



# Arco natural en la zona de Tobatí, departamento de Cordillera, Paraguay

A natural arch in the Tobatí zone, Cordillera department, Paraguay

Moisés GADEA<sup>1\*</sup>, Alcides CABALLERO<sup>2</sup>, Rafael FUGARAZZO<sup>3</sup>, Hugo AYALA<sup>2</sup>, Erica ORTEGA<sup>4</sup>, Ana GODOY<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Profesor Asistente. Petrología Sedimentaria, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción.

<sup>2</sup> Geólogo Investigador. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción.

<sup>3</sup> Profesor Adjunto. Topografía y Cartografía, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción.

<sup>4</sup> Estudiante de Geología. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción.

<sup>5</sup> Profesor Adjunto. Geomorfología, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

\* Autor de correspondencia: <moi7moses@yahoo.com>

## RESUMEN

Se reporta la presencia de un arco natural en la Cordillera de los Altos. Esta estructura se compone de areniscas de la Formación Cerro Jhû, unidad que integra el Grupo Caacupe y que pertenece al Sistema Ordovícico - Silúrico del Paleozoico Inferior del Paraguay Oriental. El arco fue modelado por intemperismo mecánico y erosión selectiva en entornos fluviales, en donde las areniscas de menor resistencia fueron eliminadas y se constituyó la bóveda, mientras que las areniscas silicificadas permanecieron y de ese modo se estableció la cúpula pétreo. El control tectónico fue relevante en la erosión y la configuración del paisaje.

**Palabras clave** — Arco Natural, Areniscas, Cerro Arco, Formación Cerro Jhû, Tectónica, Erosión.

## ABSTRACT

The presence of a natural arch is reported in the Altos Mountain Range. This structure is composed of sandstones from the Cerro Jhû Formation, a unit that is part of the Caacupe Group and belongs to the Ordovician-Silurian System of the Lower

► Ref. bibliográfica: Gadea, M.; Caballero, A.; Fugarazzo, R.; Ayala, H.; Ortega, E.; Godoy, A. 2023. "Arco natural en la zona de Tobatí, departamento de Cordillera, Paraguay". *Acta Geológica Lilloana* 34 (2): 153-171. doi: <https://doi.org/10.30550/j.agl/2023.34.2/1835>

► Recibido: 15 de agosto 2023 – Aceptado: 13 de noviembre 2023

► URL de la revista: <http://actageologica.lillo.org.ar>



► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

Paleozoic of Eastern Paraguay. The arch was shaped by mechanical weathering and selective erosion in fluvial environments, where the less resistant sandstones were removed, forming the arch, while the silicified sandstones remained, establishing the stone dome. Tectonic control played a significant role in erosion and landscape configuration.

**Keywords** — Natural Arch, Sandstones, Cerro Arco, Formación Cerro Jhû, Tectonic, Erosion.

## INTRODUCCIÓN

En Paraguay aún existe un extenso campo por explorar, investigar y reportar en lo que hace al estudio de las diversas disciplinas de las Ciencias de la Tierra, acerca de las cuales escasean los estudios acabados, publicaciones o tratados. En ese sentido, en medio de la amplitud de posibilidades en cuanto a la riqueza geológica del país, se destaca la fisiografía, la geomorfología y la geología física.

En la geología no todo se remite netamente a lo económico, en virtud de los recursos minerales, pétreos, hídricos, de hidrocarburos y su aprovechamiento; sino que también existe otra faceta con un potencial diferente, que debería ser valorada desde el punto de vista científico, educativo, paisajístico, del acervo natural y patrimonial del país.

En diferentes geografías del territorio paraguayo, especialmente en su Región Oriental, se expresan rasgos naturales y geoformas que no pasan desapercibidos, cuyos orígenes pueden ser relacionados a los procesos geológicos más diversos, y a veces se los reconoce en configuraciones muy bien delineadas y son utilizadas como ejemplos en entornos académicos, o atribuidos a actividades antropogénicas.

Las Cavernas de Concepción, los innumerables Inselbergs y Monadnocks de Amambay, los paisajes del valle de Ypacarai y los relieves diversos en la Cordillera de los Altos son sólo algunas geografías por mencionar, donde abundan estructuras y rasgos geomórficos que aún no han sido objeto de análisis y estudio.

En este trabajo se realiza una investigación acerca del Cerro Arco, en el que se emplaza una geoforma que sobresale en su entorno. Este lugar se denomina así por motivos toponímicos, y se erige en las alturas de una serranía que forma parte del plateau de la Cordillera de los Altos. Se trata de un arco natural pétreo en las afueras del centro urbano de Tobatí, en la compañía El Rosado. Este sitio es icónico en Tobatí, y si bien es visitado con bastante frecuencia para fines de esparcimiento todavía se desconoce el número de visitantes por año.

El objetivo de este trabajo es el de presentar un acercamiento a la comprensión de la naturaleza geológica, características y formación de este arco natural.

## ANTECEDENTES

El intemperismo y la erosión en areniscas alrededor del mundo pueden originar diversas expresiones geomorfológicas como arcos, alcobas, rocas pedestal, pilares, nichos, pilancones, etc. Entre los citados, se destacan aquí los paisajes de areniscas

con las formaciones arqueadas de roca conocidos como puentes naturales, o de modo más general arcos naturales (Řihošek *et al.*, 2019).

Los arcos y puentes de piedra despiertan el interés del público en general y en los geólogos. Los puentes naturales presentan formas muy variadas. Algunos son complejos y a veces de génesis debatible, pero todos ellos son producto de la meteorización y erosión de las rocas, tales como areniscas o calizas, que en parte son resistentes y en parte se degradan (Hansen, 1988).

Los puentes y arcos naturales son tipos de remanentes que señalan procesos erosivos por inundación (Oard, 2009). Evidencian la eliminación de materiales por el agua circulante que expande un cauce y que en la actualidad podría encontrarse seco (Cleland, 1910). La erosión es selectiva, en donde la roca o su porción menos resistente es socavada para formar la bóveda del arco, mientras que la cúpula permanece relativamente sin modificación (Mora, 2004).

Los arcos pueden originarse en los procesos geológicos más variados que se relacionan con la tectónica, en entornos de glaciación o litorales marinos, etc. (Wilbur, 2007a). Así también, estas geoformas presentan toda una sistematización taxonómica de acuerdo a criterios contextuales, morfológicos, dimensionales, geológicos, genéticos y en términos de madurez (Wilbur, 2007b).

Los procesos de meteorización y erosión continúan, por lo cual los arcos o puentes naturales son rasgos efímeros en el proceso geomorfológico del devenir del paisaje (Hansen, 1988).

### Ubicación Geográfica

Se encuentra aproximadamente a 3 kilómetros del casco urbano de la ciudad de Tobatí (Figura 1). Para acceder al mismo, desde el centro de Tobatí se transita por un camino vecinal hacia el suroeste hasta un descampado en la base del cerro. Luego se encumbra por una ladera rocosa que al menos en un tramo presentó cierta dificultad por su elevada pendiente. El arco natural (25.291°S, 57.104°O) se encuentra en la cota 214 m s.n.m.

### Marco Geológico

**Unidad Geológica. El Paleozoico Inferior.**— Según el mapa geológico de la región (Proyecto PAR, 1986) se reconoce el contexto geológico del Cerro Arco enmarcado dentro del Grupo Caacupe, del Paleozoico Inferior (Tabla 1).

Este Grupo se expone en ambos flancos del Rift de Asunción. En su faja septentrional, se exponen indiferenciados con las areniscas de la Formación Tobatí desde Emboscada hasta la zona de Caballero y toda la región que ocupa el escenario del planalto de la Cordillera de los Altos (Dionisi, 1999).

En su posición austral con respecto al Rift de Asunción, en Villeta, Carapegua, Roque González, Acahay, La Colmena y Tebicuary mi (Orué, 1996) coherentes con los lineamientos regionales orientados hacia el NNO-SSE, y luego ENE-OSO.

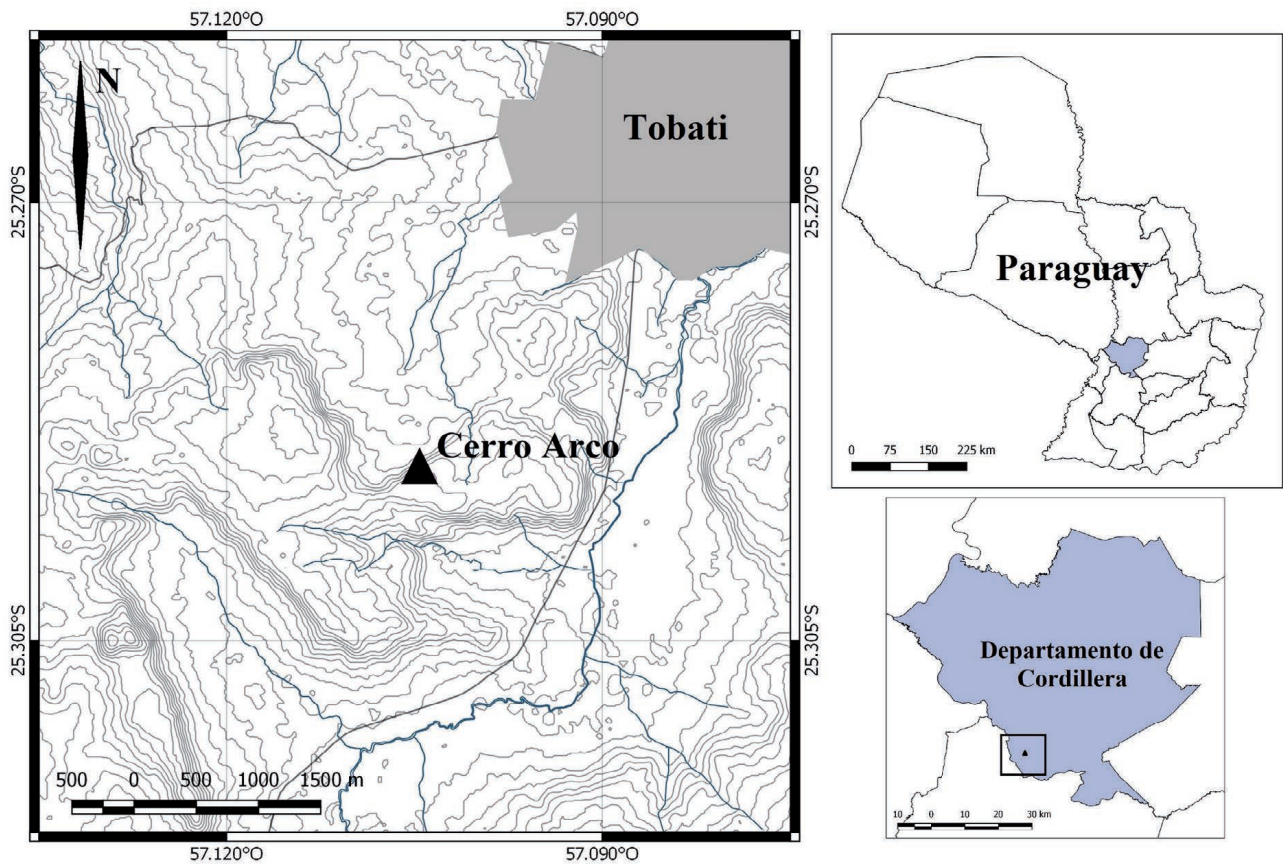


Figura 1. Mapa de localización del Cerro Arco.

Tabla 1. Esquema Litoestratigráfico del Paleozoico Inferior del Paraguay Oriental.

Unidades Geológicas pertenecientes a los Grupos Caacupe e Itacurubí			
Fm. Cari	Areniscas y lutitas fosilíferas	Grupo Itacurubí	Silúrico
Fm. Vargas Peña	Lutitas fosilíferas		
Fm. Eusebio Ayala	Areniscas, limolitas y lutitas fosilíferas		
Fm. Boquerón	Diamictitas y tillitas	Grupo Caacupe	Ordovícico
Fm. Tobatí	Areniscas sacaroidales		
Fm. Cerro Jhù	Areniscas arcósicas		
Fm. Paraguari	Conglomerados		

**Configuración Tectónica del Bloque.**— El *Ciclo Tectónico del Sudatlántico* (Putzer, 1962 en González y Barthel, 1998) es uno de los eventos de mayor relevancia en la historia tectónica de la geología del Paraguay. Este ciclo representa todos los procesos tectonovolcánicos involucrados con la separación de Gondwana Occidental y la apertura del Océano Atlántico a fines del Jurásico y comienzos del Cretácico (Orué, 1996).

Durante este ciclo se estructura el Rift de Asunción a los efectos de esfuerzos tensionales con fallamientos normales (Degraff y Orué, 1984 en González y Barthel, 1998). Se produjo una eliminación de terreno como consecuencia de un fractura-

miento escalonado (Putzer, 1962), en el cual se desarrolló el valle de Ypacarai y se erigió el planalto de la Cordillera de los Altos por obliteración selectiva (Degraff *et al.*, 1981).

## METODOLOGIA

Se reconoció *in situ* el arco y su entorno próximo. El georreferenciamiento se realizó con un GPS Garmin 76 CS x. Las capturas fotográficas fueron obtenidas por una cámara Canon 6d Mark ii y un dron del tipo Mavic Air 2 S DJI. Se procedió al muestreo de las rocas que integran el arco en sus diferentes componentes, que posteriormente fueron descritas macroscópicamente utilizando una lupa 30x. A continuación, las unidades geológicas y sus edades fueron reconocidas por medio de un cotejo con las bibliografías y mapas oficiales. La caracterización del arco en relación a sus dimensiones fue posible al medir la abertura máxima de la bóveda del arco y la altura de la cúpula utilizando una cinta métrica. Los mapas que expresan la situación geográfica, los rasgos tectónicos del macizo y del arco natural fueron confeccionados operando los programas QGis v. 2.28 Las Palmas, con Modelos Digitales de Elevación ALOS PALSAR, Google Earth Pro v. 7.3.6.9345 y Roseta 2.0. Las investigaciones acerca de las nociones elementales, génesis, características, tipos de arcos y puentes naturales fueron llevadas a cabo recurriendo a bibliografía acerca de geomorfología. Las características del arco natural fueron comparadas con las precisiones de la *Sociedad de Puentes y Arcos Naturales* en su sitio web [www.naturalarches.org](http://www.naturalarches.org), a quienes también se ha dado cuenta de la existencia de este arco natural en Paraguay. Del mismo modo, el arco natural fue considerado en cuanto sus semejanzas y discrepancias con ejemplos representativos de otros países para realizar una interpretación y procurar alcanzar una comprensión de la realidad teórica de esta estructura en Tobatí.

## RESULTADOS

### Geología

Fueron reconocidas al menos tres litologías en el escenario del Cerro Arco, las que se describen a continuación:

1) Roca sedimentaria clástica epigénica del tipo arenisca arcósica, de grano medio a grueso ( $\sim 500 \mu\text{m}$ ), de color anaranjado y clasto-soportado. Medianamente cementada, de buena selección granulométrica y mineralógica. La fracción clástica se constituye esencialmente por cuarzo. Los clastos son redondeados a subredondeados. Su matriz se compone principalmente por arcilla, y como accesorios se observan biotitas, ferromagnesianos y líticos. Esta roca fue reconocida durante el ascenso, próxima al arco natural.

Por los rasgos texturales observados en esta roca, se la reconoce como arenisca arcósica de la Formación Cerro Jhû.

2) Roca sedimentaria clástica epigénica del tipo arenisca arcósica silicificada, de grano medio a grueso ( $\sim 500 \mu\text{m}$ ), de color anaranjado opaco con bandas de color rojo desteñido. Clasto-soportado, con fuerte cementación y de buena selección granulométrica y mineralógica. Los clastos se componen por cuarzo, con detritos redondeados a subredondeados. Mineral arcilloso de color blanco prevalece en la matriz, con feldespatos alterados de color naranja, y como accesorios se reconoce presencia de hematita empobrecida/lavada (por el color rojo pálido en partes) biotitas y subordinadamente ferromagnesianos y líticos. Presenta una costra de meteorización de color gris oscuro, en donde se comprueba diseminación diferencial de pirolusita.

Se designa a esta roca como arenisca arcósica de la Formación Cerro Jhû enriquecida con sílice, lo cual le confiere mayor consistencia y menor porosidad. El estrato que suprayace inmediatamente al no silicificado, separados entre sí por una junta horizontal.

3) Roca sedimentaria clástica epigénica del tipo arenisca feldespática de grano medio a grueso ( $\sim 500 \mu\text{m}$ ) de color blanquecino a anaranjado muy claro. Clasto-soportado, friable, de selección granulométrica moderada, y selección mineralógica buena. Los clastos son redondeados a subredondeados. La matriz es predominantemente arcillosa, y como accesorios son visibles biotitas, subordinadamente ferromagnesianos y líticos.

La roca fue reconocida en bloques dispersos y escasos remanentes erosivos en inmediata superposición a las areniscas silicificadas. A esta arenisca se la interpreta como una transición petrológica de la arenisca arcósica de Cerro Jhû a la arenisca sacaroidal de Tobatí.

Se observa que las texturas de las rocas reconocidas en el arco natural y en su inmediatez son de carácter anisotrópico en relación a sus minerales accesorios y su cohesión, comprobándose una cementación diferencial.

De ese modo se contextualiza el entorno geológico del arco natural y se reconoce que el arco fue desarrollado hacia el techo por los estratos de areniscas de la Formación Cerro Cerro Jhû en el contacto con las areniscas de la Formación Tobatí. En la Figura 2 se esquematiza lo expresado.

Los estratos de la Formación Cerro Jhû se presentan masivos, en forma de bloques tabulares separados por juntas horizontales, en sectores con planos concoidales.

### Aspectos Estructurales

Durante el recorrido en el sitio no se pudieron realizar mediciones con brújula geológica para determinar la inclinación de los depósitos sedimentarios por las irregularidades de la superficie en la cima del cerro, sin embargo, por medio de capturas aerofotográficas desde un dron y por imágenes satelitales, fue posible comprobar que el macizo presenta un ligero desplazamiento con respecto a la horizontal de aproximadamente  $15^\circ$  que acompaña a sus lineamientos en dirección noreste (Figura 3).

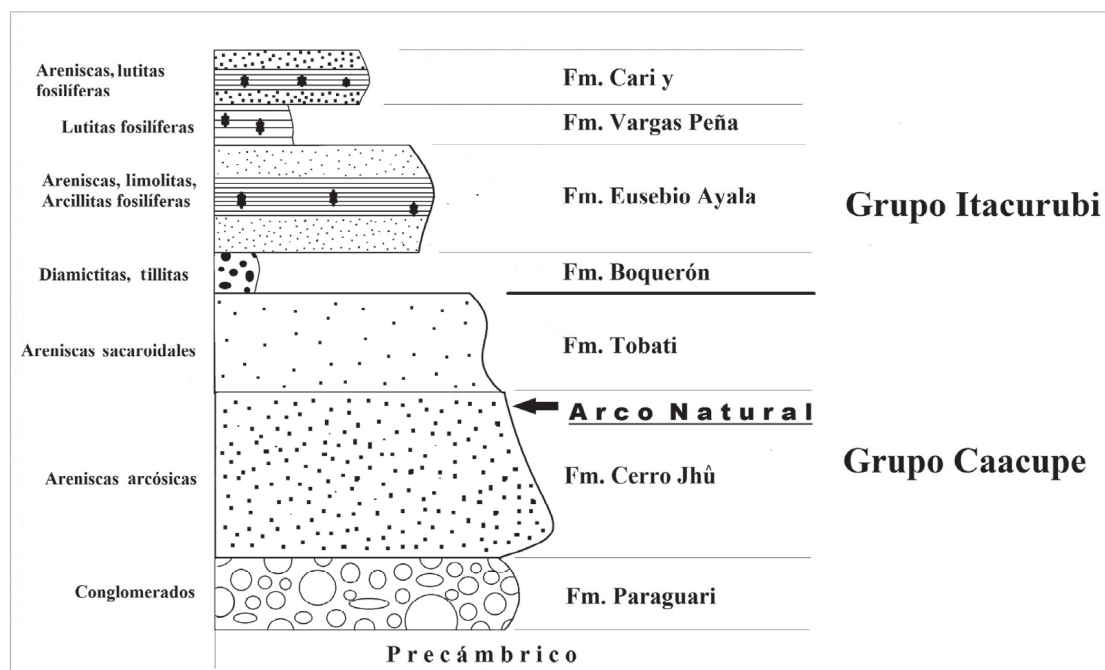
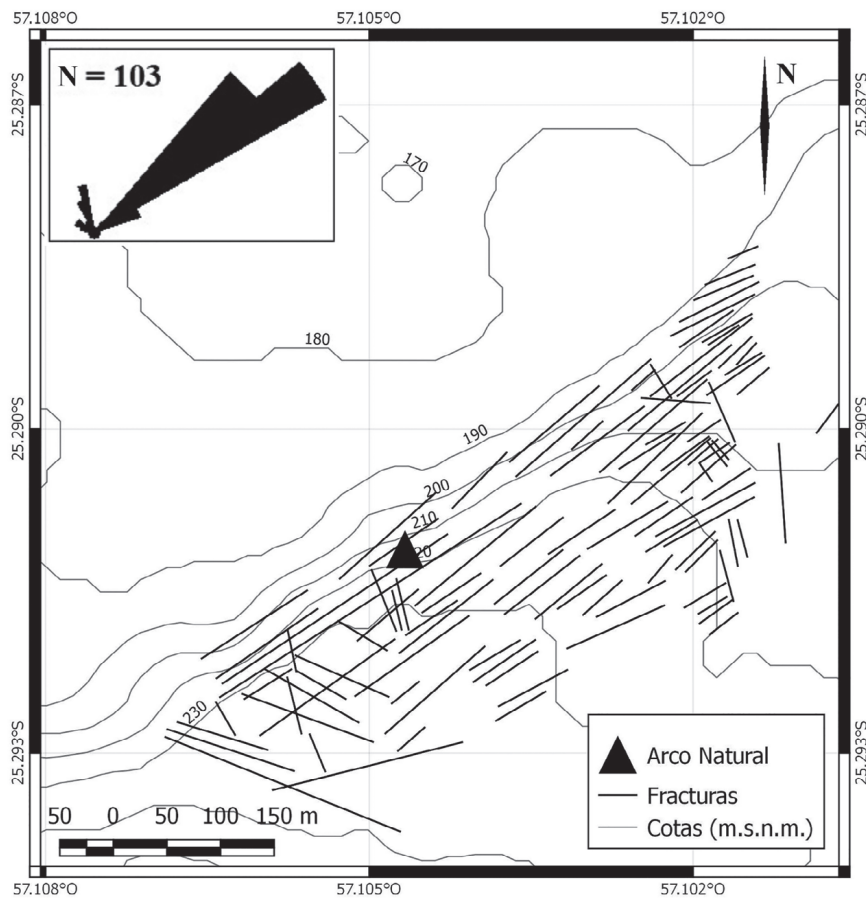


Figura 2. La Formación Cerro Jhú en la secuencia Ordovícico-Silúrica del Paraguay Oriental con sus Grupos Caacupe e Itacurubí (Proyecto PAR, 1986), (Harrington, 1972) y (Orué, 1996). El arco natural se sitúa en el techo de la Formación Cerro Jhú.



Figura 3. Aerofotografía del arco natural y su contexto en el macizo rocoso.



**Figura 4.** El marco estructural del Cerro Arco. Los lineamientos son muy visibles y por medio de una roseta se expresa tendencias de orientación.

Por medio de Modelos Digitales de Elevación (Figura 4) fue posible definir que el cerro donde se ubica el arco natural se encuentra muy fracturado, en donde las direcciones estructurales hacia el ENE-OSO y NNE-SSO son por amplio margen preferentes. En segundo orden, en forma de conjugadas, existe otro set de fracturas en conforme al NNO-SSE y OSO-ESE.

Cabe señalar que los procesos tectónicos coligados con la estructuración del Rift de Asunción fueron determinantes para controlar la erosión en los macizos regionales. La tectónica controla los procesos de erosión y sedimentación, y en relación a ello, se interpreta que las rocas de la Cordillera de los Altos fueron exhumadas y erosionadas.

Las evidencias que sostienen la argumentación anterior radican que en el Alto de Asunción, emplazado en el margen occidental del valle de Ypacarai, existe una faja de exposición segmentada de la secuencia del Grupo Itacurubí en la zona de Aregua e Itaugua (Harrington, 1972; Proyecto PAR, 1986 y Orué, 1996), y esta unidad superpone estratigráficamente a las rocas sedimentarias del Grupo Caacupe.

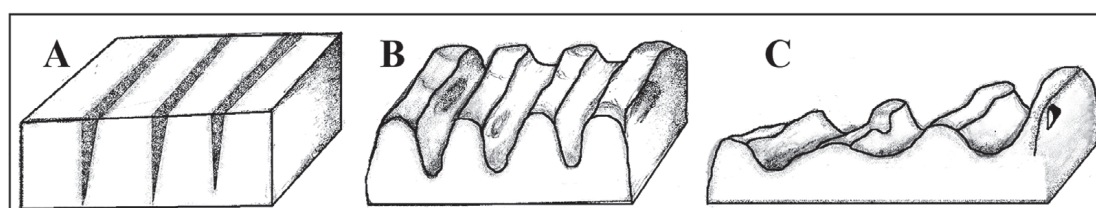
Así también, en Eusebio Ayala y en las colinas de Villeta, Nueva Italia (Orué, 1996) y en diversos lugares en el contexto de la Cordillera de los Altos fueron reportadas diamictitas glaciales que corresponden a la Formación Boquerón, que se posiciona inmediatamente sobre el techo de las areniscas de Tobatí. Este depósito



glacial se expone en afloramientos escasos y restringidos, usualmente en los máximos topográficos como ventanas remanentes.

Las unidades del Grupo Itacurubí fueron erosionadas, y de ese modo las rocas del Grupo Caacupe, que constituyen la Cordillera de los Altos, fueron expuestas, luego alteradas, retrabajadas o eliminadas.

Los lineamientos preferenciales ENE-OSO y NNO-SSE (Figura 4) y el basculamiento del bloque señalaron las direcciones de las arroyadas para la eliminación de las litologías de menor resistencia en el cerro. Con esta combinación de variables se produjo el ensanchamiento de las juntas y líneas de fracturas que configuraron el paisaje y los diversos elementos fisiográficos en el macizo rocoso, entre ellos el Cerro Arco (Figura 5).



**Figura 5.** Evolución del modelado del paisaje en el Cerro Arco. **A)** Fracturamiento del macizo durante el Jurásico Superior – Cretácico Inferior. **B)** Luego de la exhumación de las rocas, estas fueron sometidas a procesos de meteorización mecánica y erosión del tipo avulsión (decapitamiento). Los cauces fueron ensanchados, lo cual favoreció la eliminación de las rocas de menor resistencia **C)** Estado actual de la fisiografía del cerro con el arco natural. Esquema modificado de Chidsey y Willis (2019).

### El Arco Natural

El Cerro Arco se despliega en la cresta de la ladera de un cerro en su cota máxima (Figura 6). Conforme a este rasgo, se recurre a la clasificación del arco natural de Wilbur (2007b) en relación a su contexto, el arco natural en Tobatí es del tipo ridge-top, o con despliegue en la cima de una estrecha cresta.

En referencia a las litologías que componen el arco, se ha identificado la arenisca arcósica de menor cementación en la base y en los flancos inferiores de la bóveda. En el techo y la cuerda pétre que delinea propiamente el arco se ha reconocido la arenisca arcósica silicificada.

A partir de lo anterior se estima que para la evolución de la bóveda del arco, la roca de menor resistencia fue erosionada y que la arenisca arcósica silicificada permaneció ante los procesos erosivos en virtud de su resistencia, por lo cual, se argumenta que la estructura fue configurada por erosión selectiva.

En la Figura 7 se aprecian juntas horizontales entre los bloques tabulares de las areniscas. En la porción superior de la divisoria, la arenisca arcósica se encuentra silicificada, mientras que en su sector inferior se emplaza como arenisca arcósica de moderada cementación.

Se midieron los elementos que conforman el arco, y se determinó que la altura del techo hasta la base del arco mide casi 5 metros. La cúpula tiende a una geometría prismática rectangular (Figuras 7 y 8), en su frente mide aproximadamente 2,5 metros y en su lado posterior 1,5 metros. Considerando el esquema de clasificación de

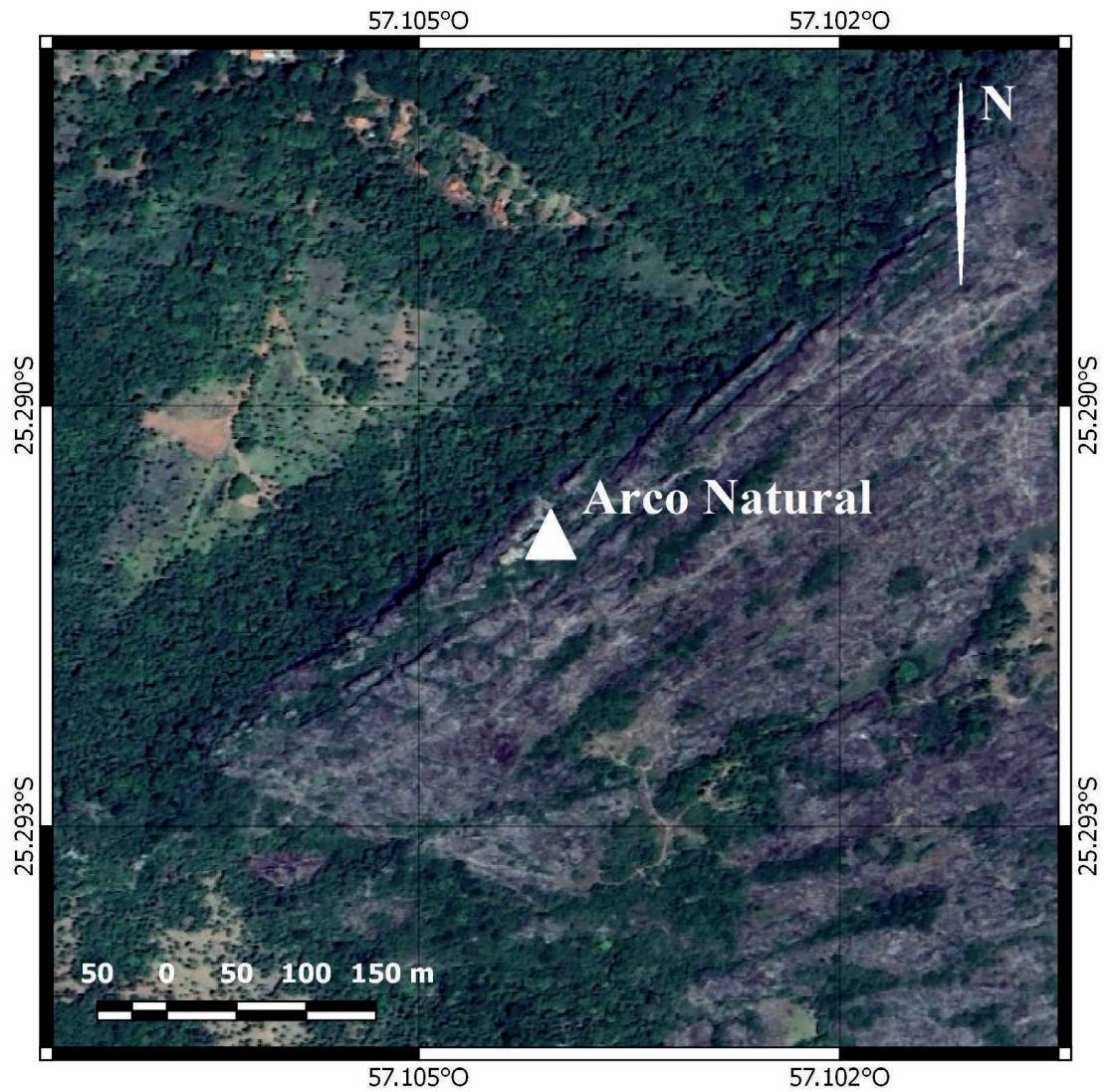


Figura 6. Perspectiva de planta del Cerro Arco. Se observa el emplazamiento del arco natural en la cresta del macizo en una ladera hacia el norte.



Figura 7. Perspectiva general del frontis del Cerro Arco.



Figura 8. Vista posterior del arco natural.

Wilbur (2007b) en relación a su morfología, este arco presenta apertura semicircular.

Desde una perspectiva frontal del arco, la elongación máxima de la bóveda se extiende hasta aproximadamente 10,5 metros. La misma medición se realizó desde la abertura interna y el módulo fue de 9,1 metros (Figuras 7 y 8).

Por las dimensiones de los elementos del arco, debido al tamaño de la abertura que supera los 10 metros cuadrados, se clasifica dentro de la categoría significativa. En relación a sus caracteres genéticos, se clasifica a este arco como del tipo incisión de juntas verticales y erosión diferencial de un miembro (Wilbur, 2007b).

Considerando los atributos de madurez, existe evidencia de la dinámica del desarrollo del arco natural, pero no presenta rasgos que señalen modificaciones posteriores, por lo cual se estima que el Cerro Arco es juvenil (Wilbur, 2007b).

La cúpula del Cerro Arco se presenta muy bien delineada en su vista frontal, por lo cual los visitantes demuestran curiosidad acerca de su naturaleza. Debido a ello, se dice que esta estructura presenta rasgos antropomórficos (Wilbur, 2007b), que en apariencias, fue deliberadamente construida por el hombre.

Durante el ascenso al lugar del arco natural y en el recorrido en la zona, se ha constatado la presencia de varios arcos menores y protoarcos. Estas estructuras señalan tres evidencias importantes que aportan a la comprensión del estructuramiento del arco principal que aquí se estudia: a) Para la formación de los arcos, los núcleos primarios de meteorización y erosión se inician a partir de los espacios en las juntas



Figura 9. Perspectiva frontal-lateral del arco natural.



Figura 10. Perspectiva desde la apertura interior del arco natural.



**Figura 11.** Arco menor aledaño al arco principal. Los procesos de intemperismo y horadamiento tuvieron su acción primaria en las juntas horizontales.

horizontales. b) En la base del cerro se ha reconocido un protoarco en desarrollo a partir de juntas con aspecto concoidal, o de flexura. Esto explica la curvatura del dintel luego de la denudación (Figuras 7, 8, 9 y 10). c) Todos los arcos menores y protoarcos se alinean a las orientaciones estructurales del cerro y del arco natural principal (Figura 11).

### Geoformas

Por las expresiones morfológicas que abundan en el entorno inmediato del arco natural, también se puede comprobar que el paisaje fue configurado por meteorización y erosión. Pilares pétreos, pilancones, tafoni, nichos, rocas fungiformes, grietas de desecación fueron reconocidos en las proximidades del Cerro Arco (Figura 12).

### Historia y Edad Estimada

A continuación se elabora un modelo de sucesión de eventos regionales y una edad relativa para el Cerro Arco:

- 1) Depositación fluvial de las areniscas de la Formación Cerro Jhû en el periodo Ordovícico.
- 2) Depositación de secuencias sedimentarias del Paleozoico posteriores a las areniscas de la Formación Cerro Jhû.



Figura 12. Remanentes erosivos fluviales A. Rocas hongo/fungi B. Pilar pétreo/monadnock C. Pilancones.

3) Ciclo Tectónico del Sudatlántico durante el Jurásico Superior – Cretácico Inferior. Estructuración del rift de Asunción. Fracturamiento masivo del Cerro Arco.

4) Exhumación de las areniscas de la Formación Cerro Jhû por erosión regional. Establecimiento de la Cordillera de los Altos durante el Cretácico – Cenozoico Inferior.

5) Configuración final del Cerro Arco durante el Cenozoico Inferior.

### Geoturismo y Patrimonio Cultural

Como consecuencia de la concurrencia masiva en el área de estudio por el atractivo paisajístico del arco natural, la realización de prácticas de senderismo, actividades de esparcimiento y turismo de naturaleza, se debería realizar un inventario cuali-cuantitativo del patrimonio geológico en el sector para así determinar si el mismo puede ser categorizado como geositio por su potencial geoturístico.

Ciertamente en las serranías que circundan la ciudad de Tobatí existen lugares que presentan características semejantes, pero sólo el Cerro Arco exhibe este grado de construcción natural, desconocida en otras geografías del Paraguay.

Se ha sabido a través de los medios de prensa e internet de la existencia de un circuito turístico preestablecido en las cimas de Tobatí que incluye al Cerro Arco. Durante las aproximaciones a la base del cerro por el camino vecinal, se ha observado frente a viviendas particulares carteles con el anuncio de “Cerro Arco”, lo cual señala que para los lugareños las visitas guiadas hasta el arco natural representan toda una actividad lucrativa en una forma de geoturismo artesanal (Gadea y Benítez, 2018).

Agregando a lo dicho, el geositio de Cerro Arco exhibe una riqueza natural en su carácter geológico y geomorfológico que podría aprovecharse para fines científicos y académicos.

El Artículo 81 de la Constitución Nacional, del Patrimonio Cultural, se expresa como sigue:

*Se arbitrarán los medios necesarios para la conservación, el rescate y la restauración de los objetos, documentos y espacios de valor histórico, arqueológico, paleontológico, artístico o científico, así como de sus respectivos entornos físicos, que hacen parte del patrimonio cultural de la Nación.*

*El Estado definirá y registrará aquellos que se encuentren en el país y, en su caso, gestionará la recuperación de los que se hallen en el extranjero. Los organismos competentes se encargarán de la salvaguarda y del rescate de las diversas expresiones de la cultura oral y de la memoria colectiva de la Nación, cooperando con los particulares que persigan el mismo objetivo. Quedan prohibidos el uso inapropiado y el empleo desnaturalizante de dichos bienes, su destrucción, su alteración dolosa, la remoción de sus lugares originarios y su enajenación con fines de exportación (Biblioteca y Archivo Central del Congreso Nacional, 2021).*

El primer párrafo de la citada ley se refiere a la conservación de los espacios científicos y sus entornos físicos. Luego consigna que el Estado reconocerá y registrará los sitios para su cuidado; ante lo cual, se propone que este arco natural y su espacio deberían considerarse como patrimonio cultural del Paraguay.

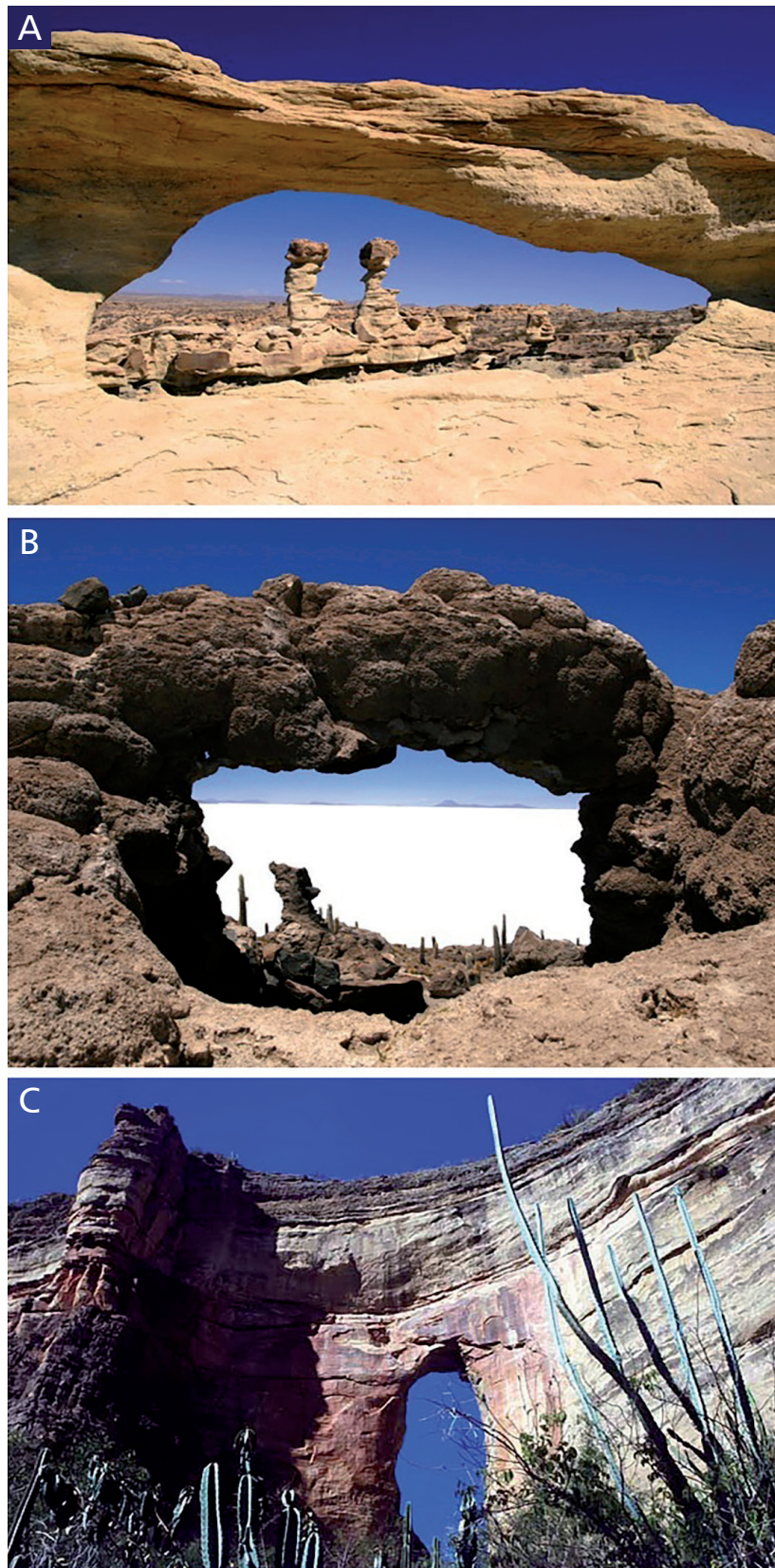
## DISCUSIÓN

Los puentes naturales son raros, pero existen más de 200 solamente en América del Norte (Cleland, 1910). En el Estado de Utah se encuentran más del 60% de todos los arcos naturales en el mundo (Chidsey y Willis, 2019). En este sentido, es sabido también que se distribuyen en las más diversas geografías de la Tierra, incluso en países sudamericanos (Figura 13) (Wilbur, 2007c).

En algunos pocos países en el mundo estos puentes naturales son utilizados con fines civiles, en donde funcionan como verdaderas pasarelas para carreteras o líneas ferroviarias que fueron construidas sobre ellos. En Kentucky – Virginia, la ruta US11 de los EE.UU. utiliza el Natural Bridge, un puente de piedra caliza en el Carter Caves State Resort Park; y otro sobre arenisca en un extremo del Natural Bridge State Park. En Ponoalere, Bulgaria, sobre el Puente de los Dioses se prolongó una vía de acceso. Una línea férrea se sirve de un puente de piedra para atravesar un río camino a la ciudad de La Oroya en Perú (Martin, 2017).

Con relación a la génesis del Cerro Arco se formula aquí el siguiente cuestionamiento: ¿se trata de un arco natural, o de un puente de piedra? Hansen (1988) consigna como puente natural cuando este funciona uniendo flancos en un valle, o frentes de roca separados por un abismo, por lo cual, al Cerro Arco se lo considera como propiamente un arco natural.

Con referencia a las manifestaciones de estos arcos naturales en Paraguay, lugareños de Tobatí afirman de la existencia de al menos tres arcos naturales en la zona, y que el Cerro Arco se destaca por ser el de mayor difusión y popularidad. En la zona de Piribebuy, también en el contexto de la Cordillera de los Altos, se despliega el Cerro Kua (Figura 14), de características muy semejantes a las del Cerro Arco. Este se posiciona geográficamente con las coordenadas 25.532°S, 57.043°O.



**Figura 13.** Arcos naturales en los países circunvecinos. **A)** La Ventana, en el Valle de la Luna en San Juan, Argentina. **B)** Arco Coral en Potosí, Bolivia, en una isla de roca llamada Incahuasi (Isla Pescado) en medio del Salar de Uyuni. **C)** El ojo del Lear, en el acantilado de Serra Branca, en Bahía, Brasil. Imágenes de Wilbur (2007c).





Figura 14. El Cerro kua. Un arco natural en Piribebuy. Gentileza Gustavo Pereira.



Figura 15. Arco natural truncado a orillas del río Paraguay en Asunción (Gadea et al., 2019).

Así también se ha reportado un arco natural con interrupción evolutiva a orillas del río Paraguay, el promontorio de Ita Pytá Punta (Gadea *et al.*, 2019), el cual se asocia a litorales marinos del Mioceno. Por lo demás, no se saben o no fueron difundidos otros arcos naturales en Paraguay.

En relación a las características geológicas y estructurales, se ha reconocido la concordancia de litologías que componen el Cerro Arco con las anteriormente descritas de la Formación Cerro Jhû y que son de aceptación oficial. Así también en cuanto a la consideración de los rasgos estructurales del macizo y de los lineamientos principales del Rift de Asunción que se presentan equivalentes.

Por medio de este análisis descriptivo es posible alcanzar la comprensión acerca de la naturaleza del arco en Tobatí, sobre la dinámica y evolución de procesos para su reconstrucción y su historia. Los resultados no discrepan con las teorías y hallazgos previos realizados internacionalmente. Se destaca en este trabajo su contribución al conocimiento de la riqueza geomorfológica del Paraguay.

## CONCLUSIONES

Se ha comprobado la existencia de un arco natural en Tobatí. El muestreo litológico permitió corroborar la información de las cartas geológicas, acerca del emplazamiento de las areniscas arcósicas de la Formación Cerro Jhû en la cresta de una serranía donde se desarrolló un arco natural.

A través de lo mencionado, se propone una génesis relacionada a procesos de intemperismo y erosión selectiva en los estratos donde se encuentra el arco. La exhumación de las rocas del Grupo Caacupe favoreció los procesos de socavamiento por avulsión.

El control tectónico responsable del direccionamiento de los cauces por donde circulan las arroyadas fue determinante para el esculpido de las diversas expresiones del relieve, que son numerosas en el sistema geológico estudiado y que señalan procesos erosivos fluviales.

## AGRADECIMIENTOS

A Paulo López y Christian Meza del periódico La Nación/Nación Media por el aporte en la publicación del trabajo. Al geólogo Christian Colmán, por la revisión del contenido del manuscrito presentado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Biblioteca y Archivo Central del Congreso de la Nación. 2021. *Leyes Paraguayas*. Disponible en: <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/9580/constitucion-nacional> [Consulta: 10 de septiembre 2023].
- Chidsey, T. y Willis, G. 2019. Landscape Arch, Delicate Arch, and Double Arch in Arches National Park, Southeastern Utah. In: Milligan, M., Biek, R.F., Inken-

- brandt, P. and Nielsen, P. (Eds), *Utah Geosites*. Utah Geological Association Publication 48, 12 p.
- Cleland, F. 1910. North American natural bridges, with a discussion on their origin. *GSA Bulletin* 21:314.
- Degraff, J., Orué, D. y Franco, R. 1981. Interpretación Geofísica y Geológica del Valle de Ypacaraí (Paraguay) y su formación. *Revista Asociación Geológica Argentina* 36 (3): 240-256.
- Dionisi, A. 1999. *Mapa Geológico de la República del Paraguay. Hoja Caacupe 5470*. Dirección del Servicio Geográfico Militar. Asunción, Paraguay.
- Gadea, M. y Benítez, P. 2018. Geoturismo en el Paraguay: Estado Actual. *Boletín del Museo de Historia Natural del Paraguay* 22 (1): 5-21.
- Gadea, M., Colmán, C., Sarubbi, Y., Tondo, M., Benítez, P. y Ríos, S. 2019. El Promontorio Ita Pytã Punta: El Desarrollo Truncado de un Arco Natural en un Paleocantilado del Litoral Marítimo en Asunción, Paraguay. *Boletín del Museo de Historia Natural del Paraguay* 23 (1): 3-13.
- González, M. E. y Bartel, W. 1998. *Mapa Geológico de la República del Paraguay. Hoja Paraguari 5469*. Texto Explicativo. Dirección del Servicio Geográfico Militar. Asunción, Paraguay.
- Hansen, M. 1988. Natural Bridges in Ohio. *Ohio Geology Newsletter*. Summer 1988.
- Harrington, H. 1972. Silurian of Paraguay. In: Berry, W.B. and Boucot, A.J. (Eds) *Correlation of the South American Silurian Rock*. Geological Society of America, Special Papers 133: 41-50.
- Martin, A. 2017. Travel, hiking, kayaking and diving. Disponible en: <https://www.ronperrier.net/2020/09/16/largest-arches-bridges/>
- Mora, R. 2004. El Puente de Piedra de Grecia: ¿Un Arco o un Puente Natural? *Revista Geológica de América Central* 31: 61-66.
- Oard, M. 2009. Many Arches and Natural Bridges likely from the Flood. *Journal of Creation* 23 (1): 115-118.
- Orué, D. 1996. *Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino associado*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, 203 pp.
- Proyecto PAR 83/005. 1986. *Mapa Geológico del Paraguay*. Texto Explicativo. Dirección del Servicio Geográfico Militar. Asunción, Paraguay.
- Putzer, H. 1962. *Geologie von Paraguay*. Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde, 2. Berlin, Germany: Borntraeger Science Publishers.
- Řihošek, J., Slavík, M., Bruthans, J. and Filippi, M. 2019. The Life Story of a Natural Arch. *Geophysical Research Abstracts* 21: 1-11.
- Wilbur, J. 2007a. *The Natural Arch and Bridge Society*. Naturalarches.org. Disponible en: <https://naturalarches.org/archinfo/formation.htm>
- Wilbur, J. 2007b. *The Natural Arch and Bridge Society*. Naturalarches.org. Disponible en: <https://naturalarches.org/archinfo/classification.htm>
- Wilbur, J. 2007c. *The Natural Arch and Bridge Society*. Naturalarches.org. Disponible en: <https://www.naturalarches.org/gallery-intl.htm>