fuente
1	1969	15-abr	07:11:41	-21.83°	-61.67°	20	4.0 mb	550	Mcal. Estigarríbia	Boquerón	ISC.
2	1979	16-ene	05:38:24	-24.00°	-58.70°	50	4.0 mbR	0	Bajo Chaco	P.Hayes	IAG, UnB, A83;Bo
3	1979	20-jul	07:00:37	-24.00°	-57.50°	70	3.0 mbR	0	Bajo Chaco	P. Hayes	IAG, UnB, A83;Bo
4	1980	20-nov	22:29:07	-26.25°	-58.25°	50	3.8 mbR	0	SO Alberdi	-----	UnB, A83,Bo
5	1982	8-abr	05:58:52	-24.80°	-58.10°	30	5.2 mb	12	NO B. Aceval	P. Hayes	ISC, UnB, IAG, INPRES
Sentido en Asunción. Intensidad IV - V											
6	1984	7-mar	03:18:50	-24.44°	-58.19°	?	3.3?	0	Bajo Chaco	P. Hayes	UnB
7	1985	12-abr	14:34:54	-24.04°	-60.59°	30	5.3 mb	21	NO Gral. Bruguez	-----	ISC, SJA
Sentido en Asunción.											
8	1985	26-oct	14:55:15	-24.21°	-59.52°	20	3.3 mbR	0	Estero Patiño	P. Hayes	UnB
9	1986	11-dic	05:27:10	-25.39°	-57.56°	100	2.8 mbR	0	Itauguá	Central	UnB, Bo
10	1988	7-jun	06:33:14	-24.32°	-58.12°	100	3.0 mbR	0	Bajo Chaco	P.Hayes	UnB, IAG
11	1988	24-jun	10:01:44	-20.66°	-57.97°	?	3.9?	?	Fuerte Olimpo	A. Parag.	USGS, UnB, IAG
12	1988	15-oct	07:18:57	-22.52°	-58.82°	100	2.6 mbR	0	P.J.Caballero	Amambay	UnB, Bo
13	1988	17-oct	06:27:47	-23.10°	-60.50°	300	2.8 mbR	0	Fuerte Olimpo	A.Parag.	UnB, Bo
14	1988	17-oct	07:51:28	-21.60°	-59.12°	300	3.9 mbR	0	NO C. Peralta	A.Parag.	UnB, Bo
15	1989	28-feb	13:01:56	-23.09°	-61.44°	30	5.6 mb	547	Pilcomayo Norte	Boquerón	USGS, IAG, UnB
Sentido en Asunción											
16	1989	21-sep	02:59:19	-26.59°	-55.74°	100	2.7 mbR	0	NE Alto Verá	Itapua	UnB, Bo
17	1989	21-oct	02:58:55	-26.55°	-55.70°	30	2.8 mbR	0	Cord. S. Rafael	Itapua	UnB, IAG

Tabla 2 (continuación). Catálogo de Sismos. **Referencias:** **mb** Magnitud de onda de cuerpo. **ml** Magnitud local. **mbr** Promedio de magnitud de onda de cuerpo y regional. **mR** Magnitud regional para Brasil (Assumpção, 1983). **Fuentes:** **COPEL** (Compañía Paranaense de Energía - Brasil), **IAG** (Instituto Astronómico y Geofísico - São Paulo, Brasil), **IPT** (Instituto de Pesquisas Brasileñas), **ISC** (International Seismological Centre), **INPRES** (Instituto de Prevenção Sísmica, Argentina), **ISC** (International Seismological Centre, Inglaterra), **OSC** (Observatorio San Calixto, Bolivia), **RSBRA** (Rede Sismográfica Brasileira), **UNA** (Universidad Nacional de Asunción, Paraguay), **UnB** (Universidad Nacional de Brasilia), **USGS**. Servicio Geológico de los Estados Unidos, **A83** (Assumpção, 1983. A regional Magnitude scale for Brazil, BSSA, 73). **B0** (Barros *et al.*, 2001. Paraguay seismicity during 2000. SBGF 2010, Extended Abstract, Salvador, BA).

#	Año	Fecha	Hora	Lat.	Lon.	Err. (km)	Magnitud	Pf. (km.)	Región/Zona	Departam.	Fuente
18	1990	20-sep	20:54:27	-26.61°	-56.94°	100	2.8 mbr	0	SE. S. Miguel	Misiones	UnB, Bo
19	1990	13-nov	08:42:41	-25.48°	-57.47°	100	2.9 mbr	0	Guarambaré	Central	UnB, Bo
20	1994	9-feb	12:15:38	-22.76°	-56.71°	90	3.0 mbr	0	Yby Yajú	Concepción	IPT, UnB, COPEL, IAG
21	1994	6-abr	20:41:17	-25.51°	-56.10°	50	2.1 mbr	0	Caaguazú	Caaguazú	UnB
22	1994	19-abr	15:00:36	-25.60°	-56.05°	50	2.3 mbr	0	Repatriación	Caaguazú	UnB
23	1995	4-oct	18:43:12	-26.06°	-56.62°	100	3.4 mbr	0	Iturbe	Guairá	UnB, Bo
24	1996	27-jul	23:34:37	-23.88°	-57.02°	50	3.0 mbr	0	S. Pedro	S. Pedro	IPT, COPEL
25	1998	6-may	04:27:41	-26.24°	-57.00°	50	2.6 mb	0	Quyquyho	Paraguari	UnB
26	2000	28-abr	03:15:00	-26.83°	-56.35°	50	3.9 mbr	0	S. Pedro del Paraná	Itapua	UnB,UNA,INPRES, Bo
Sentido en San Pedro del Paraná y alrededores											
27	2000	1-dic	00:28:42	-26.93°	-56.53°	50	2.5 mbr	0	SO S.P. del Paraná	Itapua	UnB, Bo
28	2000	18-dic	01:31:40	-27.22°	-57.55°	50	2.8 mbr	0	Laureles	Ñeembucú	UnB, Bo
29	2000	21-dic	04:43:34	-26.15°	-58.12°	50	2.8 mbr	0	NO Alberdi	-----	UnB, Bo
30	2005	1-mar	16:11:31	-26.57°	-57.13°	50	3.5 ml est.	0	San Miguel	Misiones	UNA, IAG, IPT
Sentido en Villa Florida, San Miguel, Caapucú y alrededores.											
31	2005	20-ago	11:07:00	-25.90°	-56.73°	20	2.7 ml	0	SE La Colmena	Paraguari	UNA
Sentido en La Colmen, Ybycui y alrededores.											
32	2009	21-jun	23:11:00	-27.10°	-58.08°	20	2.8 ml	0	Desmochados	Ñeembucú	UNA

Sentido en Pilar.

Tabla 2 (final). Catálogo de Sismos. **Referencias:** **mb** Magnitud de onda de cuerpo. **ml** Magnitud local. **mbr** Promedio de magnitud de onda de cuerpo y regional. **mR** Magnitud regional para Brasil (Assumpção, 1983). **Fuentes:** **COPPEL** (Companhia Paranaense de Energia - Brasil), **IAG** (Instituto Astronómico y Geofísico - São Paulo, Brasil), **IPT** (Instituto de Pesquisas Brasileñas), **ISC** (International Seismological Centre), **INPRES** (Instituto de Prevención Sísmica, Argentina), **ISC** (International Seismological Centre, Inglaterra), **OSC** (Observatorio San Calixto, Bolivia), **RSBRA** (Rede Sismográfica Brasileira), **UNA** (Universidad Nacional de Asunción, Paraguay), **UnB** (Universidad Nacional de Brasília), **USGS**. Servicio Geológico de los Estados Unidos, **A83** (Assumpção, 1983. A regional Magnitude scale for Brazil, BSSA, 73). **B0** (Barros *et al.*, 2001. Paraguay seismicity during 2000. SBGF 2010, Extended Abstract, Salvador, BA).

#	Año	Fecha	Hora	Lat.	Lon.	Err. (km)	Magnitud	Pf. (km.)	Región/Zona	Departam.	Fuente
33	2009	10-nov	17:40:52	-27.27°	-56.31°	20	3.5 ml	15	Ayolas	Misiones	UNA, INPRES
Sentido en Ayolas e Ytuzaingó, Argentina.											
34	2009	29-nov	22:05:15	-26.46°	-57.66°	30	4.0 ml	32	NE Ciervo Blanco	Ñeembucú	UNA, INPRES
35	2010	10-dic	13:44:38	-20.69°	-59.37°	30	3.9 mb	0	SE Madrejón	A Paraguay	IDC, ISC
36	2011	28-feb	14:05:30	-20.66°	-61.90°	30	3.9 ml	0	NO Tte. Enciso	Boquerón	UNA, OSC
37	2013	25-oct	12:01:14	-25.97°	-57.36°	20	3.3 mbR	10	Zona Lago Ypoá	Paraguari	UNA, IAG, INPRES
Sentido en Quindy, Carapeguá, Roque González y alrededores.											
38	2015	17-jun	16:44:07	-25.98°	-56.28°	10	3.2 mbR	0	Caazapá	Caazapá	UNA, IAG
39	2015	14-dic	07:19:55	-26.04°	-57.10°	10	2.7 mbR	0	Ybycuí	Paraguari	UNA, IAG, RSBRA
Sentido en Ybycuí y Quindy.											
40	2016	25-mar	19:35:40	-26.52°	-57.84°	20	2.5 ml	21	SO Ciervo Blanco	Ñeembucú	UNA, INPRES
41	2017	27-feb	07:05:40	-26.93°	-56.79°	10	3.5 mbR	15	SE San Ignacio	Misiones	UNA, IAG, INPRES
42	2017	15-oct	06:00:42	-27.09°	-58.24°	20	2.9 mbR	15	General Díaz	Ñeembucú	UNA, IAG.
Sentido en General Díaz											
43	2018	17-jun	00:55:10	-27.19°	-58.15°	20	2.3 mbR	0	SE May. Martínez	Ñeembucú	UNA, IAG
Sentido en General Díaz											
44	2018	14-sep	13:58:30	-25.89°	-56.99°	30	2.8 mbR	0	NE Ybycuí	Paraguari	UNA, IAG
45	2018	28-sep	01:41:51	-25.92°	-56.98°	20	2.3 ml	0	NE Ybycuí	Paraguari	UNA, IAG
Sentido en Ybycuí											

Resultados y discusión

Sismicidad del Paraguay en sus principales cuencas.

Ocurrencia

La mayor cantidad de sismos, según el catálogo actualizado (Tabla 2), se distribuyen principalmente al sur de la Región Oriental, en los márgenes occidentales de la cuenca del Paraná, y en la cuenca del río Pilcomayo en el Chaco. Existen zonas en donde no se han reportado eventos notables o de relevancia hasta el presente; a tales lugares, aquí se los denomina zonas asísmicas, como ser en la cuenca del río Paraná en su margen oeste, Amambay, Canindeyú, y al norte del Chaco (Figura 2).

Magnitud

Los sismos de mayor violencia se manifiestan en el Chaco paraguayo. Estos eventos históricos (de 1982, 1985 y 1989) fueron percibidos en Asunción y se los considera como moderados. El sismo de

1982 (mb 5.2) tal vez sea el de mayor relevancia; por su efecto notable en la ciudad capital y alrededores debido a su cercanía. En la cuenca del Paraná los eventos suelen ser de los tipos ligeros, débiles o microsismos (ver Tabla 1).

Profundidad

Según los registros, los sismos profundos se localizan preferentemente en la Región Occidental (Chaco) del Paraguay. Los eventos en la cuenca del Paraná se destacan por ser someros, y las personas en algunos casos reportan los “sonidos sísmicos” (*earthquake sound*) asociados.

Es de considerar que no todos los sismos inventariados y tabulados presentan sus datos respectivos de profundidad, por lo cual este despliegue resulta de utilidad para conocer regiones epicentrales dentro de geografía del Paraguay en relación a sus profundidades. Los eventos cuyas profundidades no fueron calculadas se los considera como sismos corticales (someros).

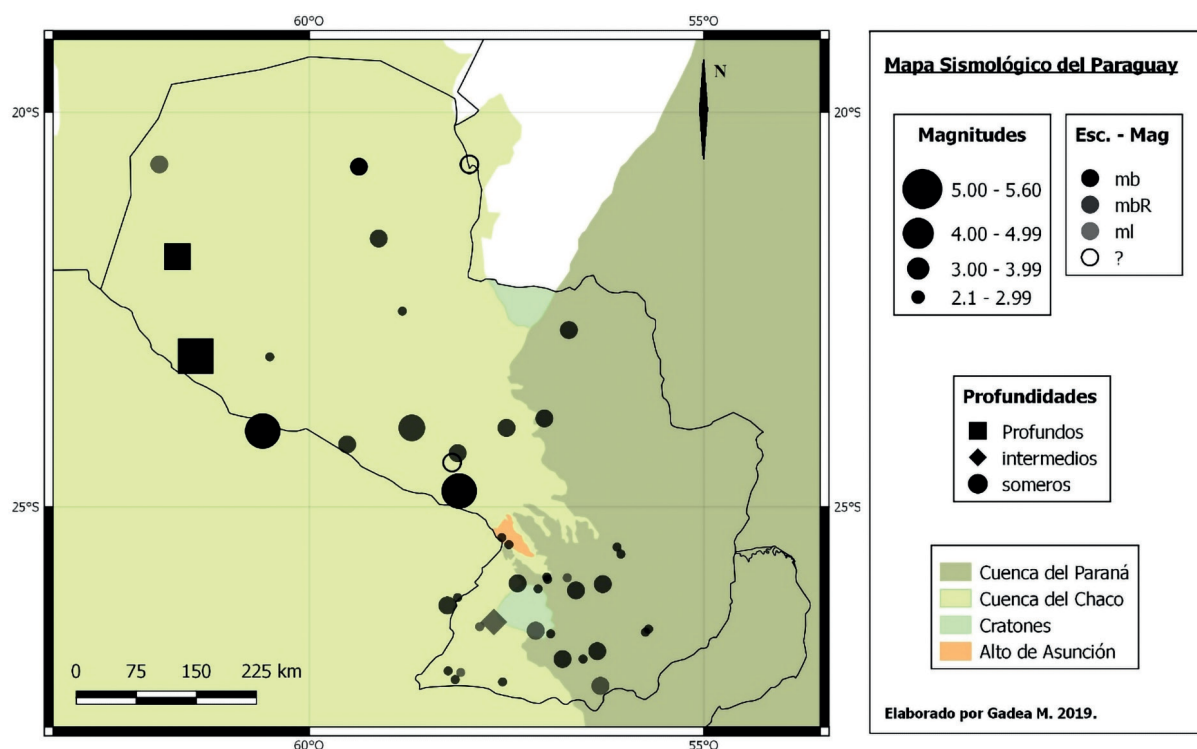


Figura 2. Sismos en Paraguay. Las figuras geométricas aumentan de tamaño con relación a las medidas de magnitud. Sus formas señalan profundidades, y las tonalidades clasifican las diferentes escalas de magnitudes.

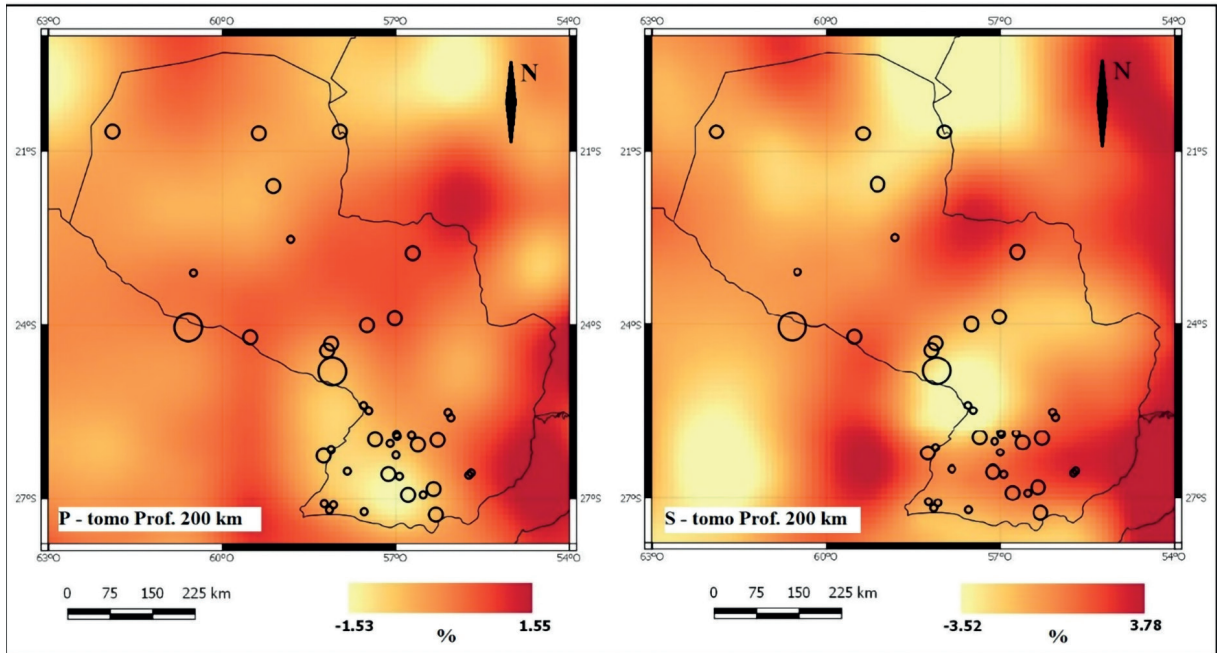


Figura 3. Epicentros del catálogo de sismos someros representados en círculos con relación a las anomalías de ondas P (Portner et al., 2018. En AGU 2018); y anomalías de ondas S (Rodríguez et al., 2018. En AGU 2018). Las velocidades de las ondas se expresan en %, con relación al modelo de velocidades del IASP91.

Sismogénesis

Se estima que los sismos profundos (en el Chaco paraguayo) se relacionan con la subducción de la Placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana, por el avance del frente (*front slab*) de la placa de Nazca en desplazamiento en dirección a la astenósfera. Los eventos cuyos epicentros se sitúan en la cuenca del Paraná, debido a zonas de debilidad cortical y/o acumulación de esfuerzos ((Assumpção, 2004).

Tomografía Sísmica

Las velocidades más bajas de las ondas P y S de la tomografía sísmica indican menor espesor de la litósfera, lo cual concentra esfuerzos en la corteza superior. En el sur de Paraguay, según se ha comprobado, existe una zona con sismicidad atípica, coincidente con una litósfera más delgada (Figura 3).

Así también, en la misma región se han reconocido anomalías gravimétricas isostáticas positivas, lo cual puede señalar una contribución de esfuerzos flexurales (semejante a la parte central de Brasil)

para explicar esta zona sísmica (Assumpção et al., 2019).

Por otra parte, según el catálogo propuesto en este trabajo, se ha comprobado una zona estable, asísmica, al este de la Región Oriental del Paraguay. Cotejando la distribución de epicentros con los datos tomográficos, se propone que dicha región presenta mayor estabilidad relativa por su mayor espesor, por lo cual no han sido reportados sismos.

Conclusiones

Los sismos autóctonos en Paraguay son del tipo intraplaca, por encontrarse alejados de los bordes de las placas tectónicas.

De acuerdo a lo revisado en los registros históricos de diferentes agencias, y las señales de los eventos del laboratorio local en los últimos años, se establece determinísticamente que en Paraguay ocurren sismos con características muy propias. No es posible realizar estimaciones estadísticas debido a la inexistencia del total de los registros sísmicos, y en este estudio se comprueban tendencias.

La ocurrencia de sismos no reviste peligrosidad teniendo en consideración los antecedentes. No se han reportado víctimas fatales o perjuicios económicos importantes luego de algún evento a lo largo de la historia del Paraguay.

Atendiendo a lo anteriormente expresado, en términos de nomenclatura, en el Paraguay son frecuentes las manifestaciones sísmicas, o los sismos, y hasta el presente no se han reportado terremotos. Los eventos, considerando sus tamaños, son moderados a bajos.

Se reconoce que los epicentros de los sismos tabulados se localizan en la Región Oriental del país en su porción centro sur-occidental, en los departamentos de Paraguari, Ñeembucú, Misiones, Caazapá, Caaguazú, Guairá, Itapúa, San Pedro y Concepción. Algunos de estos sismos son precedidos o acompañados por sonidos sísmicos.

En la Región Occidental, coincidente con la cuenca del Chaco, se comprueba sismicidad en la cuenca del río Pilcomayo a lo largo de su cauce, en los departamentos de Presidente Hayes y Boquerón. El en departamento de Alto Paraguay también se verifica sismicidad, especialmente en el trecho del cauce del río Paraguay.

El reciente inventario de sismos señala mayor cantidad de ocurrencias de eventos en la cuenca del Paraná en relación a la cuenca del Chaco. Asimismo, los sismos de mayor energía y profundidad ocurren en la cuenca del Chaco. Hasta este tiempo, no se ha comprobado algún evento que supere la magnitud 5.0 y o de carácter intermedio/profundo en la cuenca del Paraná.

Según los modelos tomográficos sísmicos, esta concentración de eventos en el sur de Paraguay responde a una litósfera delgada, por lo cual con mayor debilidad y a su vez genera concentración de esfuerzos en la corteza superior.

Se verifica sismicidad en el cratón del Río Tebicuary en su contacto oriental con la cuenca del Paraná. En dicha cuenca, no existen los reportes macrosísmicos o registros digitales de eventos en dirección a su depocentro, en los departamentos de Alto Paraná, Canindeyú y Amambay, por lo cual, actualmente se considera a ésta región como

asísmica.

Es de tenerse en cuenta que en el pasado no se contaba con el instrumental apropiado para el registro de señales sísmicas, por lo cual los datos son incompletos y el mapa sismológico podría encontrarse con cierta distorsión. Los futuros registros complementarán a los datos ya conocidos, y de ese modo se comprenderá mejor el comportamiento sismológico nacional.

Bibliografía

- AGU (American Geophysical Union) (2018). *Advanced Earth and Space Science: Fall Meeting*. Washington D.C. 10-14 December 2018. [Consultado 27.viii.2019] <<https://agu.confex.com/agu/fm18/meetingapp.cgi/Home/0>>.
- Assumpção, M. (1983). A regional magnitude scale for Brazil. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73 (1): 237–246.
- Assumpção, M. & Suárez, G. (1988). Source mechanisms of moderate size earthquakes and stress orientation in mid-plate South America. *Geophysical Journal*, 92: 253–267.
- Assumpção, M. (1992). The Regional Intraplate Stress Field in South America. *Journal of Geophysical Research*, 97(B8): 11889–11903.
- Assumpção, M., Schimmel, M., Escalante, C., Barbosa, J., Rocha, M. & Barros, L. (2004). Intraplate Seismicity in SE Brazil: Stress Concentration in Thin Spots. *Geophysics Journal International*, 159: 390–399.
- Assumpção, M., Gadea, M., Caballero, M., Portner, D., Rodríguez, E. & Rocha, M. (2019). The Seismic Zone of Southern Paraguay with a Revised Catalog: Another Example of Intraplate Activity in a Lithospheric Thin Spot? P. 73 in Bienchi, M.B., Assumpção, M.S. & Chaves, C.A.M. (eds.). *Reports from the 3rd Brazilian Seismology Symposium*. 15-17th Abril 2019. Vinhedo - SP / Brazil. 120 pp.
- Barros, L., Marza, V., Chimpliganond, C. & Cai-xeta, D. (2001). Paraguay Seismicity During 2000. Pp. 1312 – 1315 in *Conference Pro-*

- ceedings of the 7th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*. 2001. Salvador - BA / Brazil.
- Berrocal, J. & Fernandes, C. (1996). Seismicity in Paraguay and Neighbouring Regions, Pp. 57–66 in Comin-Chiaramonti P. & Gomes C.B. (eds.). *Alkaline Magmatism in Central Eastern Paraguay: Relationships with Coeval Magmatism in Brazil*. São Paulo: Editora da USP. 458 pp.
- Caballero, M. (2018). *Sismicidad del Paraguay*. San Lorenzo: FACEN-UNA. Trabajo de Grado. 29 pp.
- França, G. & Assumpção, M. (2008). Reflexos no Brasil de terremotos distantes. *Ciência Hoje*, 42(249): 21–25.
- Harrington, H.J. (1950). *Geología del Paraguay Oriental*. Buenos Aires: FACENA-UBA. 82 pp. + 3 lams. + 2 mapas.
- Investigación para el Desarrollo. (2017). *Evaluación de vulnerabilidad e impacto del cambio climático en el Gran Chaco Americano*. Asunción: PNUMA / REGATTA. 248 pp.
- Kulhánek, O., (1990). *Anatomy of Seismograms*. Developments in Solid Earth Geophysics 18. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. 178 pp.
- Mateus, A., Riccomini, C., Ezequiel, J., Ferreira, B., Colombo, C. & Tassinari, G. (2014). Maturação permotriássica e os vários estágios de migração de hidrocarbonetos na Formação Assistência (Subgrupo Irati), Bacia do Paraná: implicações para os modelos exploratórios. *Brazilian Journal of Geology*, 44(3): 355–360.
- Rengger, J. (2010). *Viaje al Paraguay en los años 1816 a 1826*. Editado según el manuscrito del autor por A. Rengger, con un mapa y tres páginas de ilustraciones, Aarax, 1835 en la editorial de H.R. Sauerlaender. Traducido al castellano, prologado y anotado por Alfredo Tomasini y José Braunstein. Asunción: Editorial Tiempo de Historia. 358 pp.
- Talwani, P. (2014). Unified model for intraplate earthquakes. Pp. 275–302 in Talwani, P. (ed.). *Intraplate Earthquakes*. Cambridge: Cambridge University Press. 332 pp. + 16 pls.
- Tarbut, E. & Ludgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra*. 8ª Ed. Madrid: Editorial Prentice Hall. 686 pp.
- Teixeira, W., Fairchild, T., Motta De Toledo, C. & Taioli, F. (2009). *Decifrando a Terra*. 2ª Ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 624 pp.
- Velázquez, J.C., Gadea, M., Fugarazzo, R. & Campos Cervera, A.M. (2009). Desarrollo de la Sismología en Paraguay. In Huaco, D. (ed.). *La Sismología en Sudamérica y los Mecanismos de Prevención y Mitigación del Peligro y Riesgo Sísmico*. Lima: CERESIS. 263 pp.
- Veloso, J., Soares, J. & Velázquez, J.C. (1994). Earthquakes in Paraguay: An Appraisal. Regional Seismological Association in South America. Brasilia.