



Mapa Geológico: El Arqueano en el Uruguay

Judith Loureiro¹, Hernán Silva² y Leda Sánchez Bettucci³

1 Observatorio Geofísico del Uruguay. Dirección Nacional de Minería y Geología, Ministerio de Industria, Energía y Minería

2 Facultad de Ciencias, Universidad de la República

3 Observatorio Geofísico del Uruguay. Facultad de Ciencias, Universidad de la República

OPEN ACCESS

Edited by:
Lic. Néstor Campal
DINAMIGE
Uruguay

Reviewed by:
Anonimos

Corresponding author:
Leda Sánchez Bettucci
leda@fcien.edu.uy

Received: 18 Mar 2019

Accepted: 2 May 2019

Published: 15 Jun 2019

Citation:

Loureiro J, Silva, H., Sánchez Bettucci, L. (2019) Mapa Geológico: El Arqueano en el Uruguay, Revista Investigaciones, Montevideo, 2(1):28-35

Resumen

El registro arqueano en Uruguay se encuentra localizado en el denominado Bloque Pavas aflorando en la porción noroccidental del departamento de Lavalleja y el segmento occidental del departamento de Treinta y Tres. Estas rocas arqueanas ocupan una superficie aproximada de 2660 km² con una disposición general NNE. Al Oeste y Norte se encuentra en contacto tectónico con el Complejo Granulítico Olimar a través de la Zona de Cizalla de Sierra de Sosa, mientras que hacia el Sur y Este desaparece bajo el Cinturón Dom Feliciano.

Palabras clave: Cartografía Digital, GIS, Mapa Geológico Uruguay.

Abstract

The Archean record in Uruguay is located in the so-called Pavas Block outcropping in the northwestern portion of Lavalleja department and the western segment of the Treinta y Tres department. These Archean rocks occupy an area of approximately 2660 km² with a general NNE trend. To the West and North it is in tectonic contact with the Olimar Granulitic Complex through the Sierra de Sosa Shear Zone, while to the South and East it disappears under the Feliciano Dom Belt.

Keywords: Digital cartography, GIS, Uruguay Geological Map.

Introducción:

El Eón Arqueano (Figura 1) abarca el lapso de tiempo entre los 4000 Ma y los 2500 Ma (Cohen *et al.* 2013). El origen de la corteza continental, los océanos y la vida están entre los hitos de esta etapa de la evolución del Planeta. El inicio del Arqueano coincide con la diferenciación del planeta en corteza, manto y núcleo. La tectónica arqueana y particularmente la formación de la corteza continental durante esta etapa de la evolución de la Tierra son temas de gran interés para las ciencias geológicas (Albarède 1998, Hamilton 1998, Polat 2012, Bleeker 2003, Nebel *et al.*, 2018, Rosas & Korenaga 2018). Las rocas de edades Arqueanas (Figura 1) mayores de 2500 Ma representan aproximadamente un 3% de la superficie del planeta (Benedetto 2010).

Durante el Arqueano aparecen las primeras formas de vida unicelulares, las cuales evolucionan desde un metabolismo quimiógeno anaerobio y reacciones simples involucrando carbono hacia la fotosíntesis en medio aerobio (Hartman 1998). El oxígeno libre aportado por este proceso al sistema planetario conlleva a la oxidación paulatina del Fe^{2+} presente en los océanos y la oxigenación de la atmósfera, hasta el punto crítico ocurrido en el inicio

del Paleoproterozoico (Sideriano, 2500 Ma) donde el sistema químico planetario cambia de oxidante a reductor, acontecimiento que, además, coincide con el fin de este Eón. Los principales fósiles arqueanos son los estromatolitos, bioconstrucciones producidas por cianobacterias.

Asociaciones litológicas reconocidas como *Greenstone Belts* son características de este eón. Dicho término es utilizado para describir a las sucesiones volcano-sedimentarias y rocas plutónicas asociadas, deformadas y metamorfozadas, con una edad restringida al arqueano (Anhaeusser 2014). Los *Greenstone Belts* poseen una geología variable de difícil generalización. La sucesión volcano-sedimentaria ha sido clásicamente dividida en tres grupos (Anhaeusser *et al.*, 1969): Grupo Ultramáfico (rocas ricas en Mg, como komatiitas, basaltos komatiíticos y basaltos tholeiíticos), Grupo *Greenstone* (rocas ultramáficas escasas, basaltos tholeiíticos, andesitas, rocas volcánicas y volcanoclásticas félsicas calco-alcalinas y cherts), Grupo Sedimentario (pelitas, psamitas y psefitas). Los *Greenstone Belts* se encuentran espacialmente asociados con la suite magmática Tolehiita-Trondhjemita-Granodiorita (suite TTG). Esta última corresponde a la suite plutónica más abundante en el arqueano (Barker 1979) aunque también puede encontrarse ocasionalmente en arcos modernos (Condie 2014).

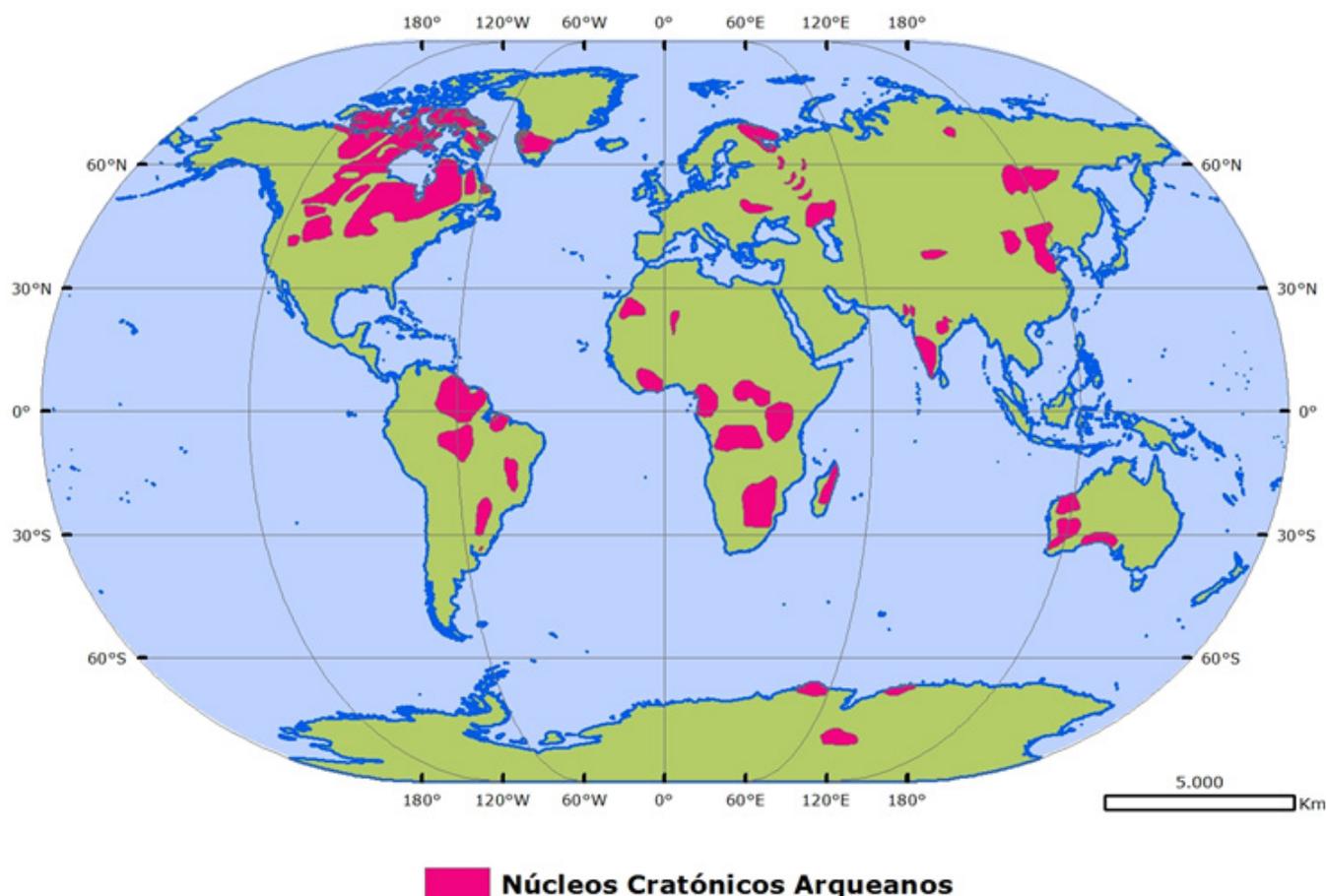


Figura 1. Distribución de los núcleos cratónicos arqueanos en el mundo (modificado de Furnes *et al.*, 2014).

La mayoría de los depósitos minerales arqueanos se encuentran en *Greenstone Belts* o están estrechamente relacionados con los mismos y parecen haber sido derivados directamente (o por una etapa intermedia) del manto. Algunos de los depósitos más importantes del mundo de Ni, Au, Ag, Cu y Cr se produjeron en asociación con el volcanismo arqueano (Condie 1981, Nisbet 1987).

El Eón Arqueano forma parte del Supereón Precámbrico (4000 Ma - 2500 Ma). Ubicándose temporalmente entre el Hadeano (4600 - 4000 Ma) y el Proterozoico (2500 Ma - 541 Ma) y se divide en cuatro Eras definidas cronológicamente: Eoarqueano (3600 Ma - 4000 Ma), Paleoarqueano (3200 Ma - 3600 Ma), Mesoarqueano (2800 Ma - 3200 Ma), Neoarqueano (2500 Ma - 2800 Ma) (Figura 2).

El Arqueano en Uruguay

Localización

EL registro arqueano encontrado en Uruguay se ubica en el denominado Bloque Pavas (Preciozzi et al., 1985). Aflora en la porción noroccidental del departamento de Lavalleja y el segmento occidental del departamento de Treinta y Tres ocupando una superficie aproximada de 2660 km². Presenta una disposición general NNE, al Oeste y Norte se encuentra en contacto tectónico con el Complejo Granulítico Olimar a través de la Zona de Cizalla de Sierra de Sosa, mientras que hacia el Sur y Este desaparece bajo el Cinturón de Esquistos del Cinturón Dom Feliciano. El Bloque Pavas está integrado por El Complejo La China que abarca unos 2025 km² y el Complejo Las Tetas que ocupa aproximadamente 635 km² (Figura 3).

Antecedentes

Las rocas que integran el registro arqueano de Uruguay fueron originalmente separadas como Bloque/Formación Pavas (Preciozzi et al., 1985). En esta definición original se incluían anfibolitas de grano fino a medio, neises anfibólicos y graníticos, esquistos cloríticos y micáceos e

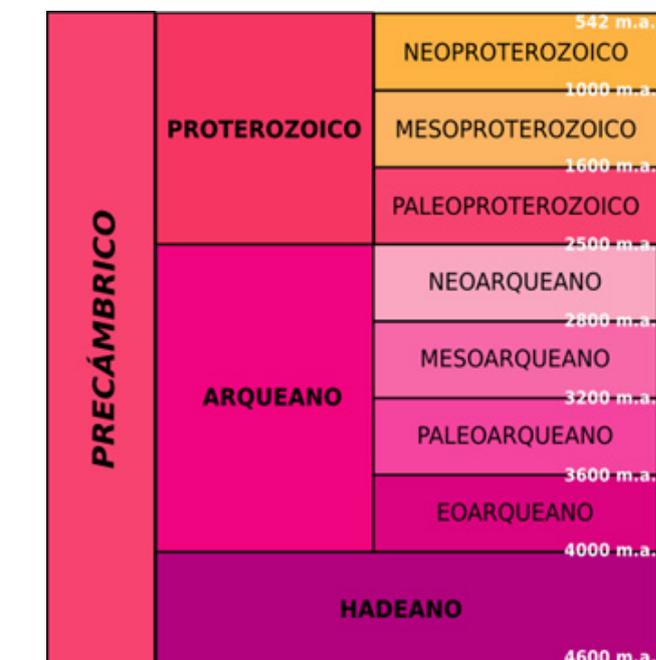


Figura 2. Tabla Cronoestratigráfica Internacional (tomado de Cohen et al., 2013).

intercalaciones graníticas. Posteriormente, Hartman et al. (2001) separaron dos unidades principales dentro de este bloque: el Complejo la China y el Complejo Las Tetas (Tabla 1).

El **Complejo La China** es descrito como un conjunto de rocas metamórficas y granitoides, donde se distingue un *greenstone belt* conformado por rocas ígneas máficas y ultramáficas con cherts subordinados, alta deformación y metamorfismo en facies anfibolita; y una unidad gnéissica con protolitos de composición general tonalita-trondhjemita-grandiorita (TTG). Los protolitos de las rocas metaultramáficas han sido interpretadas como hazburguitas, dunitas y komatiitas; las serpentinitas, esquistos con talco-clorita-tremolita y anfibolitas son comunes (Hartmann et al. 2001). Las metatonalitas son las rocas donde se han reportado la mayoría de las edades arqueanas, petrográficamente se encuentran compuestas por cuarzo (40%), plagioclasa (An_{25,2 - 44,5}) 30%, anfíbol (tschermakita) 25%, biotita (2%) y opacos (1%). Los principales accesorios (1%) suelen ser apatito,

Preciozzi et al. (1985)	Hartmann et al. (2001)	Gaucher et al. (2014)	Oyantçabal et al. (2018)
		Complejo La China	
Bloque Pavas	Complejo La China	Complejo Tapes	Subterreno Pavas
	Complejo Las Tetas	Grupo Cebollatí	

Tabla 1. Nomenclatura de las unidades Arqueanas en el Uruguay

circón, epidoto y clorita. Las metatonalitas presentan un bandeo composicional irregular, con bandas ricas en anfíbol y cuarzo-feldespáticas. La plagioclasa se presenta en dos generaciones de diferente tamaño de grano, siendo interpretados los cristales de mayor tamaño como magmáticos, mientras que aquellos de menor tamaño como metamórficos (Hartmann et al. 2001).

El complejo la China presenta una disposición NE-SO. Al N y al O está en contacto tectónico con el Complejo Granulítico Olimar por medio de la zona de cizalla dextral Sierra de Sosa, al SE cabalga al Complejo Las Tetas y al E se encuentra en contacto tectónico con este último a través de la Zona de Cizalla de María Albina. En la Figura 4 se muestra el aspecto general de los afloramientos Arqueanos.

El Complejo Las Tetas (Figura 5) se define como una sucesión de rocas meta-sedimentarias en facies anfíbolita constituida por meta-cuarzitas con fucsita, metaconglomerados, micaesquistos con estaurólita y granate, gneises con muscovita y turmalina, BIFs y

mármoles dolomíticos. (Hartmann et al. 2001, Masquelin et al 2017). Este complejo presenta circones detríticos de edad arqueana afectado por un metamorfismo también en el Arqueano. Este complejo posee un grado metamórfico decreciente de norte a sur (Gaucher et al., 2014, Oyhantçabal et al., 2018) desde cuarcitas con sillimanita en el norte (Oyhantçabal & Vaz 1990), hasta esquistos micáceos con estaurólita y granate en el sur (Hartmann et al. 2001).

Gaucher et al. (2010a) proponen una estratigrafía para el Complejo las Tetas y lo renombran como Grupo Cebollatí. Siguiendo los principios de “Prioridad y conservación de nombres establecidos” que propone el Código de Nomenclatura Estratigráfica Internacional, se mantiene la nomenclatura establecida por Hartmann et al. (2001) y Preciozzi et al (1985).

Al igual que el complejo la China, el Complejo las Tetas posee una distribución NE – SO. Al SE el mismo se presenta como pequeñas escamas que se intercalan con las rocas supracorticales del Cinturón Dom Feliciano.

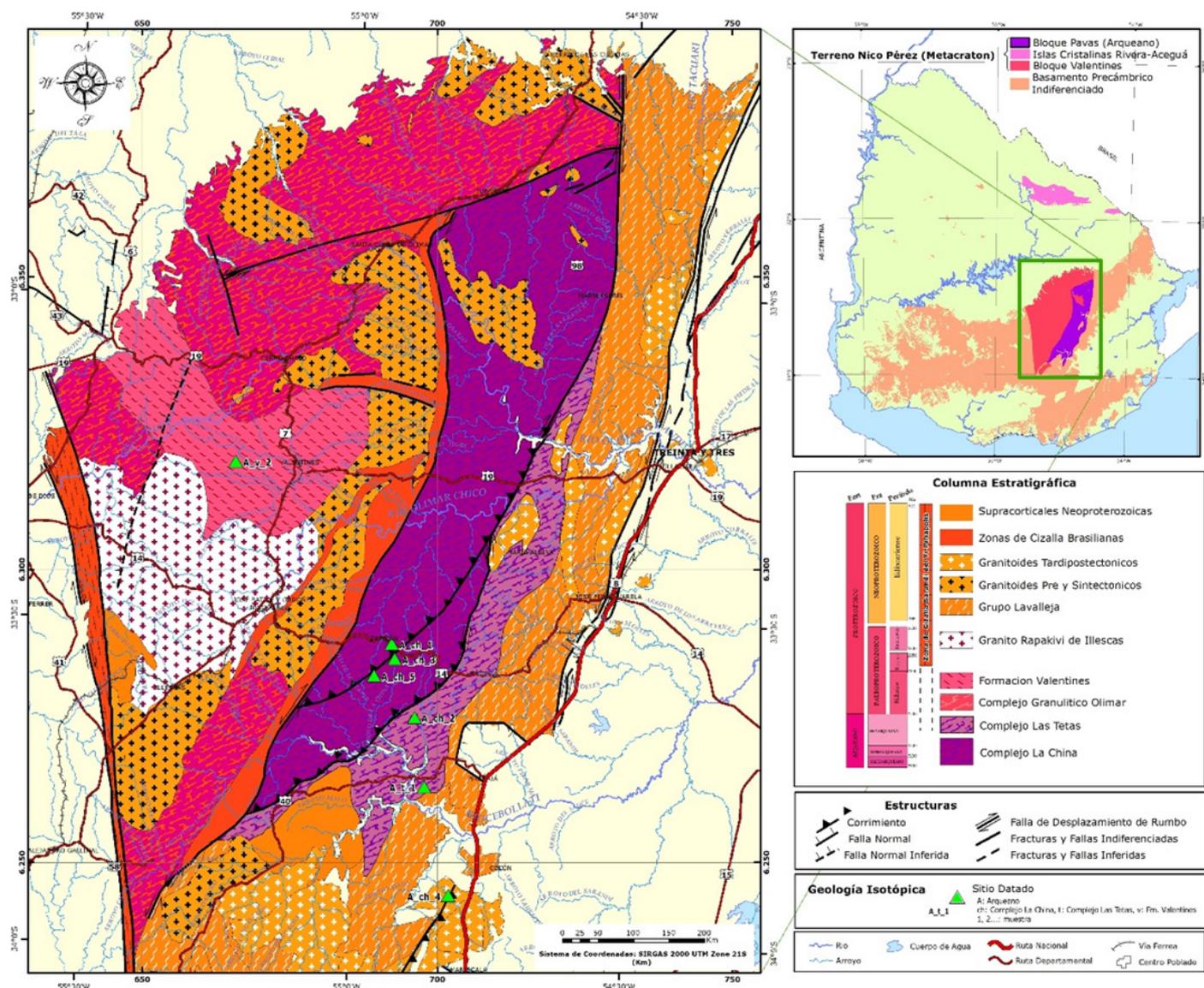


Figura 3. Distribución de unidades Arqueanas en el Uruguay.

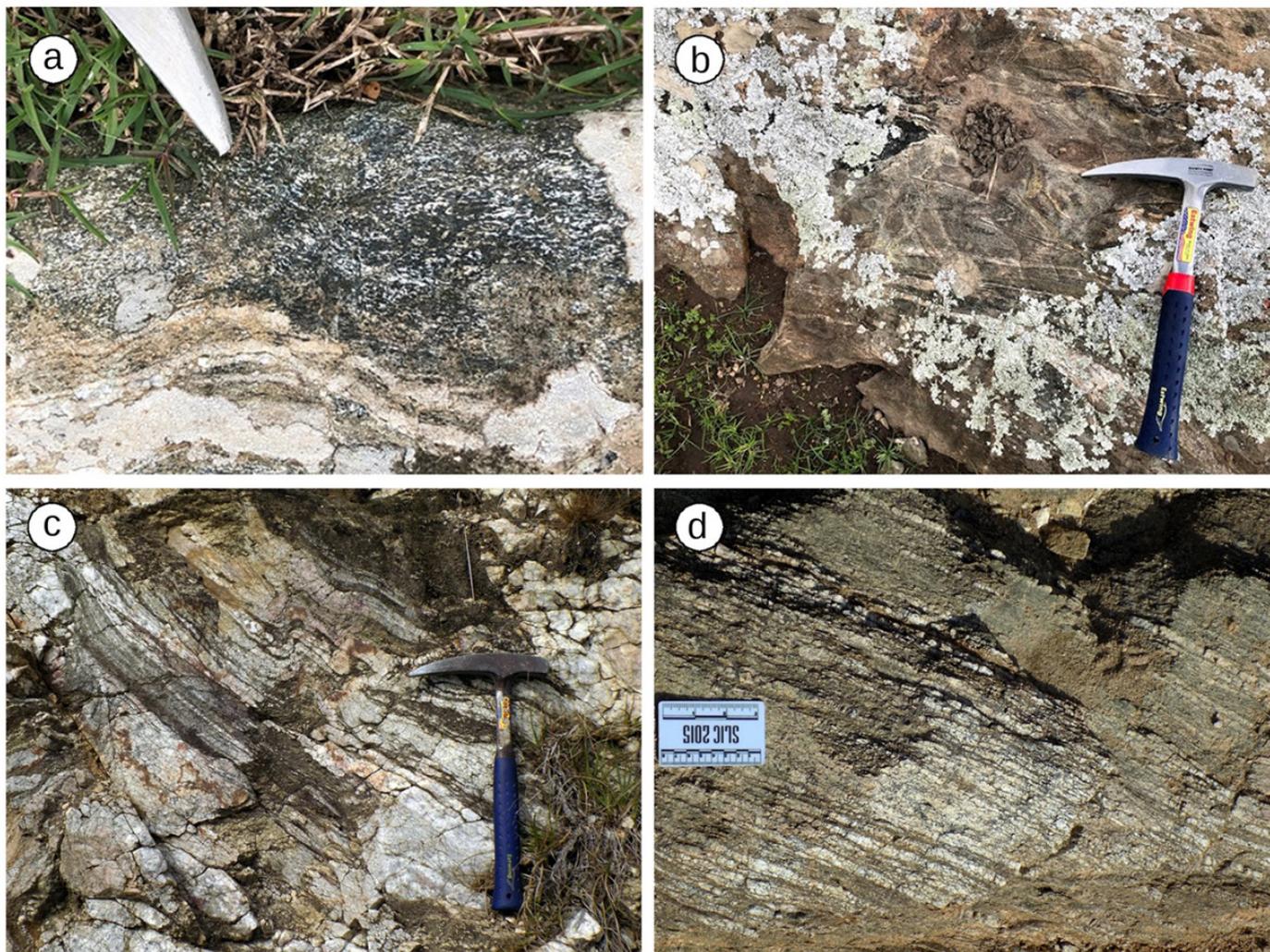


Figure 4. Aspecto general de rocas Arqueanas pertenecientes al Complejo La China, **a)** Metatonalitas, sur de Zapicán (33°36'57.85"S, 54°59'24.51"O); **b)** Gneisses anfibólicos, sur de Zapicán (33°32'15.38"S, 55°1'31.37"O); **c)** Gneisses biotíticos, Rincón de Gutiérrez (33°11'20.80"S, 54°42'28.90"O); **d)** Gneisses biotítico-anfibólicos, Paso de las Pavas (33°14'40.70"S, 54°50'40.60"O).

Geoquímica

El estudio geoquímico del registro arqueano es escaso. El complejo la China presenta un patrón geoquímico de concentración de elementos calcófilos típicos que sugieren la presencia de rocas máficas (Filippini et al., 2001).

Isótopos de Sm y Nd han sido obtenidos con fines geocronológicos (Edades T_{DM} , Gaucher et al., 2010a, Gaucher et al., 2010b, Gaucher et al., 2014).

Geocronología

Las unidades Arqueanas en Uruguay han sido objeto de diversos estudios isotópicos. En general los núcleos arqueanos suelen estar delimitados por discontinuidades mayores como zonas de cizalla y/o suturas. En nuestro territorio esto se verifica en la porción NO, mientras que al SE estas unidades (Complejo Las Tetas) constituyen pequeñas escamas intercaladas con unidades

Neoproterozoicas. Los datos isotópicos son escasos y son mostrados en la [Tabla 2](#).

Las primeras dataciones en rocas arqueanas del Uruguay fueron realizadas por Hartmann et al. (2001) quienes analizaron una muestra adjudicada al Complejo La China (sitio A_ch_1) y dos al complejo las tetas (sitios A_t_1 y A_v_1). A los efectos de verificación de la información, en este trabajo se realizó la geolocalización de los sitios de datación observándose que el sitio (A_v_1) se localiza en el centro del cuerpo mapeado como Formación Valentines. Por este motivo descartamos esta datación para el complejo Las Tetas.

Las edades del magmatismo (núcleos de circon con relaciones Th/U mayores a 0.1) reportadas por diferentes autores (Hartmann et al., 2001; Gaucher et al., 2010, 2011, 2014) para las metatonalitas del complejo La China se presentan en tres grupos: Paleoarqueano (3.4 Ga), Mesoarqueano (3.029 Ga, 3.096 Ga) y Neoarqueano (2.718 Ga, 2.787 Ga). Por otra parte, las edades para los eventos metamórficos (halos de circon con relaciones Th/U menores a 0.1) arrojan edades Mesoarqueanas (3.1

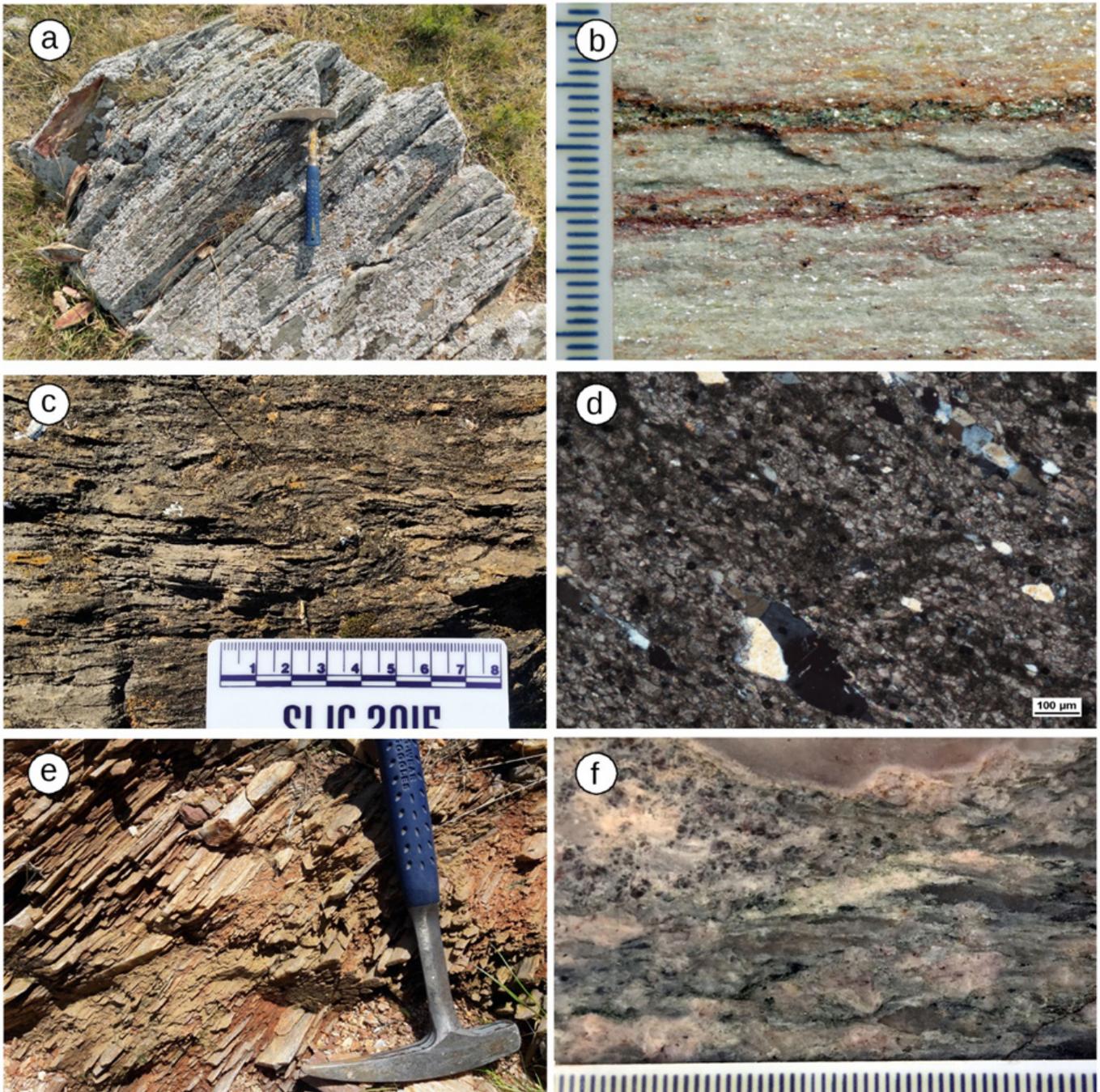


Figura 5: Aspecto general de algunas de las litologías representativas del Complejo Las Tetras, **a)** Esquistos Qtz-Msc-Fch (33° 6'24.30"S ; 54°35'59.30"O); **b)** Detalle del afloramiento anterior; **c)** Mármoles dolomíticos (33°44'41.94"S ; 55° 4'6.89"O); **d)** Vista microscópica de las rocas del afloramiento anterior, nótese el cuarzo estirado y recrystalizado. **e)** Afloramiento de Metaconglomerados, nótese la deformación de la roca, la cual conforma una tectonita tipo L (33°26'57.00"S ; 54°44'21.30"O); **f)** Detalle de corte de metaconglomerados a fuchsita (33°44'37.40"S ; 54°56'14.60"O).

Ga) y Neoarqueanas (2.69 Ga). No obstante, los circones detríticos encontrados en el Complejo Las Tetras sugieren de áreas fuente Arqueanas y una edad máxima depositación Mesoarqueana.

La edad de 3.4 Ga (Hartmann et al., 2001) fue interpretada como edad de cristalización por los autores, pero a la luz de dataciones posteriores en metatonalitas (Gaucher et al., 2011, 2010, 2014) consideramos que se trata circones heredados de una corteza Paleoarqueana y que el magmatismo que originó sus protolitos se dio en

un evento tectonomagmático en el entorno de los 3.1 Ga. El segundo evento tectonomagmático se habría dado entre los 2.8 y 2.7 Ga dando lugar a los protolitos de los gneises y el metamorfismo de las metatonalitas.

Unidad	Edad (Ma)	Método	Litología	Interpretación Autor	Latitud / Longitud	Autor	Observaciones	Sitio
Complejo La China	2.718 ± 8	U-Pb LA-ICP MS en circon	Ortogneiss anfibólico	Magmatismo	33°35'9.2"S / 54°57'37.8"W	Gaucher et al. (2014)	Sm-Nd Tdm de 3.114 Ma y ENd(t) de -3.0. Th/U: 0,94-2,09	A_ch_5
Complejo La China	2.787 ± 6	U-Pb LA-ICP MS en circon	Granito deformado	Magmatismo	33°55'19.6"S / 54°48'59.80"W	Gaucher et al. (2014)	Th/U=0,58	A_ch_4
Complejo La China	3029 ± 54 (intercepto superior)	U-Pb LA-ICP MS en circon	Ortogneiss biotítico	Magmatismo	33°38'56"S / 54°53'07"W	Gaucher et al. (2010a)	Sm-Nd Tdm de 3.007 Ma, con ENd(t) de -1.68	A_ch_2
Complejo La China	3096 ± 45 2690 ± 42 (intercepto superior)	U-Pb LA-ICP MS en circon	Metatonalita	Magmatismo Metamorfismo	33°33'34"S / 54°55'24"W	Gaucher et al. (2011 b)	Sm-Nd Tdm de 3.207 Ma y ENd(t) de -3.70	A_ch_3
Complejo La China	3100 ± 100 2721 ± 7	U-Pb SHRIMP en circon	Metatonalita	Magmatismo Metamorfismo (1er evento) Metamorfismo (2º evento)	33°32'10"S / 54°55'45"W	Hartmann et al. (2001)	Muestra 1, circon (núcleo). Th/U: 0,43-1,22 Muestra 1, circon (halo). Th/U: 0,01-0,04 Muestra 1, circon (halo). Th/U: 0,01-0,04. Edad y error estimados: entre 3250 y 3001.	A_ch_1
Complejo Las Tetas	3262 ± 14 3145 ± 4	U-Pb SHRIMP en circon	Cuarzita muscovítica	Edad de la fuente (máxima hallada) Edad de la fuente (mínima hallada)	33°45'19"S / 54°51'54"W	Hartmann et al. (2001)	Muestra 2, circones detríticos. Th/U~0,5 Muestra 2, circones detríticos. Th/U~0,5	A_t_1
Formación Valentines	2968 ± 12 2762 ± 8	U-Pb SHRIMP en circon	Metaconglomerado	Edad de la fuente (mínima hallada). Edad de deposición Metamorfismo (1er evento)	33°15'36"S / 55°13'11"W	Hartmann et al. (2001)	Muestra 3, circones detríticos. Th/U=0,55 Muestra 3, circones detríticos. Th/U~1,1	A_v_1

Tabla 2. Datos isotópicos en unidades consideradas de edad Arqueana

Bibliografía

- Albarède, F. (1998). The growth of continental crust. *Tectonophysics*, 296(1-2), 1-14.
- Anhaeusser, C.R. 2014. Archaean greenstone belts and associated granitic rocks – A review. *Journal of African Earth Sciences* 100 (2014) 684–732
- Anhaeusser, C.R., Mason, R., Viljoen, M.J., Viljoen, R.P. 1969. A reappraisal of some aspects of Precambrian shield geology. *Geol. Soc. Am. Bull.* 80, 2175–2200.
- Barker, F. 1979. *Trondhjemites, dacites and related rocks.* Elsevier, New York
- Benedetto, J.L. 2010. El continente de Gondwana a través del tiempo. *Una Introducción a la Geología Histórica. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina.*
- Bleeker, W. (2003). The late Archean record: a puzzle in ca. 35 pieces. *Lithos*, 71(2-4), 99-134.
- Bossi, J., Gaucher, C. 2004. The Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: an Allochthonous block Accreted in the Cambrian to SW-Gondwana. *Gondwana Research*, 7(3):661-674.
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L., Fan, J.X. 2013 (actualizado). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36: 199-204.
- Condie, K. C. (2014). Growth of continental crust: a balance between preservation and recycling. *Mineralogical Magazine*, 78(3), 623-638.
- Condie, K.C. 1981. Mineral Deposits. In: *Developments in Precambrian Geology: Archean Greenstone Belts.* (3): 243-259.
- Filippini Alba, J.M., Crósta, A.P., Oliveira, S.M.B. 2001. Interpretation of surface geochemical data and integration with geological maps and Landsat-TM images for mineral exploration from a portion of the Precambrian of Uruguay. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(2):123-130.
- Furnes, H., de Wit, M., & Dilek, Y. 2014. Precambrian greenstone belts host different ophiolite types. In *Evolution of Archean Crust and Early Life* (pp. 1-22). Springer, Dordrecht.
- Gaucher, C., Bossi, J., Chemale Jr., F., Chigolino, L., Sial, A.N. 2010a. El Grupo Parque UTE y otras unidades mesoproterozoicas del Terreno Nico Pérez: la conexión con Rodinia. VI Congreso Uruguayo de Geología, Minas (CD-ROM).
- Gaucher, C., Bossi, J., Chemale Jr., F., García, G., Frei, R., Frei, D. 2014 Complejo La China: las rocas más antiguas del Uruguay. in Bossi, J. y Gaucher, C. (Eds.) 2014. *Geología del Uruguay - Tomo 1: Predevónico.* 141-154, Montevideo.
- Gaucher, C., Chemale Jr., F., Bossi, J., Castiglioni, E.A. 2010b Grupo Cebollatí, Terreno Nico Pérez: definición y edad. VI Congreso Uruguayo de Geología, Minas (CD-ROM).
- Hamilton, W.B. 1998. Archean magmatism and deformation were not products of plate tectonics, *Precambrian Res.*, 91, 143-179
- Hartman, H. (1998). Photosynthesis and the origin of life. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 28(4-6), 515-521.
- Hartmann, L.A, Campal, N., Santos, J.O., McNaughton, N.J., Bossi, J., Schipilov, A., Lafone, J.M. 2001. Archean crust in the Rio de la Plata Craton, Uruguay — SHRIMP U-Pb zircon reconnaissance Geochronology. *Journal of South American Earth Sciences* 14 (2001) 557-570.
- Hartmann, L.A., Santos, J.O., Bossi, J., Campal, N., Schipilov, A., Mac Naughton, N.J. 2002. Zircon and titanite U-Pb SHRIMP geochronology of Neoproterozoic felsic magmatism on the eastern border of the Río de la Plata Craton, Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*, 15:229-236.
- Masquelin, H., Silva, H., Sánchez Bettucci, L., Núñez, P., Pascual, S., Muzio, R., Peel, E., Scaglia, F. 2017 Lithologies, structure and basement-cover relationships in the schist belt of the Dom Feliciano Belt in Uruguay *Brazilian Journal of Geology*, 47(1): 21-42.
- Nebel, O., Capitanio, F. A., Moyén, J. F., Weinberg, R. F., Clos, F., Nebel-Jacobsen, Y. J., & Cawood, P. A. (2018). When crust comes of age: on the chemical evolution of Archean, felsic continental crust by crustal drip tectonics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2132), 20180103.
- Nisbet, E. G., 1987, *The Young Earth—An introduction to Archean geology:* Boston, Allen and Unwin, 402 p.
- Oyhantçabal, P., & Vaz Chaves, N. (1990). Una asociación de cuarcitas y rocas máficas y ultramáficas en los alrededores de Isla Patrulla (Departamento de Treinta y Tres). Resúmenes ampliados del Primer Congreso Uruguayo de Geología. In Congreso Uruguayo de Geología^ j1er. Montevideo, UY. 25-27 abr. 1990..
- Oyhantçabal, P., Oriolo, S., Philipp, R. P., Wemmer, K., & Siegesmund, S. (2018). The Nico Pérez Terrane of Uruguay and Southeastern Brazil. In *Geology of Southwest Gondwana* (pp. 161-188). Springer, Cham.
- Polat, A. (2012). Growth of Archean continental crust in oceanic island arcs. *Geology*, 40(4), 383-384.,
- Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W., Rossi, P. 1985. Carta Geológica del Uruguay a la escala 1:500.000 y Memoria Explicativa. DINAMIGE, Montevideo.
- Rosas, J. C., & Korenaga, J. (2018). Rapid crustal growth and efficient crustal recycling in the early Earth: Implications for Hadean and Archean geodynamics. *Earth and Planetary Science Letters*, 494, 42-49.