

MUY PROBABLES MEGA ESTRUCTURAS DE IMPACTO EN PARAGUAY: I-EL CHACO

MOST PROBABLE MEGA IMPACT STRUCTURES IN PARAGUAY: I-CHACO

JAIME LEONARDO BÁEZ PRESSER*

*Jaime Presser Exploraciones, Paraguari 840, Asunción, Paraguay. Email: jaimeleonardobp@gmail.com

Resumen.- En los alrededores de Cerro León, Región Occidental (Chaco) del Paraguay, fueron identificadas, a partir de anomalías gravimétricas de Bouguer (derivadas de satélite) y anomalías gravimétricas negativas free-air e isostasia cuatro grandes estructuras circulares con forma de cono invertido (profundo (*pit*) con diferencias - parte alta/parte baja- en valores de Bouguer de ~31 asta ~83 Mgal). Ante la sospecha que podrían haberse formado por impacto de meteorito ellas fueron estudiadas según informaciones basadas en la gravimetría, magnetometría (campo total -EMAG2 y NGDC-720) y geología. Para la mejor interpretación de los potenciales cráteres en los alrededores de Cerro León se realizaron comparaciones con cráteres lunares complejos; de donde se pudo concluir que las grandes estructuras circulares con forma de cono invertido (*pits*) se asemejan a lo encontrado en el centro del mega-cráter lunar Humboldt (él como un *central-crater-pits*). Esta semejanza ayudo a reconstruir a las cuatro grandes estructuras circulares como siendo el centro de cuatro muy probables diferentes cuencas de impacto: ~503 Km. -Cerro León-2, ~447 Km. -Cerro León-1, ~338 Km. -Cerro León-3 y ~335 Km. -Cerro León-4. Las muy probables cuencas de impacto se encuentran entrelazadas formando una estructura de ~590 X 533 Km. -muy probable cuenca de impacto Cerro León (mp-CICL). La mp-CICL presenta una expresiva desviación del espesor crustal (superior a los mega-cráteres de impacto terrestres Vredefort y Chicxulub) que va acompañado de anomalía magnética positiva -siendo ambos fenómenos interpretados, para cráteres/cuencas de impacto terrestres-lunares-marcianos, ser debidos a la perturbación del espesor crustal que produce el mega-impacto y por consecuencia provocaría la subida del manto-litosférico. La mp-CICL actualmente se encuentra mayormente sepultada por sedimentos Mesozoicos a Cuaternarios, no así dentro/crestas se exponen ventanas del basamento Silúrico-Devónico (sedimentos marinos). Basamento levantado que pueden estar contornados por sedimentos “diamigtíticos” referidos en la columna estratigráfica del Paraguay como de origen glacial del Carbonífero. Ellos se tratan de sedimentos diamigtíticos-*sl* heterogéneos con clastos centimétricos a métricos, brechas y facies con probables esferulitos de impacto por lo que es probable que estos “diamigtitos” se traten más bien de brechas de impacto. Ventanas de sedimentos del Pérmico están expuesto en la cresta NE de mp-CICL y los mismos también serían portadores de aparente esferulitos de impacto. La mp-CICL se habría formado entre del Devónico (Medio a Superior) y el Mesozoico (pre 140 Ma.). La potencial degradación de mp-CICL se habría dado a partir del Mesozoico (140 a 130 Ma., interpretado a partir del padrón de fallas distensivas relacionadas a la deriva continental). En una muestra de cuarcita colectada en el Cerro León se evidencio metamorfismo de choque (Pfs, PDFs, *vidrio diaplético*); tarea preliminar que vendría a aproximar y apoyar la confirmación del muy probable fenómeno de impacto gigante. El fenómeno de impacto gigante en el Chaco traería importancia científica y además podría tener peso de relevancia económica como potenciales nichos de gas/petróleo, o minerales metálicos, entre otros.

Palabras Clave: mega-anomalías gravimétricas, cuenca de impacto, PDFs, Paraguay.

Abstract.- Around Cerro Leon, Western Region (Chaco) of Paraguay, were identified from (satellite derived) Bouguer gravity anomalies and free-air and isostasy gravity negative anomalies, four large circular structures inverted-cone shaped like (deep (*pit*) with differences - top/undertone part Bouguer values of ~ 31 to ~ 83 Mgal). Suspecting that it could have formed by meteorite impact they were studied according the gravimetry, magnetometry (total field -EMAG2 and NGDC-720), and the geology. For understanding the potential impact craters around Cerro Leon comparisons with complex lunar craters were made; where it was concluded that the large circular structures with inverted cone-shape (*pits*) resembling that is found in the center of the moon mega-crater Humboldt (as the with *central-crater-pits*). This similarity helped to reconstruct the four large circular structures as being the center of four very probable different impact basins: ~ 503 km, Cerro Leon-2, ~ 447 km, Cerro Leon-1, ~ 338 km, Cerro Leon-3 and ~ 335 km, Cerro Leon-4. Very probable impact basins are intertwined to form a structure of ~590 X 533 Km. -very probable impact basin Cerro Leon (vp-IBCL). The vp-IBCL presents a expressive deviation of crutal thickness (greater than mega-terrestrial impact craters Vredefort and Chicxulub) which is accompanied by positive magnetic anomaly interpreted -being both phenomena, for impact craters/impact basins terrestrial-lunar-martians,

be due to the disturbance of the crustal thickness which produces the mega-impact and therefore would cause the rise of lithospheric mantle. The vp-IBCL is currently mostly buried by Mesozoic to Quaternary sediments, but are exposed in peaks/windows of the Silurian-Devonian (marine sediments) basement. Raised basement which can be contoured by "diamictites" sediments referred as the Carboniferous glacial in the stratigraphic column of Paraguay. They are treated diamictites-*sl* heterogeneous with centimetric to metric clasts, breccias and facies with probable impact spherulites, so are suspicions that these "diamictites" are treated rather than of impact breccias. Windows of Permian sediments are exposed on the NE ridge of the vp-IBCL and the same would carry also apparent impact spherulites. The vp-IBCL would have formed between the Devonian (Middle to Upper) and Mesozoic (pre 140 Ma.). The potential degradation of the vp-IBCL would have occurred from the Mesozoic (140-130 Ma., played from the pattern of extensional faults related to continental drift). In a sample of quartzite collected in the Cerro Leon they showed shock metamorphism (Pfs, PDFs and diaplectic glass); preliminary task which would bring and support confirmation likely phenomenon giant impact. The phenomenon of giant impact in the Chaco carry scientific importance and weight also it could have economic importance as potential niches of gas/oil or metallic minerals, among others.

Keywords: *mega-gravity-anomalies, impact-basin, PDFs, Paraguay.*

INTRODUCCIÓN

Según French (1998) el término general "cráter de impacto" es utilizado para designar una depresión de impacto formado a hiper-velocidad, la estructura formada por un proyectil cósmico que es lo suficientemente grande y lo suficientemente coherente para penetrar en la atmósfera terrestre con poca o ninguna desaceleración y para golpear la tierra en prácticamente su velocidad cósmica original (> 11 km/s). Tales proyectiles tienden a ser relativamente grandes, quizás > 50 m de diámetro para un objeto rocoso y > 20 m para uno de ferroso. La formación de cráteres de impacto es un proceso geológico fundamental que ha afectado a todos los órganos del Sistema Solar, donde las formadas estructuras de impacto varían en tamaño de 0,01 micras, registrado como pequeños "zap-pit" en muestras lunares, a cuencas de múltiples anillos con más de 1000 km de diámetro (Taylor, 1982).

Potter & Kring (en http://www.lpi.usra.edu/exploration/training/resources/impact_cratering/ accesado en 04/2015) afirman que cráteres en superficies planetarias sólidas se dividen en tres grupos en función de su morfología, que varían en función del diámetro: cráteres simples, cráteres complejos, y cuencas de impacto:

(1) Cráteres simples se caracterizan por una cavidad en forma de cuenco sencillo, depresiones de unos pocos kilómetros de diámetro a 4 km en rocas masivas cristalinas y hasta sólo 2 km de

diámetro en sedimentos (French, 1998).

- (2) Cráteres complejos, los que usualmente tienen estructuras más detalladas al de los cráteres simples (Byrne, 2013) y acostumbran a presentar un pico central simple. Así que aumenta el tamaño del impacto, picos centrales son reemplazados por un macizo (montañas) en forma de anillos (peak-ring) por ejemplo el cráter Chicxulub. Un cráter de pico central pasa para un cráter de anillo en pico en alrededor de 150-200 kilómetros en la Luna, pero a sólo unos 20-25 km de la Tierra (French, 1998; Byrne, 2013).
- (3) Las mayores estructuras de impacto son conocidos como cuencas de impacto. En la Luna, se tratan de estructuras de impacto mayores a 300 kilómetros de diámetro. Las cuencas de impacto son por lo general Cuencas de Multi-anillos donde ellos pueden desarrollar anillos adicionales, dentro y/o fuera de sus bordes. (se necesita para ser considerado "multi-anillo" al menos un anillo adicional). En la Luna la Cuenca Oriental es el arquetipo de una cuenca multi-anillo, -tiene tres anillos interiores y arcos de dos anillos exteriores. -Byrne, (2013). Finalmente, de cuencas de multi anillos (*Multi-Ring Basins*) se llega a reconocer las mega-cuencas (por ejemplo el *South-Pole Aitken Basin* con 2.500 km). Baker *et al.* (2011) resumen como: los cráteres de impacto en los cuerpos planetarios presentan formas de transición con el aumento del tamaño, de cráteres

simples, a cráteres complejos, cráteres de anillo en pico, cuencas de impacto y, finalmente, las cuencas multi-anillo.

La Base de Datos de Impacto de la Tierra (*Earth Impact Database -EID*) comprende una lista de estructuras de impacto confirmados de todo el mundo. Hasta la fecha, hay 188 estructuras de impacto confirmados en la base de datos (<http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/index.html>, accesado 04/2015). De acuerdo a esta base de datos, en América del Sur es tenido a Araguinha (Crosta, 1982), en el Brasil, como el mayor cráter de impacto con 40 Km de diámetro. Acevedo *et al.* (2015) aportan una síntesis de numerosos cráteres de impacto probables y muy probables en América del Sur donde se destaca el cráter de impacto de 50 Km. Vichada en Colombia (p/ej. Hernández *et al.*, 2011).

Datos de cráteres de impacto en Paraguay tienen una primera indicación en un estudio sobre la configuración de la geología del Chaco-paraguayo (Fig. 1) realizada por Presser (2014b) que llevo

a reconocer, basado en estudios gravimétricos de datos satélite (http://bgi.omp.obs-mip.fr/activities/Projects/world_gravity_map_wgm accesado en 06/2014), 4 grandes estructuras circulares en los alrededores de Cerro León. Estas 4 grandes estructuras circulares definían anomalías gravimétricas de Bouger y anomalías gravimétricas negativas free-air e isostatic (Fig. 2). Estas 4 grandes estructuras circulares fueron interpretadas como potencialmente debidas a impacto de meteoritos (Presser, 2014b; Presser *et al.*, 2015). Presser *et al.* (2015) también dan indicaciones de otros probables cráteres simples a complejos en Paraguay.

En este trabajo se pretende realizar una apreciación demorada, basada en la geofísica (de datos regionales) acompañada de alguna información sobre la geología (de superficie), de las sospechas 4 grandes estructuras circulares en los alrededores de Cerro León, que den mayor soporte a la afirmación de que ellas se habrían formado por impacto de meteoritos.

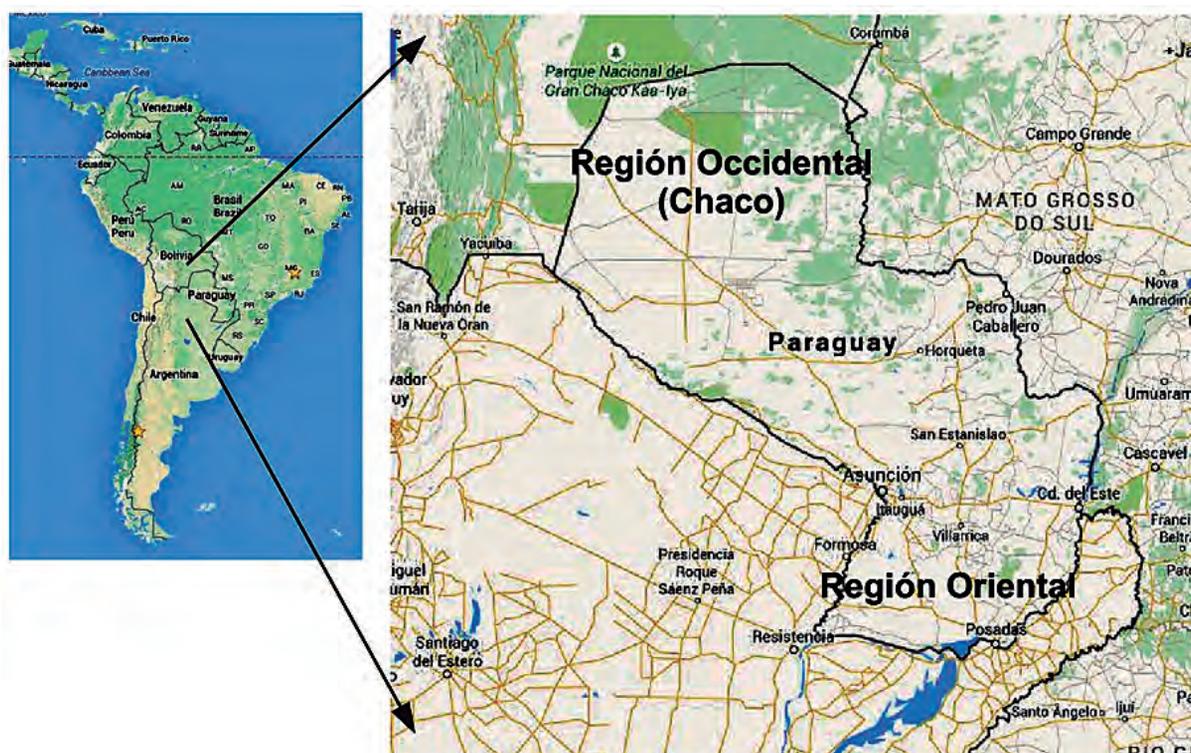


Figura 1. Paraguay con las regiones Oriental y Occidental (Chaco). El área de enfoque del trabajo está situada en el Chaco. Base de la información: <https://www.google.com.py/maps/> (Acceso 01/05/2015).

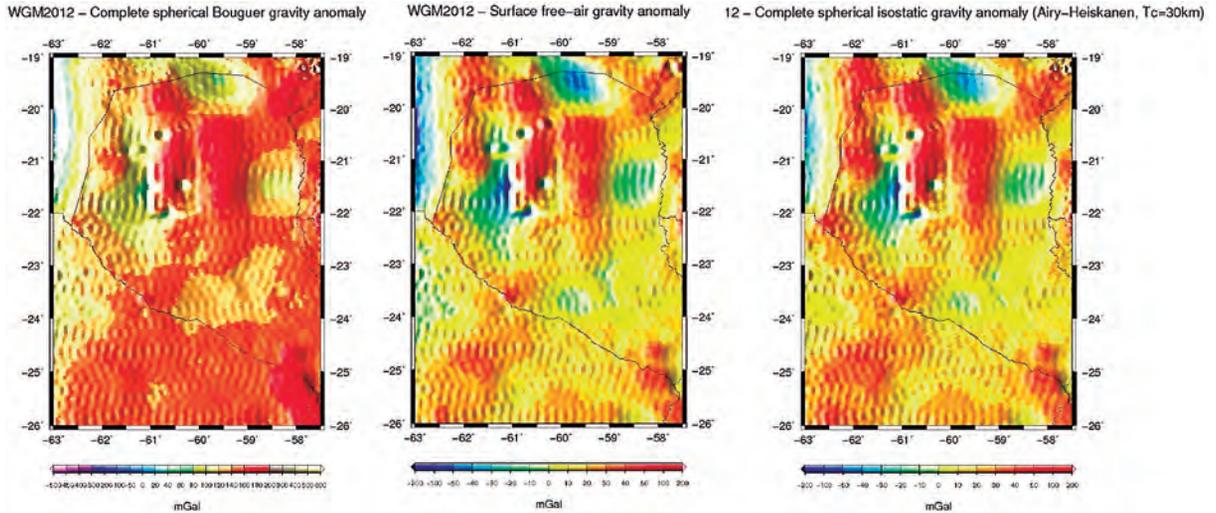


Figura 2. Gravimetría del Chaco. Datos de cráteres de impacto en Paraguay tienen una primera indicación en un estudio sobre la configuración de la geología del Chaco-paraguayo realizada por Presser (2014b) que llevo a reconocer, basado en estudios gravimétricos de datos de satélite, 4 grandes estructuras circulares en los alrededores de Cerro León que definen anomalías gravimétricas de Bouguer (Izquierda) y anomalías gravimétricas negativas *free-air* (centro) e isostasia (derecha) que fueron interpretadas como potencialmente debidas a impacto de meteoritos (Presser, 2014b; Presser et al., 2015). Fuente de las figuras: http://bgi.omp.obs-mip.fr/activities/Projects/world_gravity_map_wgm Acceso en 06/2014.

MÉTODOS

Para entender y diseñar los datos que aquí se presentan fueron vitales los estudios geofísicos y de configuración geológica comparados entre los datos lunares, marcianos y terrestres. Para tal fin se crea una base de información geofísica.

Estudios gravimétricos y topográficos terrestres se configuraron con datos aportados por satélite:

- 1- "Global or regional gravity grids (2°x2°) derived from the World Gravity Map (WGM2012 model). Quantities included: complete Bouguer and Isostatic (Airy-Heiskanen) anomalies, surface free-air anomaly (Molodenski), gravity disturbances produced by the Earth's surface masses (topographic relief, oceans, inner seas and major lakes and polar ice caps)": http://bgi.omp.obs-mip.fr/activities/Projects/world_gravity_map_wgm (Acceso en 06/2014 al 04 2015).
- 2- "Gravity is V23.1." (Sandwell *et al.*, 2014) free-air, bouguer, isostasia y topografía. 2- 1 en 1 minuto http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi (Acceso desde inicios del 2015 al 04 del mismo año) -free-air y topografía.

Estudios gravimétricos y topográficos lunares y marcianos se configuraron con datos aportados por satélite: <ftp://pdsimage2.wr.usgs.gov/pub/pigpen/moon/>; <ftp://pdsimage2.wr.usgs.gov/pub/pigpen/mars/> -"free-air", bouguer, "crustal thickness" y topografía; http://webgis.wr.usgs.gov/pigwad/down/moon_dl.htm (Acceso desde inicios del 2015 al 04 del mismo año) -configuración topográfica y http://www.kaguya.jaxa.jp/en/science/RSAT/G_Anom_Map_4_public_e.htm (Accesado desde inicios del 2015 al 04 del mismo año) -free-air y bouguer gravity anomaly. Del mismo modo, los estudios de comparación fueron facilitados con base a informaciones de: <http://www.google.com/mars/> y <http://www.google.com/moon/> (Acceso desde inicios del 2015 al 04 del mismo año).

Para el modelado (3D y otros) del basamento del Chaco se utiliza la ecuación de la recta: Profundidad (m.) = $-3306.3 + (144.1 * G)$ Donde G es el valor gravimétrico free-air. Fórmula general (empírica) que configura la profundidad y arquitectura del basamento, con errores de menos de 1000 metros (calibrados) (Presser, 2014b). Cálculos en planillas txt. editadas en hojas de cálculo Excel. El modelado 3D (otros) de los cráteres de impacto Lunares se realizaron según

Tabla 1. Características gravimétricas de las anomalías en forma de embudo invertido (*pit*)(1 a 4) de los alrededores del Cerro León.

Anomalia	Bouger-Mgal	Free-air-Mgal	Isostasia-Mgal
1 -20.498934° -60.737647°	~166 a 91 diferencia 75	~43 a -29	~48 a -24 diferencia
2 -21.452518° -60.360173°	~170 a 87 diferencia 83	~47 a -37	~50 a -33 diferencia
3 -20.784055° -61.448594°	~120 a 80 diferencia 40	~10 a -32	~13 a -25 diferencia
4 -20.778702° -61.099309°	~119 a 88 diferencia 31	~0 a -29	~4 a -24 diferencia

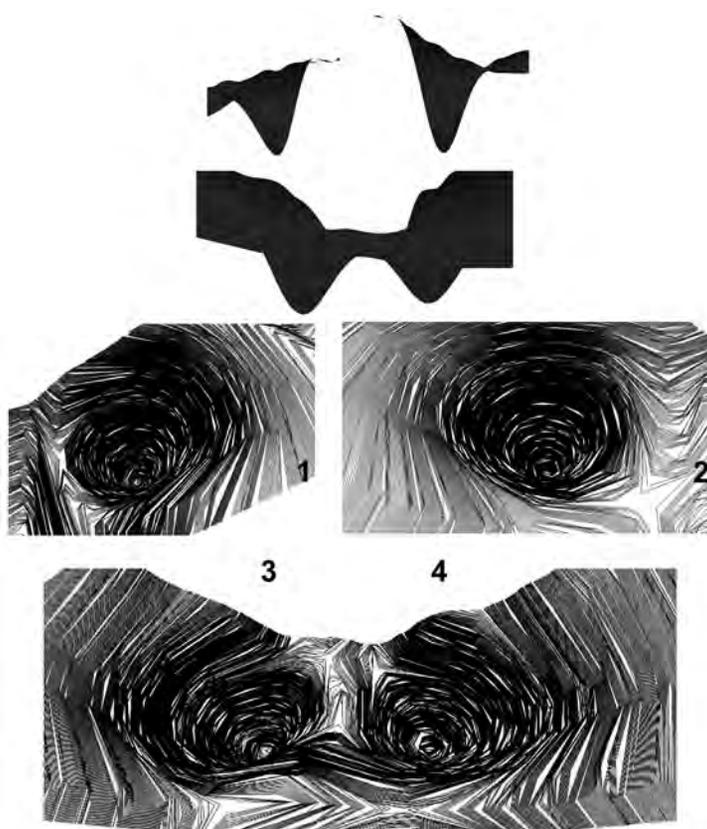


Figura 3. Perfilado (3D de la configuración de la profundidad y arquitectura del basamento), a partir del valor gravimétrico *free-air* -como indicado en el Ítem Metodología) de las 4 grandes estructuras circulares en los alrededores del Cerro León. Anomalías que por su proximidad con el Cerro León son referidas, individualmente, como Cerro León-1, Cerro León-2 (parte superior y de izquierda a derecha en la figura de arriba), Cerro León-3 y Cerro León-4 (parte inferior y de izquierda a derecha en la figura de arriba). Estas anomalías presentan forma de cono invertido o embudo (*pit*). La figura inferior (con numeración de Cerro León 1 al 4) es una configuración de los iso-valores de profundidad perfilados en 3D, con datos en la Tabla 2. Cerro León-3 y Cerro León-4 parecen gemelas.

este mismo método.

Para el modelado del espesor-crustal (crustal-thickness) del Chaco se utiliza la ecuación de la recta: $H \text{ (Km.)} = -31.85 - ((0.1291 * \text{Boug}) + (0.0002089 * \text{Boug}^2))$ de Assumpção *et al.* (2013). Cálculos en planillas txt. editadas en hojas de cálculo Excel. Ecuación que reproduce un exceso de valores del orden de 7000 metros con relación a los valores-globales que pueden ser extraídos de CRUST 1.0 A New Global Crustal Model at 1x1 Degrees: <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust1.html#visualization> (Acceso en 03/2016). El comportamiento magnético fue indagado a partir de:

A- EMAG2 una cuadrícula de resolución 2-minutos-de-arco de la anomalía de la intensidad magnética mundial a una altitud de 4 kilómetros sobre el nivel del mar. Compilado por: satélite, navegación marina, aero-magnético y estudios magnéticos terrestres. Se emplearon valores X, Y y Z desde <http://geomag.org/models/emag2.html> (Acceso el 05/2015):

“EMAG2 (Version 2.0) ASCII grid of the magnetic total intensity at 4km above WGS84 ellipsoid. This version was produced without directional gridding. Therefore, it has much sparser coverage but reflects more closely the actual measurements”.

B- “NGDC-720 lithospheric magnetic model”, que según <http://geomag.org/models/ngdc720.html> (Acceso el 05/2015) el modelo “NGDC-720 fue recopilado por: satélite, navegación marina, aero-magnético y estudios magnéticos terrestres. Como comentado en la citada página; en primer lugar, los datos magnéticos aero-magnéticos y marinos se combinaron en una red común, EMAG2. A continuación, los coeficientes armónicos elipsoidales del potencial magnético se estimaron en una inversión de mínimos cuadrados. Desde el campo de longitud de onda larga se determina de forma más fiable por satélite, las longitudes de onda mayores que 330 kilómetros finalmente fueron sustituidos por el CHAMP satellite crustal field model MF6”. Se emplearon valores X, Y y Z a partir de: NGDC-720, version 3.0: “Grid of the Down component (Z) of the magnetic field at ellipsoid height after applying a Hanning filter, 7.5 arc-minute (1/8 degree) degree resolution”.

Los modelados de datos gravimétricos, magnetométricos y topográficos, así como el empleo de mapas

y otros tipos de información SIG fueron trabajados en un ambiente Global Mapper; en parte visualizados en el Google Earth.

POTENCIALES ESTRUCTURAS DE IMPACTO

Generalidades

La expresión de los cráteres de impacto en superficie es conocida a partir de imágenes visuales de la Luna, de Venus, otros planetas y cuerpos planetarios, pero las restricciones al conocimiento de la estructura profunda de estos cráteres se limita en gran medida a la interpretación de datos de gravimétricos (Christeson, *et al.*, 2009). Esta tarea geofísica (gravimetría y otras herramientas geofísicas) también encontró su calco terrestre en numerosos abordajes de conocidos pequeños a gigantes cráteres de impacto, por citar algunos: En Chicxulub, Gulick *et al.* (2013); en Araguainha, Vasconcelos (2007), Yokoyama (2013); en Vargeao, Kazzuo-Vieira *et al.* (2009), Yokoyama (2013); en Serra da Cangalha, Adepelumi *et al.* (2005); Muundjua *et al.* (2007); en Lake Tüttensee, Ernstson (2005, http://chiemgau-impakt.de/Gravimetrische_untersuchungen.pdf acceso 05/2015); en Mjølnir, Dypvik *et al.* (2010); en Morokweng, Henkel *et al.* (2002) -entre otras localidades. Ver otros ejemplos y comentarios en Osinski & Pierazzo (2013).

Como comentado en la Introducción, un estudio sobre la configuración de la geología del Chaco-paraguayo realizada por Presser (2014b) llevo a reconocer 4 grandes estructuras circulares en los alrededores de Cerro León que definen anomalías gravimétricas de Bouguer y anomalías gravimétricas negativas *free-air* e isostasia (Fig. 2) -valores son listados en la Tabla 1.

En la Fig. 3 se perfilaron (3D del basamento del Chaco a partir del valor gravimétrico *free-air* -que configura la profundidad y arquitectura del basamento, ver Ítem Metodología) las 4 grandes estructuras circulares en los alrededores de Cerro León. Anomalías que por su proximidad con el Cerro León serán referidas, individualmente, como Cerro León-1, Cerro León-2, Cerro León-3 y Cerro León-4; o de manera colectiva como anomalías del Cerro León. Estas anomalías presentan forma de cono invertido

Tabla 2. Características de las anomalías gravimétricas en forma de embudo (*pit*) del Cerro León, interpretadas de las configuraciones gravimétrica *free-air* (espesor) en 3D.

Anomalía	Largo X Ancho (Km) estimado	Profundidad (m) aparente	Forma Figura 3
León-1	~34,38	~ -6500 a +0	Embudo (<i>pit</i>)
León-2	~38,69	~ -8000 a +0	embudo alargado (<i>pit</i>)
León-3	~26,0	~ -7500 a -2500	Embudo-corto (<i>pit</i>)
León-4	~25,8	~ -6500 a -2500	Embudo-achatado (<i>pit</i>)



Figura 4. Modelado 3D de la configuración de la profundidad y arquitectura del basamento a partir de gravimetría *free-air* de cráteres/cuencas de impacto lunar. De arriba a bajo: 1ra. línea a la izquierda cráteres de 10 a 14 Km., en la Cuenca de impacto Korolev; a su derecha el cráter Hertzprung V de 40 Km. y junto uno pequeño de 18 Km.. 2da. línea a la izquierda el cráter Kibal'chich de 92 Km. y a su derecha el cráter Vavilov con 99 Km. En la 3ra. línea la cuenca de impacto Korolev de 423 Km. Y en la última línea la cuenca de impacto Hertzprung de 587 Km. Las cuencas de impacto -por su tamaño- son mostradas seccionadas por la mitad. El modelado 3D está basado en la configuración de la profundidad y arquitectura del basamento a partir de gravimetría *free-air* (ver ítem Metodología -fórmula y fuente de datos).

o embudo. Las anomalías del Cerro León en virtud a su forma y dimensión (Tabla 2) se sospechó que fueron formadas por impacto de meteoritos (Presser, 2014b) (i.e., semejante al *central pit crater* de Elder *et al.*, 2012 y más recientemente, definido en Barlow *et al.*, 2015). Las características interpretadas de las configuraciones gravimétricas (Fig. 2) y del modelado de profundidad 3D son listadas en la Tabla 2.

De acuerdo a las formas y dimensiones apuntadas para las anomalías del Cerro León, -tratándose de probables estructuras de impacto, ellas serían cráteres de impacto del tipo complejo. En virtud de esto, fue estudiada la configuración de cráteres simples a cuencas de impacto Lunar -Fig. 4. A partir de las comparaciones con los cráteres de impacto Lunar, las primeras aproximaciones norte-adoras se alcanzaron con los trabajos de Hartmann & Kuiper (1962), Hartmann (1963), Taylor (1982) -y muy particular-

mente el trabajo de Baker *et al.* (2011). Si llevado en consideración el diámetro de las anomalías del Cerro León y comparados con la de los cráteres Lunares (Fig. 4) con dimensiones aproximadas no se observa ninguna semejanza; hecho que llevó a sospechar que las anomalías del Cerro León podrían ser parte de un sistema más complejo de cráteres de impacto; es decir que ellas podrían ser parte de cráteres de anillo en pico o cuencas de impacto.

La literatura encaminó a centrar los ojos en los cráteres de impacto/cuenca de impacto Lunares -Korolev (~423 Km.*), Minkowski (~107 Km.*) y Humboldt (~199 Km. *<http://planetarynames.wr.usgs.gov/Feature/2582>, acceso 05/2015). Como se puede notar ellos muestran en el centro del cráter una estructura similar a anomalías del Cerro León; lo que se esquematiza en la Fig. 5 -i.e., -*central pit crater* .

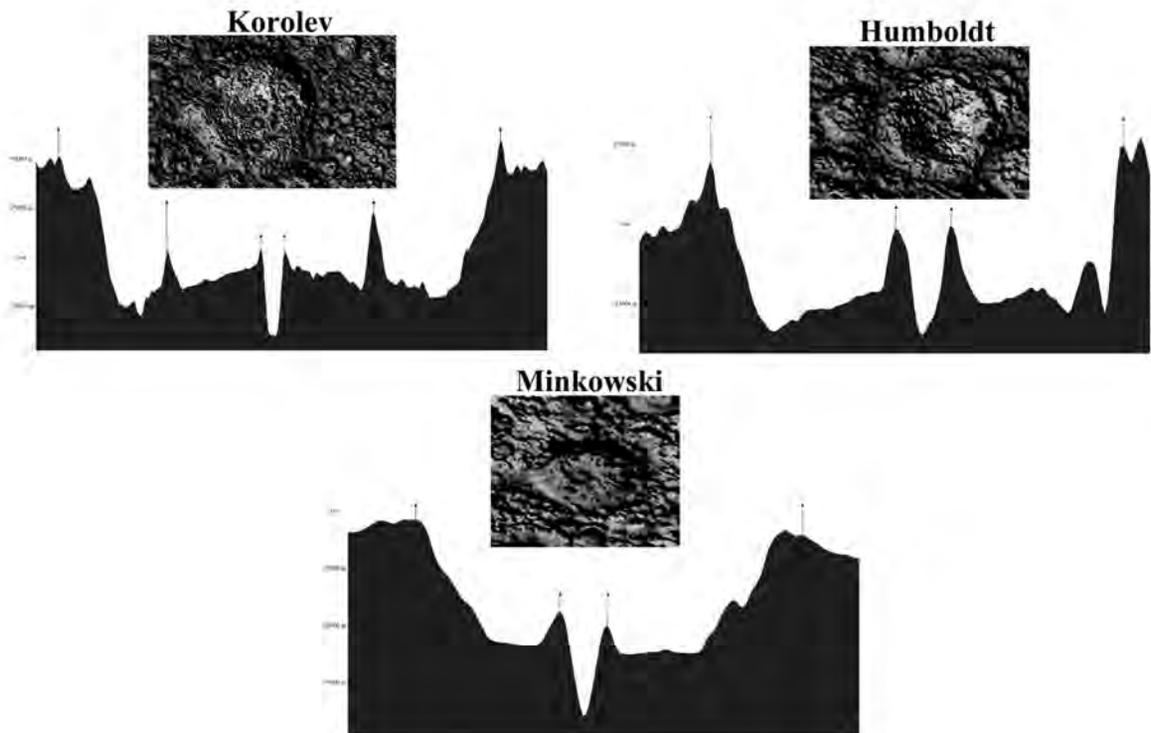


Figura 5. Perfiles 2D de los mega-cráteres/cuenca de impacto lunares Korolev, Humboldt y Minkowski. Las figuras muestran la presencia de una depresión central en forma de cono invertido o embudo (*central pit*). En los mega-cráteres/cuenca de impacto superiores se percibe un levantamiento de la base; mientras que en el mega-cráter inferior permanece plano. La cuenca de impacto Korolev a diferencia del mega-cráter Humboldt presenta el anillo en forma de pico -los picos del cono-invertido, del anillo-en-pico (*peak-ring*) y de la cresta o borde (*crater-rim*) son indicados por las flechas verticales. Perfilado basado en la configuración la profundidad y arquitectura del basamento a partir de gravimetría *free-air*.

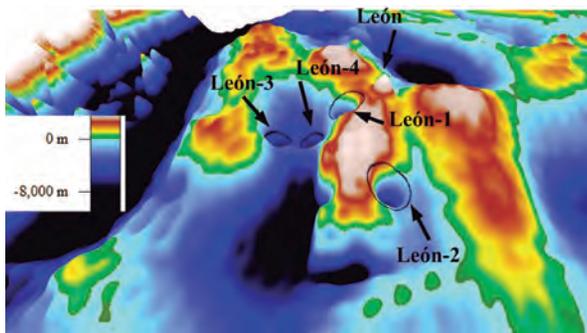


Figura 6. Modelado 3D (configuración de la profundidad y arquitectura del basamento a partir de gravimetría *free-air*) de las 4 grandes anomalías circulares (*pit*) del Cerro León 1 a 4 vecinos al Cerro León (indicado por la flecha). Cerro León-1 a 4 se posicionan sobre una región levantada -rodeada de collar/semi-collar de zonas bajas (Fig. 7). Este comportamiento estructural sugiere semejanza de las 4 grandes anomalías del Cerro León con los cráteres de impacto/cuenca de impacto Korolev y Humboldt. Sin embargo, no se observa en las anomalías del Cerro León el característico anillo-en-pico (Fig.-5) de la cuenca de impacto Korolev -De esta forma las 4 grandes anomalías del Cerro León se cree se hayan formado como se formó el cráter Humboldt.

Paso siguiente, se modela el basamento en torno de las anomalías del Cerro León, basado en la ecuación de la recta: $\text{Espesor (m.)} = -3306.3 + (144.1 * G)$ (ver ítem metodología). El modelado permite apreciar que las anomalías del Cerro León se posicionan sobre una región levantada -rodeada de un collar/semi collar de zonas bajas, Fig. -6. Comparación que sugiere semejanza de las anomalías del Cerro León con los cráteres de impacto/cuenca de impacto Korolev y Humboldt. Sin embargo, no se observa en las anomalías del Cerro León el característico anillo-en-pico (Fig.-5) de la cuenca de impacto Korolev -esto empujando a comparar específicamente las configuraciones gravimétricas del Cerro León con las del cráter Humboldt.

Encontrada la mayor semejanza de las anomalías del Cerro León con el cráter Humboldt, ahora queda la tarea de estimar, con la mejor aproximación, la cresta (*final-crater-rim*) de las anomalías del Cerro León. Para este fin los estudios se centraron en la anomalía Cerro León-2. Observando la configuración del cráter Humboldt se pudo notar que el diámetro del anillo del cono-invertido, o *central-crater-pit*, es 13

veces menor al de la cresta (en parte llevado en consideración el diámetro *rim-to-rim* de Turtle *et al.*, 2004). Si aplicado este parámetro a la anomalía Cerro León-2 significaría: $38.69 \text{ Km} \times 13 = \sim 503 \text{ Km}$ -diámetro de cráter. La Fig. 7 compara el cráter Humboldt con el diámetro inferido de la anomalía Cerro León-2. Aparentemente el camino seguido es correcto, de modo que esto mismo aplicado a las otras anomalías del Cerro León se tiene: Cerro León-1 $\sim 447 \text{ Km}$., Cerro León-3 $\sim 338 \text{ Km}$. y Cerro León-4 $\sim 335 \text{ Km}$. Este probable fenómeno Cerro León vendría a tratarse de una potencial craterización de carácter múltiple, lo que será comentado más adelante.

Espesor crustal

Mega impactos de meteorito por lo general producen en el área impactada una sensible alteración del espesor crustal. Para indagar el comportamiento junto a las anomalías del Cerro León se calculó el espesor crustal junto y en los alrededores a partir de la fórmula $H \text{ (Km.)} = -31.85 - ((0.1291$

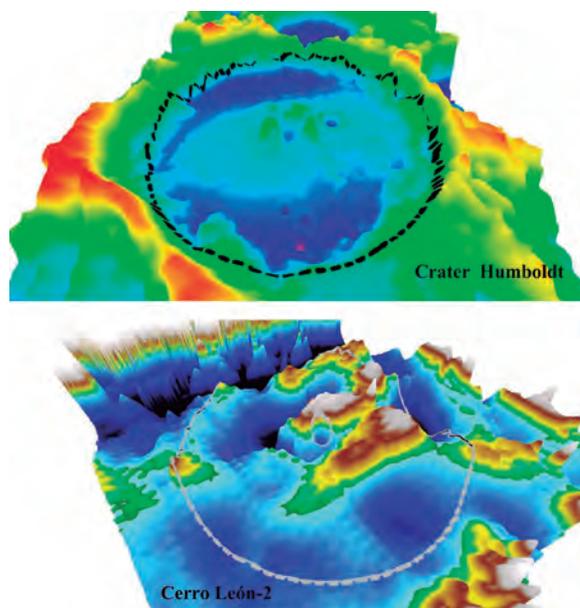


Figura 7. Comparación de la configuración entre el cráter Humboldt y la dibujada por Cerro León-2. Bordes en líneas de trazo discontinuo. Valores de potencial profundidad como en la Fig.-6. Configuración de la profundidad y arquitectura del basamento a partir de gravimetría *free-air*.

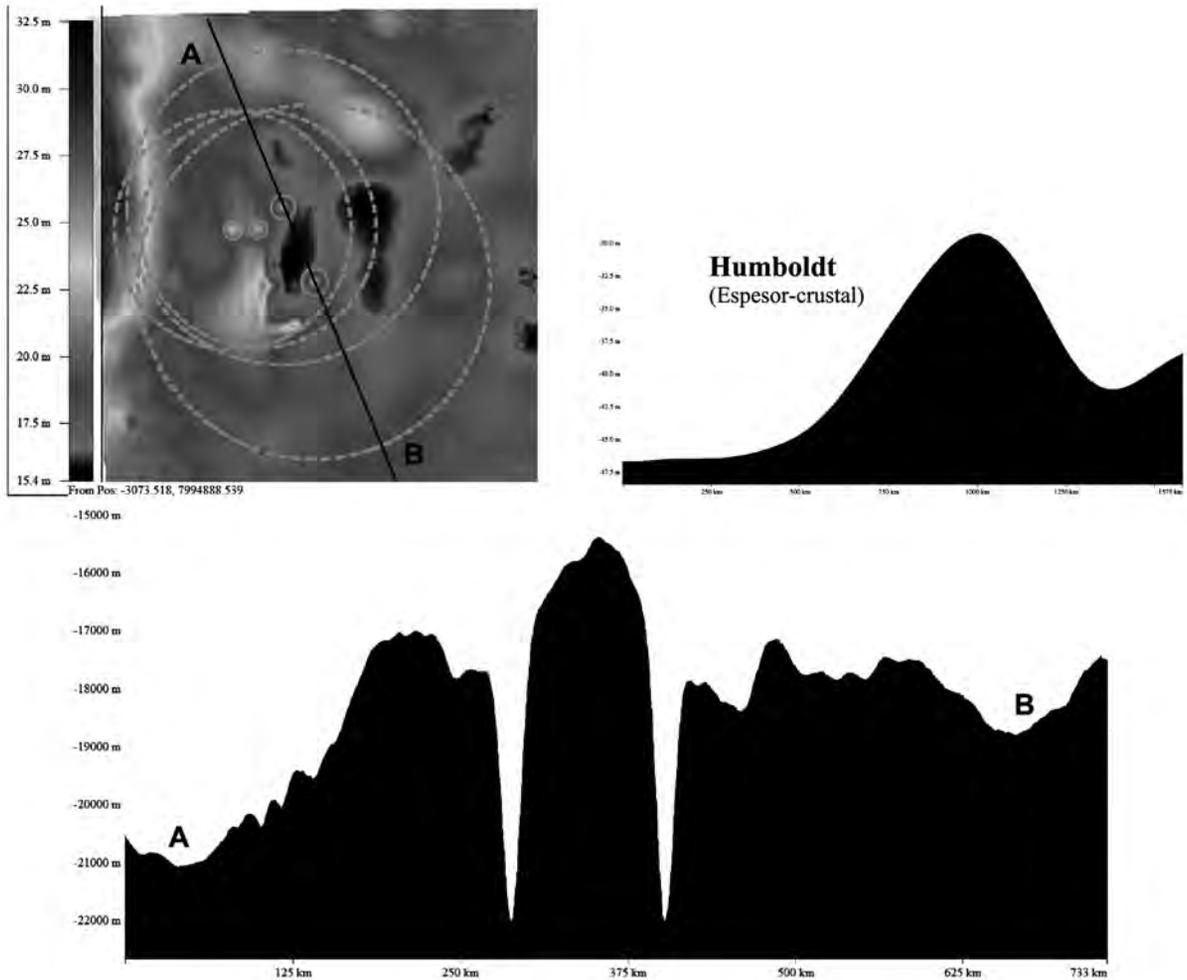


Figura 8. Anomalías del espesor crustal (alteración del espesor crustal) de los potenciales cráteres de impacto del Cerro León que se comparan con la del cráter Humboldt. La figura muestra en línea de trazos los límites de la potencial área impactada de las anomalías Cerro León: 1 a 4 -potencial craterización de carácter múltiple (Figura superior izquierda). Cuando se traza un perfil (A-B) sobre los potenciales cráteres de impacto del Cerro León se percibe un levantamiento (forma de domo) del orden de ~ 6700 m. El levantamiento también en forma de domo en el cráter Humboldt es de ~16500 m. Valores son indicados en las figuras según espesor crustal en miles de metros (Cerro León) y kilómetros (Humboldt). Cálculos del espesor crustal de acuerdo con lo indicado en el ítem Metodología.

* Boug) + (0.0002089 * Boug²) de Assumpção *et al.* (2013) - aplicados a los valores de gravimetría de Bouguer extraídos de *World Gravity Map* (ver Ítem Metodología). La Fig. 8 muestra como la corteza sufre, por debajo de la potencial área impactada del Cerro León, ~ 6700 m. de alteración del espesor crustal (debido al acortamiento crustal) con relación a los valores de su entorno. Fenómeno similar, aunque en dimensión mucho

menos marcada, a lo encontrado junto al cráter Humboldt (~16500 m.) con quien es comparado (Fig. 8). La alteración del espesor crustal de la corteza por lo general se da cuando por efecto de impacto muy considerable se produce un levantamiento de manto que habría sido afectado (p/ej. Christeson, *et al.*, 2009). Esto también sugiriendo que las anomalías del Cerro León se deban a una potencial craterización de impacto.

Magnetometría

La mayoría de los pequeños a medianos cráteres de impacto terrestres se caracterizan por presentar anomalías negativas magnéticas; sin embargo mega-cráteres de impacto como el de Vredefort

presentan anomalía magnética positiva (p/ej. Muundjua *et al.*, 2007). En la potencial área impactada de las anomalías del Cerro León, como comentado, se habría dado alteración del espesor crustal que se deduce se habría traducido en el

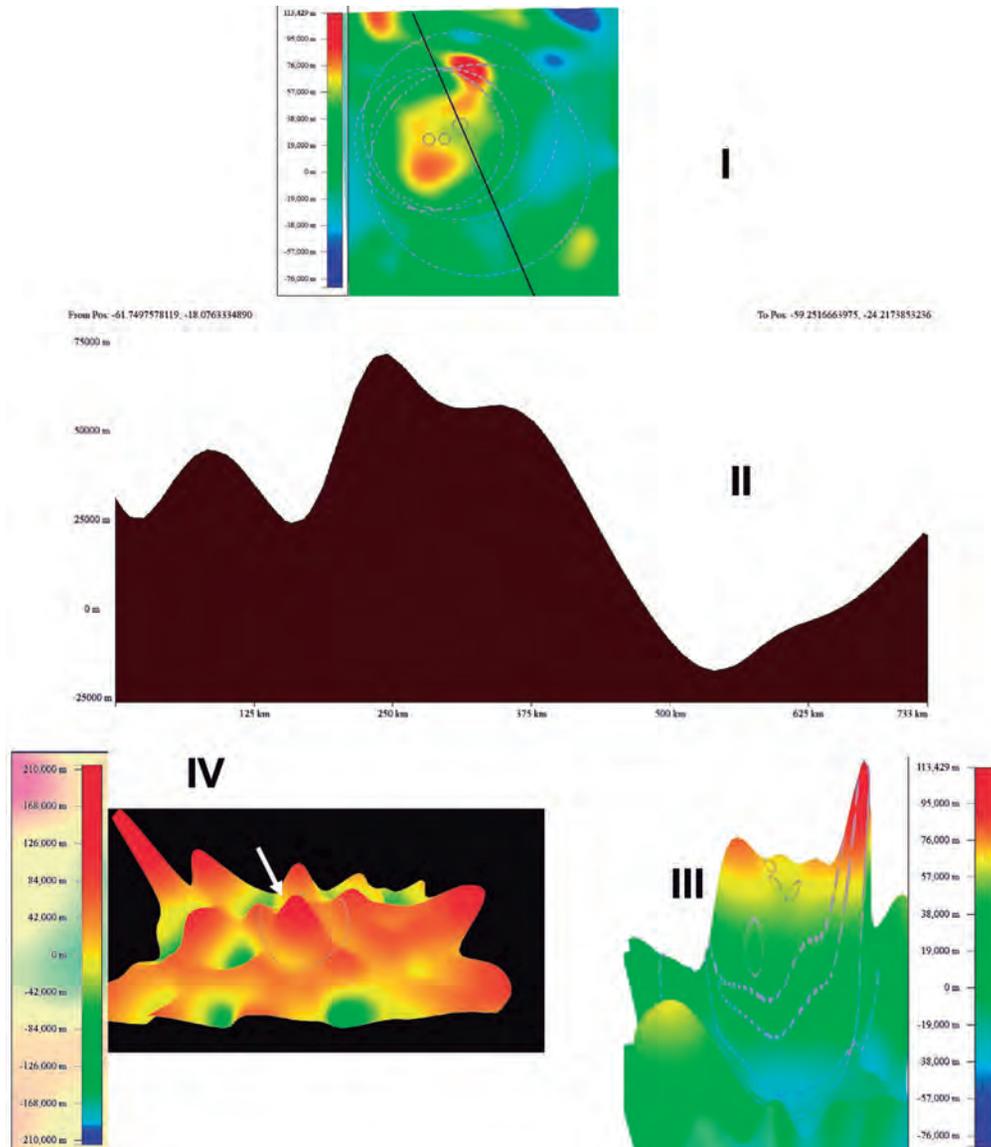


Figura 9. Magnetometría comparada entre la potencial área impactada de las anomalías Cerro León y lo observado junto al cráter Vredefort (Sudáfrica)-. En I línea de perfil A-B como en la Fig. 8; en II perfil 2D según línea A-B de la misma Fig. 8 sobre los valores magnéticos de campo total ($m=nT$). En III, 3D de la anomalía magnética junto a la potencial área impactada de Cerro León. En IV, 3D de la anomalía magnética del cráter Vredefort (la flecha indica posición del cráter). Los valores menores registrados para la potencial área impactada de Cerro León en relación a Vredefort serían debidas a que el primero está soterrado por sedimentos, mientras que el segundo está expuesto. Los valores nT empleados en los modelados fueron multiplicados por 1000 para con ello obtener contrastes marcados. Fuente de datos son citados en el ítem Metodología.

levantamiento del manto que pudo haber sido afectado. Necesariamente este fenómeno de alteración del espesor crustal/levantamiento de manto debería traer consigo un registro de anomalía magnética (positiva) con relación a su entorno. Junto a la potencial área impactada Cerro León con base a los valores de EMAG2 (ver ítem Metodología) y muy especialmente a los valores de NGDC-720, versión 3.0 (ver ítem Metodología) se configura

una bien contrastada anomalía magnética positiva con relación a su entorno, como mostrado en la Fig. 9 donde se compara con el comportamiento magnético del cráter Vredefort.

Las características geofísicas apuntadas encaminaron a configurar inferidos límites (bordes) de potenciales cráteres de impacto en las anomalías Cerro León-1, Cerro León-2, Cerro León-3 y Cerro León-4 (Fig. 8 y 9). Basado en los argumentos

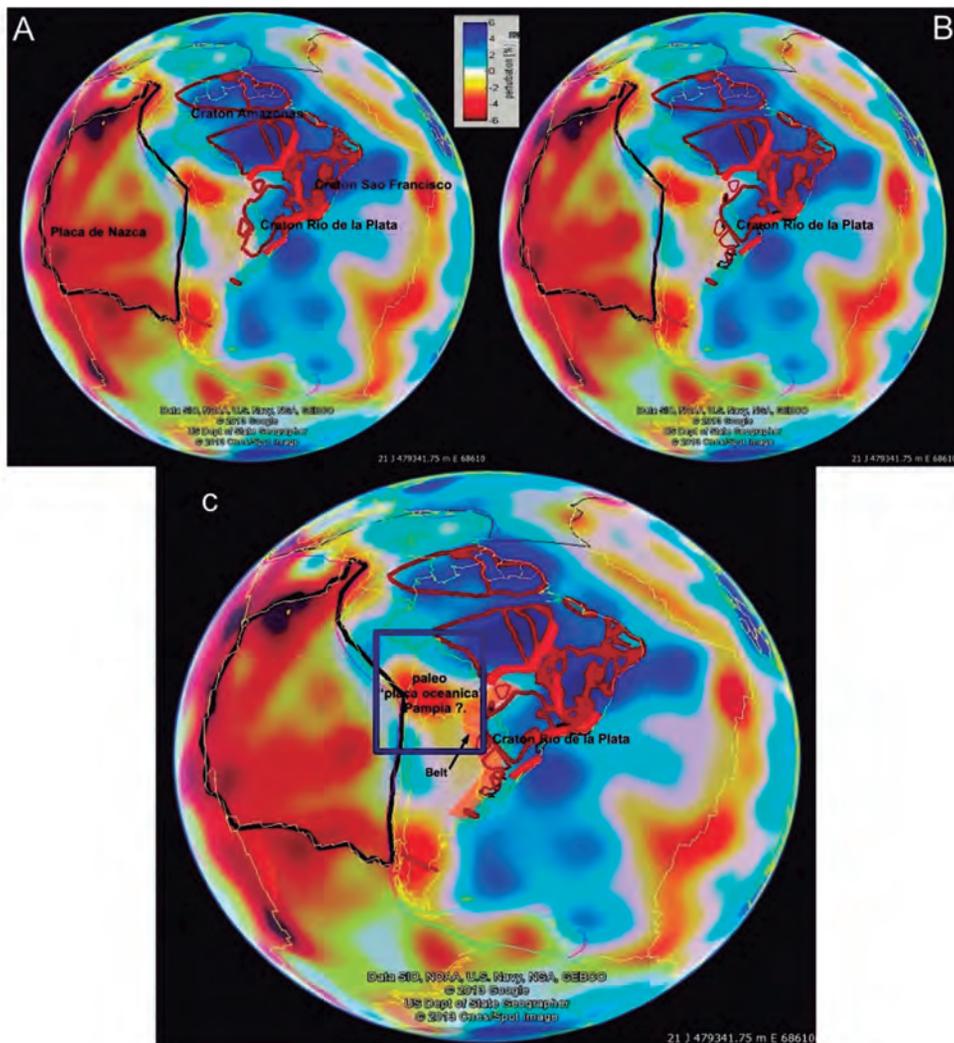


Figura 10. Configuración del craton/manto litosférico cratónico Archon Rio de la Plata. En A la configuración del Craton Archon Rio de la Plata como en Presser (2011). En B nueva configuración del craton/manto litosférico cratónico Archon Rio de la Plata propuesta en Presser (2014). En C posición del cinturón (belt) en conexión, al W, con un amplia zona de baja velocidad a la que se cree se trate de una paleo “placa oceánica” -Pampia; que habría subductado por debajo del craton/manto litosférico cratónico Archon Rio de la Plata. A, B y C sobre una base de tomografía sísmica (S-Wave) a 100 Km de profundidad. El cuadro, en C, encierra la Región Occidental o Chaco -Paraguay.

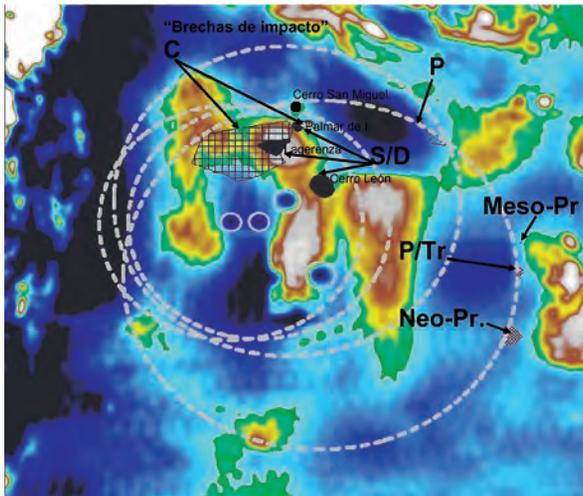


Figura 12. Geología esquematizada de la potencial área impactada del Cerro León sobre una configuración del basamento. La figura permite observar, por un lado -el basamento Silúrico/Devónico (S/D) (en: Cerro León, Lagarenza, Palmar de las Islas y Cerro San Miguel-Bolivia) levantado (con marcada diferencia de niveles de exposición) en vecindad con sedimentos referidos como diamiguitas del Carbonífero (C) (“Brechas de impacto”) (borde NW del potencial cráter de impacto Cerro León-1 y que también es un área de solapamiento entre los inferidos bordes (norte) de los potenciales cráteres de impacto Cerro León-3 y Cerro León-4). Las exposiciones del Silúrico/Devónico parecen islas levantadas en varios miles de metros en este rincón de potencial área impactada del Cerro León. También se puede notar como el inferido borde NNE del potencial cráter de impacto Cerro León-2 es contorneado por sedimentos, probablemente también levantados (?) del Pérmico (P). Exposiciones de rocas del Proterozoico Inferior (Meso-Pr) (Fuerte Olimpo), Neo-Proterozoico (Neo-Pr) (Vallemi y alrededores) y del Permo-Triásico (P/Tr) (Carmelo Peralta-Mortinho) acompañan el borde externo (E-SE) del potencial cráter de impacto Cerro León-2. Algunos de los bordes de los potenciales cráteres de impacto del Cerro León se habrían profundamente erosionado (por ejemplo en la zona vecina a la Cordillera de Los Andes). Valor de profundidad del basamento como en la Fig. 6.

Oriental y la Occidental (Chaco) Fig. 1., se halla insertado en una región de modesto relieve topográfico y de exposición de rocas, siendo más bien abundantes los suelos y sedimentos recientes -entre ellos islas de rocas cristalinas antiguas y sedimentos del Paleozoico al Terciario.

La Región Oriental se encuentra encima de la porción W del Cratón/Litosfera cratónica del Arqueozoico -Rio de la Plata; la Región Occidental

sobre un terreno tectónicamente más reciente (del Proterozoico/Eo Paleozoico) (Presser, 2011) -Pampia (que según Cordani *et al.*, (2010) cierra entre 620 a 500 Ma.). Ambas regiones separadas por un aparente paleo-cinturón del tipo Andes que se habría originado en el Proterozoico Inferior (Presser, 2014a). La parte Norte del Chaco es vecina con el Cinturón Tucavaca (Ramos *et al.*, 2010) -cinturón entre el terreno Pampia (ver comentarios en Presser, 2014a) y el cratón Amazónico (Ramos *et al.*, op cit.) -Fig. 10. La comentada configuración tectónica ocurriendo en dominios de la Placa Sudamericana -placa que en la parte Oeste de la Región Occidental limita con el Cinturón de Los Andes, Fig. 10.

Sobre el cratón/manto-litosférico Pampia (una aparente paleo-placa oceánica) se asienta una sedimentación mayormente marina y de edad Proterozoica (inferido de comentarios en Cordani *et al.*, 2010) a Eo-Paleozoica (Ramos *et al.*, 2010), Fig. 11. Una síntesis compactada sobre la geología (de superficie) del Chaco se resume en el Atlas Geográfico del Chaco Paraguayo publicado por RIEDEX (2009) que opina que los conocimientos geológicos referente al Chaco Paraguayo, sobre todo respecto a la cobertura de sedimentos sueltos más recientes, son todavía muy escasos. El Chaco, es un escenario donde la geología de superficie evidencia estar constituida por sedimentos Paleozoicos, Mesozoicos, Cenozoicos a Recientes (este último el más abundante).

Geología de sub-superficie es expuesta y discutida por Clebsch (1991) quien habla sobre la estratigrafía presente en el Chaco desde el Cámbrico al Cuaternario. El citado expone y gráfica detalles sobre las diferentes “sub-cuencas” presentes en este escenario. Clebsch (1991) también aporta numerosos mapas de profundidades de las “sub-cuencas” donde son indicados los potenciales espesores de los sedimentos allí presentes. Sin embargo, aparentemente los diferentes mapas de isopacas y/o mapas de profundidades de las “sub-cuencas” del Chaco indicadas por Clebsch (1991) son producto de extrapolaciones de datos; este hecho induciría a que sus informaciones sean tomadas con precaución. Un modelado de las “cuencas a sub-cuencas” en el

Chaco, basado en datos de gravimetría de 5-minutos en 5-minutos, es aportado por Amerisur (Corporate Presentation, <http://www.amerisurresources.com/>. Acceso en 04/2014).

En la Fig. 12 se suman la información geológica esquematizada junto con la configuración geofísica (arquitectura y espesor del basamento) de la pai-CL, información basada, en parte, en el mapa geológico presentado en Atlas Geográfico del Chaco Paraguayo publicado por RIEDEX (2009). La Fig. 12 permite observar, por un lado -el basamento Silúrico/Devónico levantado en vecindad con sedimentos referidos como diamígtitas del Carbonífero (Gomez, 1986) -esto dándose en el borde NW del potencial cráter de impacto Cerro León-1 y que también es un área de solapamiento entre los inferidos bordes (norte) de los potenciales cráteres de impacto Cerro León-3 y Cerro León-4 (Fig. 12).

Las exposiciones del Silúrico/Devónico en el Cerro León, La Gerenza, Palmar de las Islas (Presser, 2002) y Cerro San Miguel-Bolivia (Wiens, 1987) parecen islas levantadas en varios miles de metros en este rincón del pai-CL. En la misma Fig. 12 se puede notar, por otro lado, como el inferido borde NNE del potencial cráter de impacto Cerro León-2 es contorneado por sedimentos, probablemente también levantados (inferidos a partir de la configuración de profundidades potenciales del basamento indicados en la Fig.-12 y en parte también por los perfiles de la Fig. 5), del Pérmico. Aun, se puede observar en la Fig. 12 que exposiciones de rocas del Proterozoico Inferior (Fuerte Olimpo), Neo-Proterozoico (Vallemi y alrededores) y del Permo-Triasico (Carmelo Peralta-Mortinho) acompañan el borde externo (E-SE) del potencial cráter de impacto Cerro León-2. Algunos de los bordes del pai-CL, como se puede inferir de las Fig. 7, 8 y 12, se habrían profundamente erosionado (por ejemplo en la zona vecina a la Cordillera de Los Andes).

En el Terciario el continente Sudamericano habría sufrido el avance de aguas del océano Atlántico/Pacífico; el que habría inundado parte del Chaco (consultar Le Roux, 2012) y así contribuido con la colmatación de las depresiones junto al pai-CL. Potencial área impactada de Cerro León que

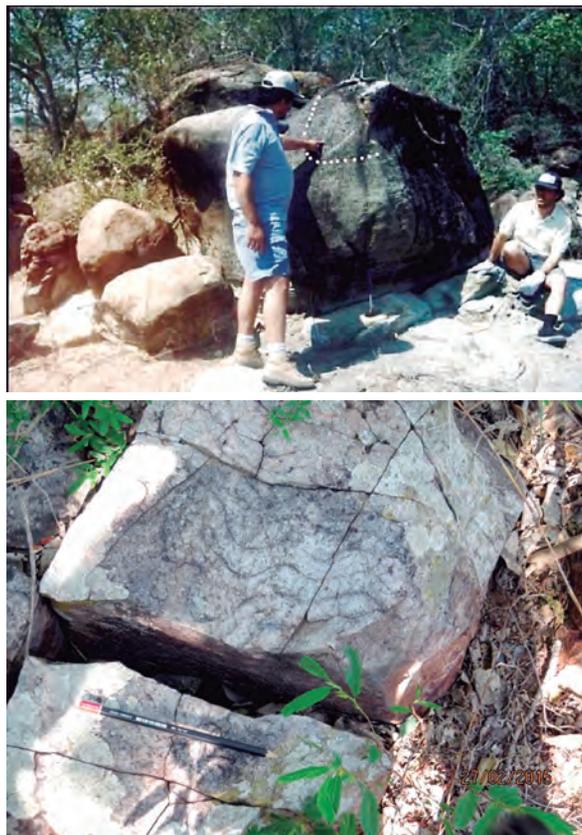


Figura 13. Exposiciones de rocas Siluro-Devónicas en Palmar de las Islas (superior) y el Cerro León (inferior). El Dr. Fernando A. Larroza C. examina un aparente paleo-nido orgánico (encerrado por el círculo) en areniscas blancuzcas. La foto de abajo corresponde a una exposición de cuarcitas en el Cerro León -con deformación plástica que se piensa sea debido al inferido fenómeno de impacto. Ambas fotos fueron tiradas por la Msc. Sandra Fariña D. (2002 y 2015).

como comentado en el inicio de este Ítem, finalmente estarían casi que totalmente sepultados por sedimentos Recientes.

La Fig. 13 muestra las exposiciones de los sedimentos Siluro-Devónicos de Palmar de las Islas y del Cerro León. En Palmar de las Islas, Presser (2002) menciona haber observado estratos tumbados y fracturados en los sedimentos Siluro-Devónicos. En el Cerro León fue observado que areniscas en algunos puntos están transformadas en cuarcitas. En unas exposiciones de la cuarcita fue observada la presencia de suave plegamiento (deformación plástica)(Fig. 13) que se atribuye haya sido debida al potencial fenómeno de impacto.



Figura 14. Exposiciones de sedimentos (conglomerados polimígticos y diamigtitas (Gomez, 1986), diamigtitas-(sl), areniscas y calcáreos, aglomerados caóticos con clastos de rodados centimétricos a casi métricos polimígticos soportados en una matriz de arena gruesa con cemento calcáreo, sedimentos con ooli-clastos (esferulitos de impacto?), micro brechas carbonática con clastos milimétricos a sub-centimétricos y otras brechas in-equigranulares calcáreas formada por clastos milimétricos a centimétricos -Presser, 2002) junto a la estación San José, Palmar de las Islas; i.e., potenciales brechas de impacto de Palmar de las Islas. En la foto inferior se puede notar fracturas aparentemente del tipo *spallation*. Foto de la Prof. Msc. (Geo) Sandra Fariña D, 2002.

La Fig. 14 muestra las exposiciones de otros sedimentos de Palmar de las Islas o sedimentos del Grupo Palmar de las Islas (Gomez, 1986);

formación sedimentaria de edad atribuida como pertenecientes al Carbonífero (Gómez, op.cit.) o Precambriana (Presser, 2002). En la zona citada junto a la Est. San José, afloran sedimentos diversos (conglomerados polimígticos y diamigtitas) que son vistos como que se tratarían de la base de una secuencia diamigtítica, con areniscas grises y verdosas, Gómez (1986). Presser (2002), también junto a la Est. San José, llegó a reconocer una secuencia de diamígtitas-(sl), areniscas y calcáreos; siendo que dentro de este paquete de sedimentos describe rocas que en forma de afloramiento locales e irregulares, están constituidos por aglomerados caóticos con clastos de rodados centimétricos a casi métricos polimígticos soportados en una matriz de arena gruesa con cemento calcáreo; sedimentos que intuyo ser producto de depósitos de taludes pretéritos.

Entre los sedimentos carbonáticos reconoció margas que poseen coloraciones en tonalidades de crema a crema blancuzco, que ocurren en forma de láminas a finos estratos. Se debe resaltar que el citado Presser además observó muestras formadas por finos ooli-clastos (esferulitos de impacto?) y micro brechas carbonática con clastos milimétricos a sub-centimétricos y otras brechas in-equigranulares calcáreas (con clastos milimétricos a centimétricos). La Fig. 14 muestra como las brechas de Palmar de las Islas se presentan muy tectonizadas con numerosas fracturas (aparente *spallation-fractures*), y que como ya mencionado por Gómez (1986) y Presser (2002), los estratos pueden estar tumbados a fallados (fenómeno de cataclismo por impacto?).

Sobre los sedimentos del Pérmico referidos en la Fig. 12 es casi nula la información que se posee. En esta franja de influencia de los sedimentos del Pérmico también ocurren sedimentos rojos del Mesozoico o Formación Adrian Jara (RIEDEX, 2009). En trabajos privados de geología el Geol. Wilmar Bartel, realizados en la zona, habría encontrado oolitos (esferulitos de impacto?) que pensó serían similares al de los sedimentos Pérmicos del Grupo Independencia de la Región Oriental (Bartel, datos no publicados, 2013).

La tectónica del Mesozoico habría transformado

y degradado los potenciales cráteres de impacto. La Fig. 15 (ver también la Fig. 5) resalta como fallas/estructuras-tipo-graben con dirección N-S, luego seguidas de otras E-W (Presser, 2014) se instalaron junto a los potenciales cráteres de impacto.

DISCUSIÓN

Cuando se estudió la configuración geología del Chaco-paraguayo se llegó a reconocer, basado en estudios gravimétricos, 4 grandes estructuras circulares en los alrededores de Cerro León. Estructuras circulares que son fácilmente reconocidas en mapas gravimétricos fríos: anomalías gravimétricas de *Bouguer* y anomalías gravimétricas negativas *free-air* e isostasia (Fig.-2). Lo mismo incluso puede ser reconocidos en mapas globales para Google-E (ftp://topex.ucsd.edu/pub/global_grav_1min/global_grav.kmz Acceso en 04/2015) o de visualización on-line: <http://portal.gplates.org/cesium/> (Acceso en 04/2015). Anomalías que fueron sospechadas como potencialmente debidas a impacto de meteoritos (Presser, 2014b y Presser *et al.*, 2015). Este trabajo se embarcó en un más atinado y depurado estudio encima de los pasos iniciales de Presser (2014b).

Las 4 grandes estructuras circulares que por su proximidad con el Cerro León fueron referidas, individualmente, como Cerro León-1, León-2, Cerro León-3 y Cerro León-4; o de manera colectiva referidas simplemente como anomalías del Cerro León. Las anomalías del Cerro León se llevaron luego a modelados 3D a partir de datos gravimétrico *free-air* (Fig. 3). El modelado mostró que las 4 grandes anomalías del Cerro León presentan forma de cono invertido o embudo (*pit*) que en virtud a su forma y descomunal dimensión (Tabla 2) se sospechó, en principio, que ellas fueron formadas por impacto de meteoritos (Presser, 2014b).

Basado en la configuración de cráteres lunares (Fig. 4) se pudo centrar estudios comparados entre las anomalías del Cerro León y los cráteres de impacto/cuenca de impacto Lunares -Korolev (~423 Km.), Minkowski (~107 Km.) y Humboldt (~199-205 Km.) -con cuanto que ellos muestran en el centro del cráter una estructura similar a

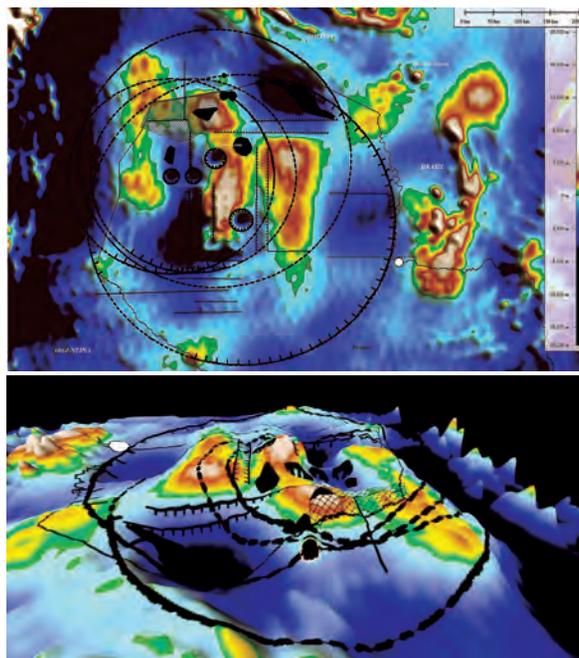


Figura 15. Aquí en las figuras una síntesis del muy potencial fenómeno de impacto del Cerro León. La geología (Figura superior), el modelado 3D de la arquitectura del basamento (Figura inferior) y las informaciones sobre espesor crustal y respuesta magnética se entrelazan armoniosamente apoyando un muy potencial fenómeno de impacto en los alrededores del Cerro León; i.e., cuenca de impactos multiple del Cerro León. Fallas del Mesozoico (lineas/lineas con dientes N-S y E-W en las figuras) habrían comenzado a degradar y desfigurar la mega estructura. Base de datos de la geología: RIEDEX, 2009; Proyecto PAR 83/005, 1986; Velazquez, 1996; Gomez, 1986 y Presser, 2002. En la escala los valores superiores a cero deben ser omitidos.

anomalías del Cerro León (Fig. 3 y 5) (*central pit crater*). De los 3 cráteres lunares siendo el cráter Humboldt con el que mayor semejanza fue encontrada.

En mente el cráter Humboldt se pudieron proyectar los eventuales bordes de las anomalías del Cerro León para con ello estimar el diámetro aparente. Se observó que la depresión en forma de cono invertido (*central pit*) en el cráter Humboldt era 13 veces menor al diámetro de su borde (cresta); de esta forma se estimaron los diámetros de los potenciales cráteres de impacto (cráter final) del Cerro León en: Cerro León-1 ~447 Km.; Cerro León-2 ~503 Km.; Cerro León-3 ~338 Km. y Cerro León-4 ~335 Km. (Fig. 5) -potenciales cuencas de impacto.

Con cuanto ellos se inter-penetran se los debería de considerar como potenciales cráteres múltiples (Fig. 12 y 15). Cerro León-1 y Cerro León-2 se mostraban con mayor fuerza como potenciales cráteres de impacto; mientras que se sospechó que Cerro León-3 y Cerro León-4, por presentar características menos destacadas, podrían tratarse más bien de cráteres secundarios. Según Taylor (1982) una complicación adicional es que los grandes proyectiles secundarios resultan de la formación de cuenca multi-anillo y pueden crear cráteres secundarios tan grandes como 25 kilómetros de diámetro.

Por un lado, si bien los datos gravimétricos de anomalías de *Bouger* y de anomalías negativas *free-air* e isostasia junto a los datos gravimétricos *free-air* -que configura la profundidad y arquitectura del basamento- ayudaron a colocar a las anomalías del Cerro León como potencialmente debidas a gigantes cráteres de impacto/o cuencas de impacto -muy similares al estilo de craterización encontrado en el cráter lunar Humboldt; por otro lado, se puede ver en la literatura científica especializada que las características del espesor crustal anómalo y las configuraciones magnetométricas que resalten anomalías positivas o negativas serán las que imprimirán, de tratarse de cráteres/cuencas de impacto, un sello característico (*fingerprint*) como consecuencia del fenómeno de impacto.

La deformación del manto debajo de muchos grandes cráteres lunares y marcianos se han modelado a partir de datos de gravimetría, y su estructuración fueron atribuidos a la rápida elevación del manto tras el impacto (p/ej. Neumann *et al.*, 2004). Christeson, *et al.* (2009) opinan que los resultados del acortamiento del espesor crustal (1,5 a 2 Km.) obtenidos para el cráter de Chicxulub (Méjico) demuestran que la deformación se extendería a la base de la corteza continental. De este modo, los citados autores suponen que también los grandes impactos terrestres pueden extenderse a la base de la corteza continental.

Como indicado en la Fig. 8 los potenciales cráteres/cuencas de impacto del Cerro León muestran una desviación con relación al espesor crustal (aparente) de su entorno (ver también lo indicado en

Rosa *et al.* (2016))(Deformación que por lo general se traduce en acortamiento crustal). Es ahora tiempo de comparar con lo que se presenta en los ya bien reconocidos mega-cráteres terrestres Vredefort y Chicxulub y a la vez comparar con los estimado para el cráter lunar Humbolt (entre otros) -lo encontrado en la comparación es sintetizado en la Tabla 3. Los valores del acortamiento del espesor crustal de los potenciales cráteres/cuencas de impacto del Cerro León muestran ser superiores a el cráter Chicxulub (miles de metros) donde el potencial *target* impactado sería similar (rocas de lecho marino/costa).

Así también, valores de espesor crustal (acortados) de los potenciales cráteres/cuencas de impacto del Cerro León muestran ser superiores a del cráter Vredefort (algunas centenas de metros) donde el potencial *target* impactado sería muy diferente (rocas cristalinas). El cráter Humbolt (y otros de la misma Tabla 3), que muestra valores de espesor crustal (acortados) superiores al de los potenciales cráteres/cuenca de impacto del Cerro León, sirve de referencia comparativa. La diferencia en los valores de la deformación crustal serían debidas a las edades y/o podrían deberse a la diferencias en el tamaño del impactor. Como se ve en la Tabla 3, cráteres lunares antiguos (p/ej. Mare Crisium) presentan valores extremadamente elevados (de acortamiento) con relación a cráteres recientes (p/ej. Tycho). La muy probable cuenca de impacto de 500 Km. Wilkes Land, en la Antártica (Frese *et al.*, 2009), es también usado como un referente y parece mostrar valores de espesor crustal (acortado) ligeramente superiores a los potenciales cráteres/cuencas de impacto del Cerro León. Wilkes Land (250 a 500 Ma. http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_impact_craters_on_Earth Acceso 05/2015) muy probable cuenca de impacto que más adelante será nuevamente comentado.

Mapas de anomalías magnéticas proporcionan información sobre la estructura del subsuelo y la composición de la corteza terrestre (<http://geomag.org/models/emag2.html> accesado el 05/2015). Junto a la potencial área impactada de los cráteres/cuencas de impacto del Cerro León -con base a los valores de EMAG2 y muy especialmente a los

Tabla 3. Diferencia de espesor crutal (m.) aparente (acortamiento crustal) comparado en los potenciales cráteres de impacto del Cerro León y los cráteres Vredefort y Chicxulub (terrestres) -todos calculados según el procedimiento indicado en el Ítem 1. En la elaboración de todos y las comparaciones no se consideran las asimetrías topográficas. *<http://planetarynames.wr.usgs.gov/> (accesado 05/2015); Cráteres lunares a modo de comparación, donde el espesor crustal fue extraído de **<ftp://pdsimage2.wr.usgs.gov/pub/pigpen/moon/grail/> según las indicaciones dadas en ftp://pdsimage2.wr.usgs.gov/pub/pigpen/moon/grail/GRAIL_CrustalThickness_README.txt (accesado en 04/2015). ***Baker et al. (2011). ****Shoemaker (1998), *****Frese et al. (2009).

Cráter	Largo X ancho (Km) estimado	Diferencia de espesor crustal (m) aparente (acortamiento crustal)	Ambiente
Cerro León	~590X533 ("cráter final")	~6700	Cerro León Cráteres (potenciales) enterrados impactados en rocas de lecho marino/costa
Vredefort	~194 (cráter final)	~6300	Cráter expuesto de rocas cristalinas.
Chicxulub	~170-190 (cráter final)	~1900	Cráter enterrado impactado en rocas de lecho marino/costa
Wilkes Land, Antarctica	500*****	~7600	Continente Antartico
Humboldt (3800-Ma)	~199* ~205***	~16000**	
Copernicus (800 Ma)*****	~96*	~17000**	
Tycho (100 Ma)	~86*	~5600**	Terreno lunar
Mare Crisium (3920 a 3850 Ma)	~555*	~44800**	

valores de NGDC-720 versión 3.0 se configuró una bien contrastada anomalía magnética positiva con relación a su entorno (Fig. 9). La diferencia de los valores (nT) menores registrados para los cráteres/cuencas de impacto del Cerro León cuando comparadas a los valores reportados para Vredefort serían debidas a la presencia de sedimentos capeando al primero, mientras que el segundo está expuesto en un entorno de rocas cristalinas. En el área de los potenciales cráteres/cuencas de impacto del Cerro León la elevada anomalía positiva contrasta con un collar de anomalía negativa; -el collar de anomalía

negativa se debería a la presencia de varios miles de metros de sedimentos por encima de la base.

Los resultados y los análisis realizados al respecto de espesor crustal y la contrastada anomalía magnética positiva central obtenida junto al área del Cerro León dan soporte a la idea de que sea consecuencia de gran impacto por meteorito; i.e., se tratarían de muy probables cráteres/cuencas de impacto. El área de los muy probables cráteres/cuencas de impacto del Cerro León como se indicó estaría ocupada por 4 grandes estructuras entrelazadas: Cerro León-1, Cerro León-2, Cerro León-3 y

Cerro León-4. Estructuras que por la dimensión del área afectada por el potencial impacto ser superior a 300 Km. (ver Ítem 1)(Tabla 3) se tratarían de muy probables cuencas de impacto.

Cuando se observa la Fig. 15 no resaltan truncamiento de las paredes de las muy probables cuencas de impacto producto de la superposición de las estructuras que se solaparon -esto podría deberse a que:

- 1- La erosión o el sepultamiento y/o incluso el efecto destructivo de una tectónica transformante del Mesozoico (Ver Ítem 4).
- 2- Se deban a que Cerro León-1 y Cerro León-2 se formaron simultáneamente o con diferencia de fracciones de segundo donde Cerro León-2 debió ser el primero en impactar y así pulverizar el objeto impactado (sedimentos de edad Siluro/Devónico). El impactor que formo Cerro León-1 debió estrellarse a seguir sin desdibujar o afectar la cuenca formada por el impactor de Cerro León-2 -todo esto ocurriendo en un ambiente marino donde se supone el lecho estaría ocupado por sedimentos no consolidados o pobremente consolidados. Se piensa que Cerro León-3 y Cerro León-4 se formaron a partir de otros 2 fragmentos separados del impactor (hipótesis más plausible) o ellos se habrían formado luego, pero probablemente, a partir de proyectiles de rebote ocasionados por los impactores de Cerro León-1 o y/o Cerro León-2.

Como ya en parte comentado en el Ítem 4, las muy probables cuencas de impacto del Cerro León se encuentran mayormente sepultadas. Apenas en Cerro León-1 en sus bordes al NE. estaría expuesta una ventana de sedimentos levantados atribuidos al Pérmico (Fig. 12 y 15) y en el E. ventanas del basamento (Fuerte Olimpo, Vallemi) formarían parte de la pendiente exterior de la cresta de la cuenca. En la ciudad de Vallemi, Campanha *et al.* (2010) realizaron estudios estructurales de los calcáreos que se encuentran plegados y el plegamiento atribuyeron al empuje de un cinturón móvil (Precámbrico Superior-Eocámbrico) situado al W (en dirección al centro de Cerro León-1)(Fig. 12 y 15). Lo pen-

sado por Campanha *et al.* (2010) podría colisionar con una potencial deformación de los calcáreos de Vallemi debida al fenómeno de craterización de Cerro León-2.

Exposiciones del basamento levantado Siluro/Devónico al NNW (Cerro León, La Gerenza, Palmar de las Islas y Cerro San Miguel) (Fig. 12 y 15) como comentado en el Ítem 4., parecen islas levantadas en varios miles de metros en el rincón NW de la potencial área impactada del Cerro León, donde formarían altos estructurales/altos estratigráficos. El Cerro León se levanta desde su base (Fig. 6, 7, 12 y 15) ~1000 m. De acuerdo con Proyecto PAR 83/005 (1986) la atribuida edad Siluro/Devónico en las localidades comentadas y particularmente en el cerro León, parece ser corroborada por la presencia en estos sedimentos (arenisca micácea amarilla grisácea a marrón rojiza, de grano fino) de fósiles de invertebrados: *Favosites* sp, *Chonetes falklandicus* (Morris y Sharpe), *Leptocoelia flabelites* (Conradi), *Tentaculites stubeli* (Clarke), *Lamellibranchiata* indet., *Tentaculites* sp., Briozoos, entre otros. Ya en niveles superiores del paquete Silúrico está constituido por lutitas arcillosas, verde oliva a grisáceas y finos estratos de areniscas de grano fino, que han proporcionado *Tentaculites* sp y Briozoos indeterminados.

Otros detalles relevantes, desde el punto de vista craterización por impacto, se tienen al considerar los sedimentos “diamígtíticos” atribuidos como formados en el Carbonífero (Gomez, 1986) o el Precámbrico (Presser, 2002) que están bien expuestos en Palmar de las Islas (Fig. 13 y 16). En Palmar de las Islas Presser (2002) describe brechas y conglomerados/aglomerados polimícticos -en algunos puntos donde ellos se encuentran como estratos tumbados y fracturados (ver también comentarios de Gomez, 1986) -hechos muy compatibles con lo descrito en cráteres de impacto (p/ej. French, 1998; Collins *et al.*, 2012; Gareth *et al.*, 2012; entre otros).

La base de datos de pozos petrolíferos del Vice-ministerio de Minas y Energía (<http://www.ssme.gov.py/>) y algunas descripciones encontradas en Clebsch (1991) permiten pinzar la presencia de estas “diamígtitas” en el subsuelo y en diferentes

coordinadas dentro de la mega-estructura del Cerro León. Se piensa que estas “diamígtitas” podrían ser más bien brechas de impacto y/o, en último caso, sedimentos debidos a la craterización del Cerro León. De acuerdo con Oberbeck *et al.* (1993) la textura de depósitos formados por impacto es semejante al de tillitas y diamígtitas; incluso sugieren que muchos de estos sedimentos tenidos como de origen glacial más bien se hayan formado por fenómenos de impacto.

Es muy probable que sedimentos con oolitas de Palmar de las Islas Presser (2002) y los oolitos comentados como presentes en sedimentos Pérmicos (?) (Geol. Wilmar Bartel) se traten más bien de esferulitos de impacto. Afirmar que los sedimentos del Pérmico pudieron haber sido parte del *target-rock*, en base a la poca información accedida, podría ser poco robusta; pues además se podría pensar que ellos se habrían formado dentro de la cuenca del potencial impacto. De forma que, el conjunto litológico (sedimentos “diamígtíticos”, brechas, presencia de potenciales esferulitos de impacto) de Palmar de las Islas se sospecha que se habrían formado por proceso de impacto.

A la luz de todo lo comentado se evidencia un muy probable fenómeno de impacto gigante en el Chaco; las cuencas de impacto Cerro León-1 y Cerro León-2 y cuencas de impacto sospechadas como secundarias Cerro León-3 y Cerro León-4. Aparentemente el fenómeno de impacto se habría dado entre el Devónico (roca impactada -el basamento Siluro-Devónico) y el Mesozoico (sistemas de grabens N-S y posteriores E-W, posicionados en la muy potencial estructura de impacto Cerro León (Fig. 15), se darían entre 140 Ma. a 130 Ma., según comentarios de Presser, (2014b)).

La tasas de bombardeo y formación de cráteres durante el tiempo geológico o tasa de bombardeo de meteoritos dentro del sistema Tierra-Luna durante los últimos 4000 Ma. (p/ej. French, 1998) parece no admitir el hecho que ocurran cuencas de impacto de edad pos Precámbrico en la Tierra, por lo que es una indicación que sería incorrecto el pretender un muy probable fenómeno de impacto gigante en el Chaco -cuenca de impacto. La mayoría de los datos,

en cuenta en la tasa de bombardeo de meteoritos dentro del sistema Tierra-Luna, esta basada en datos lunares y escasos terrestres. La mayor tasa de craterización (grandes cráteres) en la Luna es por vuelta de 3200 Ma., produciéndose un muy bajo porcentaje de nuevos cráteres posteriores a esta edad -si bien son datos estadísticos con considerables inexactitudes (Shoemaker, 1998). Copernicus de 96 Km (aproximadamente 800 Ma) y Tycho con 86 Km (unos 100 Ma) (ver datos en la Tabla 3) son los cráteres lunares más jóvenes aun registrados.

Se cree que para la Tierra no sería muy correcto afirmar, basado en un marco de modelo teórico, como imposible cuando no se ha trabajado lo suficiente (marco real) para sustentar esta sentencia relevante a la “tasa de bombardeo de meteoritos dentro del sistema Tierra-Luna”. Anomalías de cráteres de impacto terrestres son día a día descubiertas o sospechadas, esto probablemente debido a que los ojos de los investigadores del tema estarían más aguzados.

Se cita algunos ejemplos potenciales que quebrantarían las reglas de “tasa de bombardeo de meteoritos dentro del sistema Tierra-Luna”: Wilkes Land, Antártica con 500 Km. Frese *et al.* (2009); Shiva de 600 X 400 Km. (Chatterjee *et al.*, 2006); Malvinas de más de 200, en torno de 350 Km de anomalía gravimétrica circular y atribuida como estructura de impacto ocurrida entre el fin de Paleozoico/inicios del Mesozoico (ver en Acevedo *et al.*, 2015; Rocca & Presser, 2015 y Presser -datos no publicados); Amazonas de 3500 Km. -centrado en la Cuenca del Amazonas, Brasil y propuesto como fenómeno ocurrido entre 100 a 85 Ma. (Burgener, 2013) y MAPCIS con ~650km en Australia (Connelly & Presser, 2015). O la larga lista de *List of impact craters on Earth: Large unconfirmed craters* publicado en http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_impact_craters_on_Earth (Acceso en 04/2015).

Limitando al continente Sudamericano, se pueden citar otras anomalías:

- 1- Argentina: Innominada anomalía gravimétrica circular de 33 Km similar a las de Cerro León (i.e., *central pit crater*, en discusión con el Prof.

Dr. Azevedo y Maximiliano Rocca) centrado en las coordenadas -48.856228° S y -68.590150° W (donde el diámetro de cráter, si llevado en consideración lo aquí comentado con relación al diámetro de las anomalías de Cerro León, podría ser de 429 Km.) -se infiere, de acuerdo a la geología, una aparente edad pre-Mesozoico; Bahía de San Jorge (Continente-océano) que también se configura como una anomalía gravimétrica y topográfica circular de 317 Km centrado en las coordenadas -46.044633° S y -65.789830° W. -Bahía de San Jorge si bien refutado por Azevedo *et al.* (2015), se considera debería ser revisto con detalles minuciosos por que se trataría de una cuenca de impacto.

2- Brasil: Morro do Urucum, anomalía gravimétrica circular (varios anillos concentricos) de 234 Km. que al modelar con las herramientas gravimétricas aquí comentadas configuran un aparente cráter en el estilo del cráter-Chicxulub; i.e. pico central rodeado de anillo en pico. Detalles muy claros sobre la geología, mismo que el trabajo no considere como un probable cráter de impacto, puede ser deducidos de las tesis de Freitas (2010). Centrado en las coordenadas -19.211160° S y -57.575532° W -en parte este potencial cráter de impacto puede ser visto en las Fig. 2, 12 y 15. Habría impactado en el Meso-Proterozoico. -Porto Seguro (Continente-océano), anomalía gravimétrica (negativa) y topográfica circular de 130 Km. Centrado en las coordenadas -16.893370° S y -38.144907° W.

La confirmación del muy probable fenómeno de impacto gigante en el Chaco podría ser de importancia científica y económica. Hoy en día es reconocido el fenómeno de impacto de meteoritos como que juegan un papel relevante en la presencia de minerales y/o eventualmente albergar yacimientos de hidrocarburos (p/ej. Westbroek & Stewart, 1996; Osinski & Pierazzo, 2013).

De acuerdo a comentarios de Ludovic Ferreire (com. pers.), la confirmación de una nueva estructura de impacto de meteoritos necesita ser apoyada por la presencia de indicadores metamorfismo de choque, ya sea megascópica (por ejemplo, conos

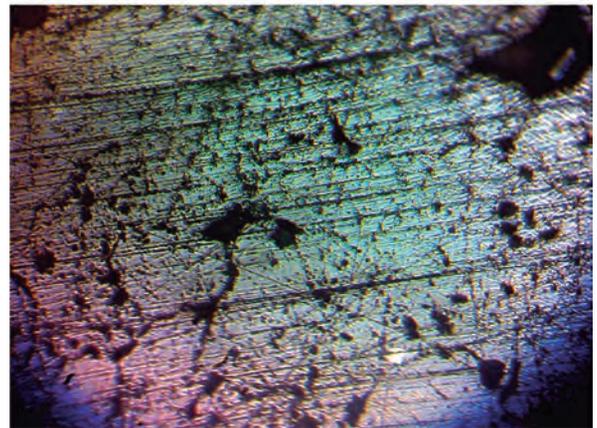
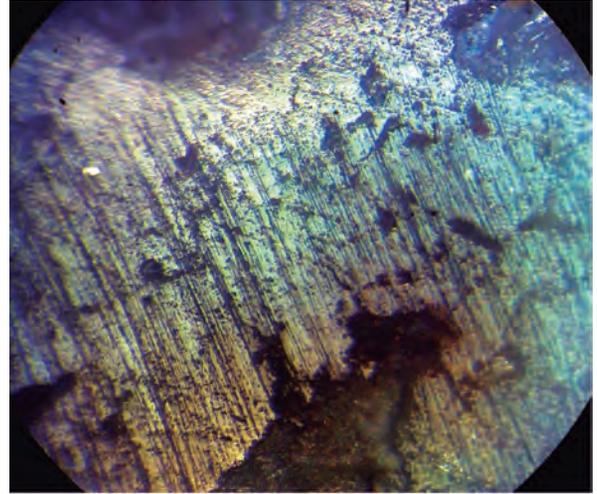


Figura 16. PDFs en cuarcita de Cerro León. En una muestra de cuarcita colectada en Cerro León se practico “abrir una ventana” con la intención de pesquisar sobre criterios que confirmen metamorfismo de choque en el material. Así las fotos muestran en granos de cuarzo (nícoles cruzados) PDFs no decorados a parcialmente decorados con 1 dirección marcante (NW foto superior y ~E-W en la foto inferior) y otra/s mas sutil/les. Microscopia (Vintage Leitz MOP Polarizing Ore Petrographic Pol. Microscope) en alrededor de 400X; fotografías de cámara digital no profesional.

astillados) o microscópica (por ejemplo, la deformación planar en minerales), o por la presencia de polimorfos de alta presión (por ejemplo, coesita y stishovita) y/o elementos siderófilos (por ejemplo, iridio) o por anomalías isotópicas (por ejemplo, en osmio) en entornos geológicos específicos (<http://www.meteorimpactearth.com/impactmeta.html> Acceso en el segundo trimestre del 2015).

La deformación planar (PFs y PDFs, P/ej.

French (1998) y referencias) en los granos de cuarzo, que se desarrollan entre el rango de presión 5-10 GPa a aproximadamente 35 GPa, es uno de los mejores criterios para la identificación de nuevas estructuras de impacto (Osinski & Pierazzo, 2013 y referencias). A finales de febrero del 2015 en una visita a Cerro León con los alumnos de Ingeniería Geográfica y Ambiental de la Universidad Nacional de Asunción se colectaron algunas muestras de cuarcita en las proximidades de la cuarcita-consuave-plegamiento (deformación plástica) que es mostrada en la Fig. 13. En en dos muestras de puntos distintos se practicó “abrir una ventana” con la intención de pesquisar sobre criterios que confirmen metamorfismo de choque en ellas.

La Fig. 16 evidencia la presencia de PFs y PDFs en una de las muestras; mientras que en otra se constató la presencia de vidrio diaplético. Esta tarea preliminar vendría a aproximar y apoyar la confirmación del muy probable fenómeno de impacto gigante en el Chaco.

CONCLUSIONES

Cuatro grandes estructuras circulares (Tablas 1 y 2) en los alrededores de Cerro León (Región Occidental o Chaco), que fueron previamente indicadas como potenciales estructuras de impacto, se concluye que se tratarían de muy probables estructuras de impacto; muy probables estructuras de impacto de Cerro León = *Most probable* (<http://impacts.rajmon.cz/IDdata.html> Consultado en 05/2015). Y esto se basa en:

- Estudios de gravimetría, de magnetometría; acompañados con algo de geología de superficie. Las muy probables estructuras de impacto de Cerro León definirían muy grandes cráteres de impacto que muestran configuración circular que consisten en anomalías (gravimétricas) positiva central, rodeada (en gran parte) por un collar/semi-collar de anomalía negativa, y un anillo externo de anomalía positiva. La configuración basada en el modelado 3D del basamento indica muy probables cráteres de impacto gigantes; o más propiamente, en virtud a las dimensiones encontradas, cuencas de im-

pacto: Cerro León-1 ~447 Km.; Cerro León-2 ~503 Km.; Cerro León-3 ~338 Km. y Cerro León-4 ~335 Km.

- Estudios comparativos con cráteres lunares en modelados 3D sobre una información de gravimetría *free-air* (que configura la profundidad y arquitectura del basamento).
- Las configuraciones ensayadas sugirieron que presentarían un estilo de craterización compatible con lo observado en el cráter Humboldt.
- La configuración del espesor crustal (a partir de los datos de gravimetría de *Bouguer*) que evidencia una marcada desviación del espesor crustal (aparente) con relación a su entorno, (propio de observar en mega-cráteres lunares como el de Humboldt y terrestres como el de Chicxulub o el de Vredefort); i.e. muestran un acortamiento o disminución del espesor crustal bien expresivo.
- Modelado 3D magnetométrico que configura una anomalía positiva magnética bien expresiva como también encontrado en el mega-cráter Vredefort. La desviación del espesor crustal y la anomalía positiva magnética bien expresiva son interpretadas como debidas, a que por efecto de un impacto muy considerable, se habría producido un levantamiento del manto litosférico que habría sido afectado.

Cerro León-1, Cerro León-2, Cerro León-3 y Cerro León-4 constituirían potenciales cuencas de impacto que se interpenetran. Se piensa que Cerro León-2 fue el primero en impactar y así transformar el suelo impactado (*target-rock*) seguido del impacto de Cerro León-1. Cerro León-1, Cerro León-2, Cerro León-3 y Cerro León-4 formarían conjuntamente una muy probable cuenca de impacto entrelazada de ~590X533 Km.; i.e., muy probable cuenca de impacto Cerro León -que se habrían formado a través de múltiples impactos vecinos.

Debido a la falta de datos sobre los sedimentos del Pérmico junto a la mega-estructura de impacto no se puede tener la certeza que ellos hayan sido golpeados (*target-rock*) por el impactor. Por esta razón se cree mejor concluir que el fenómeno de

impacto se habría dado en las vecindades de la costa de un mar Siluro/Devónico. Y por cuanto que la muy probable cuenca de impacto estaría afectada por tectónica pre-140 Ma., se infiere una edad tentativa de formación del Pos-Devónico (inferior) a pre-140 Ma.

Cuando observada la geología encima del área de la muy probable cuenca de impacto Cerro León, la exposición de sedimentos Siluro/Devónicos en esa zona permiten suponer se deba al levantamiento en miles de metros del basamento. Sedimentos diamícticos, donde ocurren brechas y depósitos gruesos a muy gruesos y en los que también se llegaron a reconocer potenciales esferulitos de impacto -empujan muy fuertemente a una interpretación de que más bien ellos habrían sido formadas por el proceso de craterización de impacto. Ventana de sedimentos del Pérmico en los bordes (cresta) al NE de la muy probable cuenca de impacto Cerro León-2 también cargarían con potenciales esferulitos de impacto.

La degradación de la muy probable estructura de impacto Cerro León se habrían dado fuertemente al W -vecino a la zona de sutura del cinturón de los Andes, que debió estar acompañado de una des-configuración fruto del *stress* de la Placa Sud-americana sometida a la deriva continental -esto en el Mesozoico. Una oleada final de degradación habría afectado la cresta SE de Cerro León-2 en el Terciario debido al ingreso marino. Sedimentos del Cuaternario habrían colmatado los últimos resquicios de la muy probable cuenca de impacto Cerro León. La muy probable estructura de impacto Cerro León, -un inferido fenómeno de impacto múltiple, en sus conclusiones es gráficamente sintetizado en la Fig. 15.

Al “abrir una ventana” en una muestra de cuarcita colectada en el Cerro León evidenciaron metamorfismo de choque (Pfs, PDFs y vidrio diapléctico). Tarea preliminar que vendría a aproximar y apoyar la confirmación del muy probable fenómeno de impacto gigante en el Chaco.

Se verá en inmediatos futuros trabajos ampliar el espectro de reconocimiento de metamorfismo de impacto en rocas de/alrededores del Cerro

León, Palmar de las Islas, etc. para con ello dar in-ambiguas evidencias del fenómeno de impacto gigante junto a las muy probables estructuras de impacto de Cerro León.

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos sobre Las muy probables estructuras de impacto Cerro León encontraron respaldo en el apoyo del Dr. Fernando A. Larroza C. y la Sra. M. Sc. Sandra Fariña D. -<http://www.ongagua.org.py/> por lo que se les está muy agradecido. Profesor (M. Sc. Sandra Fariña D.) y alumnos de Ingeniería Geográfica y Ambiental de la Universidad Nacional de Asunción contribuyeron en el viaje de campo (2015) que aproximo de datos sobre el Cerro León por lo que son dignos de especial reconocimiento y gratitud. Un especial agradecimiento a “Berna” Rodríguez por su contribución del estudio preliminar de las cuarcitas de Cerro León. El investigador Maximiliano Rocca apporto muy importantes “detalles” en la confección de este material por lo que la gratitud a su persona es amplia. Cerrando, se agradecen muy especialmente las debidas intervenciones de los revisores de este trabajo.

LITERATURA

- ACEVEDO, R.D.; C. L. ROCCA, M.; PONCE, J.F. & G. STINCO, S. 2015. Impact Craters in South America. Springer-Briefs in Earth System Sciences. 104 Pag. DOI: 10.1007/978-3-319-13093-4.
- ADEPELUMI, A.A.; FONTESB, S.L.; SCHNEGGC, P.A. & FLEXORB, J.M.; 2005. An integrated magnetotelluric and aeromagnetic investigation of the Serra da Cangalha impact crater, Brazil. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 15: 159–181.
- ASSUMPCÃO, M.; FENG, M.; TASSARA, A. & JULIÀ, J.; 2013. Models of crustal thickness for South America from seismic refraction, receiver functions and surface wave tomography. *Tectonophysics* 609: 82–96.
- BAKER, D. M.H.; HEAD, J.W.; FASSETT, C.I.; KADISH, S. J.; SMITH, D.E.; ZUBER, M.T. & NEUMANN, G. A.; 2011. The transition

- from complex crater to peak-ring basin on the Moon: New observations from the Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) instrument. *Icarus* 214: 377–393.
- BARLOW, N.G.; MAINE, A. & S. FERGUSON, S.; 2015. Central Pit Craters Across The Solar System. *Bridging the Gap III*, 1104.
- BYRNE, C.J.; 2013. The Moon's Near Side Megabasin and Far Side Bulge. *SpringerBriefs in Astronomy*, DOI: 10.1007/978-1-4614-6949-0_2.
- BURGENER, J.A.; 2013. Massive Impact Craters And Basins On Earth: Regarding The Amazonas A 3500 km multi ring impact basin . 5051.pdf 76th Annual Meteoritical Society Meeting.
- CHATTERJEE, S.; GUVEN, N.; YOSHINOBU, A. & DONOFRIO, R.; 2006. Shiva Structure: A Possible K-t Boundary Impact Crater On The Western Shelf Of Indiamus. *Texas Tech. University, Spec. Publ.*, 50, 1–39.
- CHRISTESON, G.L; COLLINS, G.S.; MORGAN, J.V.; GULICK, S.P.S.; BARTON, P.J., & WARNER, M.R.; 2009. Mantle deformation beneath the Chicxulub impact crater *Journal: Earth and Planetary Science Letters*, Vol: 284: 249 – 257.
- CAMPANHA, G.A.C.; WARREN, L.; BOGGIANI, P.C.; GROHMANN & C.H., CÁCERES, A.A.; 2010. Structural analysis of the Itapucumí Group in the Vallemí region, northern Paraguay: Evidence of a new Brasiliano/Pan-African mobile belt *Journal of South American Earth Sciences*. 30: 1-11
- CLEBSCH, C.; 1991. The Geological Evolution Of The Paraguayan Chaco. A Dissertation In Geoscience, Submitted to the Graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor Of Philosophy, 217 pp.
- COLLINS, G. S.; MELOSH, H. J. & OSINSKI, G. R. ; 2012. The Impact-Cratering Process. *ELEMENTS*, VOL. 8: 25–30.
- CONNELLY, D. P. & PRESSER, J.L.B.; 2015. MAPCIS, NEW IMAGING REVEALS DEEP STRUCTURE. 2015 GSA Annual Meeting in Baltimore, Maryland, USA (1-4 November 2015). Paper No. 45-6.
- CORDANI, U.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; COUTINHO, J.M.V.; & RUIZ, A.S.; 2010. The Rio Apa cratón in Mato Grosso do Sul (Brazil) and northern Paraguay: geochronological evolution, correlations and tectonic implications for Rodinia and Gondwana. *American Journal of Science*, 310: 981-1023.
- CRÓSTA, A.P.; 1982. Mapeamento Geológico do Domo de Araguinha utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto. Dissertação (Mestrado) – INPE-CNPq, São José dos Campos, São Paulo, 108p.
- DYPMVIK, H.; TSIKALAS, F. & SMELROR, M.; 2010. The Mjølnir Impact Event and its Consequences, Geology and Geophysics of a Late Jurassic/Early Cretaceous Marine Impact Event, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 320 pp.
- ELDER, C.M.; BRAY, V.J. & MELOSH, H. J.; 2012. The theoretical plausibility of central pit crater formation via melt drainage. *Icarus* 221: 831–843
- FREITAS, B.T.; 2010. Tectônica E Sedimentação Do Grupo Jacadigo (Neoproterozóico, MS). Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 144 pp.
- FRENCH, B.M.; 1998. Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures. LPI Contribution No. 954, Lunar and Planetary Institute, Houston. 120 pp.
- GOMEZ, D.D.; 1986. Contribución al conocimiento de la Geología del Norte del Chaco Paraguayo. Comando en Jefe de las FFAA de la Nación. IIIer. Cuerpo de Ejército. 27 p. Lagerenza – Paraguay.
- GULICK, S.P.S.; CHRISTESON, G.L.; BARTON, P.J.; GRIEVE, R.A. F.; MORGAN, J. V. & URRUTIA-FUCUGAUCHI, J.; 2013. Geophysical characterization of the Chicxulub impact crater, *Rev. Geophys.*, 51: 31–52.
- HARTMANN, W. K., & KUIPER, G. P.; 1962. No.

- 12 Concentric Structures Surrounding Lunar Basins. 93 Pag. Comm. Univ. Ariz. Lunar Planet. Lab., 1, (12).
- HENKEL, H.; REIMOLD, W.U. & KOEBERL, Chr.; 2002. Magnetic and gravity model of the Morokweng impact structure. *Journal of Applied Geophysics* 49: 129–147.
- HERNÁNDEZ, O.; KHURAMA, S. & ALEXANDER, G. C.; 2011. Structural Modeling Of The Vichada Impact Structure From Interpreted Ground Gravity And Magnetic Anomalies. *Boletín de Geología* Vol. 33, N° 1: 15-26.
- KAZZUO-VIEIRA, C.; CROSTA, A.; GAMBOA, F. & TYGEL, M.; 2009. Caracterizacáo Geofísica Da Estrutura De Impacto Do Domo De Varge Ao, Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27 (3): 375-388.
- LE ROUX, J.P.; 2012. A review of Tertiary climate changes in southern South America and the Antarctic Peninsula. Part 1: Oceanic conditions. *Sedimentary Geology* 247–248: 1–20.
- MUUNDJUA, M.; HART, R. J. ; GILDER, S. A.; CARPORZEN, L. & GALDEANO, A.; 2007. Magnetic imaging of the Vredefort impact crater, South Africa. *Earth and Planetary Science Letters* 261: 456–468.
- NEUMANN, G.A.; ZUBER, M.T.; WIECZOREK, M.A.; MCGOVERN, P.J.; LEMOINE, F.G., & SMITH, D.E.; 2004. Crustal structure of Mars from gravity and topography: *Journal of Geophysical Research*, v. 109, E08002, doi: 10.1029/2004JE002262.
- OBERBECK, V. R.; MARSHALL, J.R., & AGGARWAL, H.; 1993. Impacts, Tillites, and the Breakup of Gondwanaland. *The Journal of Geology*, volume 101, p. 1-19.
- OSINSKI, G. R. & PIERAZZO, E.; 2013. *Impact Cratering Processes and Products*. John Wiley y Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK. 360 pg.
- PRESSER, J.L.B.; 2002. Informe sobre la algunos aspectos de la geología junto a la Estancia San José, Palmar de las Islas en el Dpto. de Alto Paraguay – Chaco. (Inédito), DOI: 10.13140/RG.2.1.4946.8321.
- PRESSER, J.L.B.; 2014a. Distinción Sismológica Entre El Manto Arqueozoico Y El Proterozoico: Una Actualizacion del Cratón Rio de la Plata. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural del Paraguay*. Vol. 18, n° 1: 62-66.
- PRESSER, J.L.B.; 2014b. Configuración del escenario geológico de la región occidental. (Inédito), DOI: 10.13140/RG.2.1.4291.4728
- PRESSER, J.L.B.; QUINONEZ, O.F.; BALLER, L.; BADER, M. & CANTERO, J.C.; 2015. Capítulo 7, Paraguay. 73-76, in Acevedo *et al.* (editores). *Impact Craters in South America*. Springer-Briefs in Earth System Sciences. 104 pp.
- PROYECTO PAR 83/005, 1986. Mapa Geológico del Paraguay (1 mapa 1: y texto explicativo). Realización por Palmieri y Fúlfaro, Asunción Paraguay. Gov. Rep. del Paraguay/ONU.
- RAMOS, V.A.; VUJOVICH, G.; MARTINO, R.; & OTAMENDI, J.; 2010. Pampia: A large cratonic block missing in the Rodinia supercontinent. *Journal of Geodynamics* 50: 243–255.
- RIEDEX, 2009. Atlas Geografico del Chaco Paraguayo. Informe y 12 Mapas Tematicos. Informe y 12 Mapas Tematicos.
- ROSA, M.L.; COLLAÇO, B.; ASSUMPÇÃO, M.; SABBIONE, N. & SANCHES, G.; 2016. Thin crust beneath the Chaco-Paraná Basin by surface-wave tomography. *Journal of South American Earth Sciences* 66: 1-14.
- ROCCA, M.C.L. & PRESSER, J.L.B.; 2015. A Possible New Very Large Impact Structure In Malvinas Islands. *Historia Natural*. Tercera Serie Volumen 5 (2): 121-133.
- SANDWELL, D. T., R. D.; MÜLLER, W. H. F.; SMITH-GARCIA, E. & FRANCIS, R.; 2014. New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure. *Science*, Vol. 346, 6205: 65-67.
- SHOEMAKER, E. M.; 1998. Long-term variations in the impact cratering rate on Earth. 7-10.

- GRADY, M. M., HUTCHISON, R., MCCALL, G. J. H. & ROTHERY, D. A. (eds); 1998. Meteorites. Flux with Time and Impact Effects. Geological Society, London, Special Publications, 140.
- TAYLOR, S. R.; 1982. Planetary Science: A Lunar Perspective. Lunar and Planetary Institute. 508 pag.
- TURTLE, E. P.; PIERAZZO, E.; COLLINS, G. S.; OSINSKI, G. R.; MELOSH, H.J.; MORGAN, J.V.; REIMOLD, W. U. & SPRAY, J. G.; 2004. Impact structures: What Does Cráter Diameter Mean?. Lunar and Planetary Science XXXV: 1772.
- VASCONCELOS, M. A. R.; 2007. Caracterização Geofísica da Estrutura de Impacto de Araguainha, MT/GO. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Universidade de São Paulo, Geofísica e Ciências Atmosféricas IAG. 175 pp.
- VELAZQUEZ-FERNANDEZ, V.; 1996. Província Alcalina Alto Paraguai: Características Petrográficas, Geoquímicas E Geocronológicas. Tesis De Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 118p.
- VON FRESE, R.R.B.; POTTS, L.V.; WELLS, S.B.; LEFTWICH, T.E.; KIM, H.R., KIM, J. W.; GOLYNSKY, A. V.; HERNANDEZ, O. & GAYA-PIQUE, L. R.; 2009. GRACE gravity evidence for an impact basin in Wilkes Land, Antarctica, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 10, Q02014, doi:10.1029/2008GC002149.
- WESTBROEK, H.-H. & STEWART, R. R.; 1996. The formation, morphology, and economic potential of meteorite impact craters. CREWES Research Report Volume 8, 34-1, 26 pp
- WIENS, F.; 1987. Geological Map: Paraguay and Adjacent Áreas 1:1000,000. Occidental Paraguay, Inc (Inédito).
- YOKOYAMA, E.; 2013. Petrologia e Magnetismo de Estruturas de Impacto da Bacia do Paraná: Reflexões sobre o Processo de Crateramento. Tesis de Doctorado. Universidade De São Paulo, Instituto De Astronomia, Geofísica E Ciências Atmosféricas. Departamento De Geofísica. 285 Pag.