

# El Pilar: un caso particular en los depósitos de tipo pórfido de cobre en México

## El Pilar: A Particular Case in the Porphyry Copper Deposits in Mexico

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Silja Aguilar Austria <sup>1</sup>  
Martín Valencia Moreno<sup>2</sup>

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 03 / 05 / 2022

Publicado: 16 / 05 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.200>

Autor de Correspondencia:

Silja Aguilar Austria

Correo: [siljaaguilar@gmail.com](mailto:siljaaguilar@gmail.com)

### Resumen

El Pilar es un yacimiento de tipo pórfido de cobre ubicado en el estado de Sonora, México, a 15 km de la frontera con E.U.A., y 40 km de la ciudad de Cananea, dentro de la zona más favorable del cinturón de pórfidos de cobre del suroeste de Norteamérica. Sus características son relativamente atípicas en comparación con el resto de los depósitos en México, considerando el modelo más aceptado de un pórfido de cobre. El Pilar es un yacimiento de cobre exótico hospedado en gravas del Mioceno, que rellenaron cuencas generadas durante el evento extensional Basin and Range. La mineralización de sulfuros hipogénicos aflora poco y está asociada con una brecha magmática ligada al emplazamiento de un plutón monzonítico fechado por U-Pb en zircones en ~75 Ma. La edad del depósito obtenida por Re-Os en molibdenita es de ~73.9 Ma, y las reservas se estiman en 0.36 Mt de cobre.

**Palabras clave:** El Pilar, pórfido de cobre, exótico, NW México.

### Abstract

*El Pilar is a porphyry copper deposit located in the northern part of the state of Sonora, Mexico, at ~15 km from the border with USA, and about (40 km) from the town of Cananea, inside the most favorable part of the porphyry copper belt of the southwestern North America. Its features are relatively atypical when compared with the rest of the deposits in Mexico, considering the most accepted porphyry copper model. The El Pilar is an exotic copper deposit hosted in Miocene gravels, that filled basins generated during the Basin and Range extensional event. The primary sulfide mineralization is poorly exposed and is associated with a magmatic breccia, linked with the emplacement of a monzonitic pluton dated by U-Pb zircon at ~75 Ma. The age of the mineralization was obtained by Re-Os molybdenite dating in ~73.9 Ma, and the estimated resources are of 0.36Mt copper.*

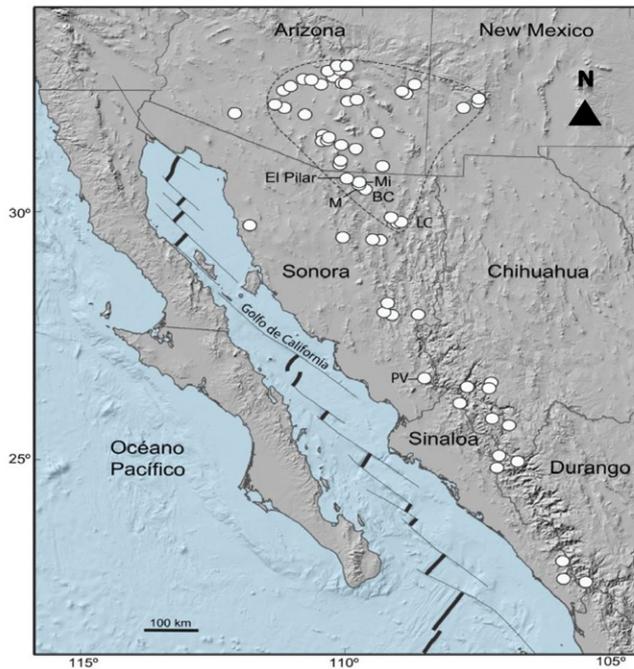
**Keywords:** El Pilar, porphyry copper, exotic, NW Mexico

<sup>1</sup> Posgrado en Ciencias de la Tierra, Estación Regional del Noreste, Instituto de Geología, UNAM, México.

<sup>2</sup> Estación Regional del Noreste, Instituto de Geología, UNAM, México.

## INTRODUCCIÓN

La porción noroeste de México es bien conocida por sus yacimientos minerales, particularmente los pórfidos de cobre. Estos yacimientos corresponden a un cinturón alargado en dirección NW-SE, que se extiende por toda la cordillera oeste de Norteamérica, y son especialmente notables en el suroeste de los Estados Unidos y al noroeste de México. Los depósitos más grandes de este tipo ocurren en Arizona, New Mexico y Sonora, donde conforman una de las regiones cupríferas más ricas en el mundo, conocida como el gran clúster de los pórfidos de cobre de Norteamérica (Fig. 1).

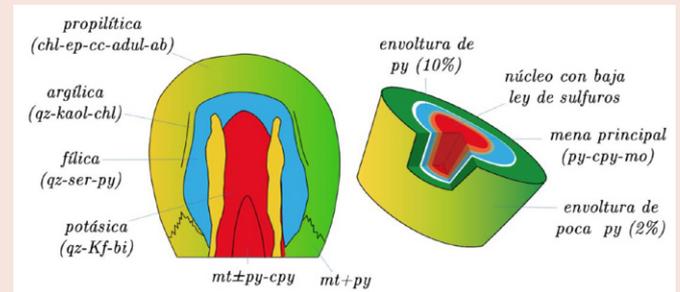


**Figura 1.** Localización de la porción principal del cinturón de pórfidos de cobre del suroeste de Norteamérica, mostrando los depósitos más importantes (círculos blancos). La línea punteada limita la zona del gran clúster. BC: Buenavista del Cobre; LC: La Caridad; M: María; Mi: Milpillas; PV: Piedras Verdes.

La dirección preferencial del cinturón de pórfidos de cobre es una característica heredada de la posición de la paleotrinchera, asociada al marco tectónico que generó los diferentes arcos magmáticos de la cordillera, que fueron controlados por la subducción de la placa Farallón debajo de Norteamérica. Este proceso tectónico empezó desde el Permo-Triásico [1], pero los principales pulsos de mineralización de cobre ocurrieron entre el Cretácico Tardío y el Eoceno [2].

Los sistemas están controlados en primera instancia por el enfriamiento de grandes plutones emplazados en la región mesozonal de la corteza (~ 8-12 km), los cuales derivaron columnas de magma que ascendieron hasta un nivel muy somero (~1-3 km) [3][4]. Estas columnas constituyen

los conductos para la circulación de los fluidos hidrotermales portadores de la mineralización. Las columnas están representadas por un plutón relativamente pequeño, con un diámetro de ~1-2 km [5], el corresponde al centro termal del sistema entorno al cual los minerales de alteración y de mena se distribuyen formando arreglos concéntricos que definen zonas específicas [6]. Sin embargo, durante las campañas de exploración existen muchas complicaciones que hacen que la reconstrucción del depósito sea mucho más compleja que el modelo tradicional ilustrado en la Figura 2.



**Figura 2.** Modelo tradicional de los depósitos tipo pórfido de cobre, mostrando el zonamiento lateral de la alteración (izquierda) y de los minerales de mena (derecha). Chl (clorita), Ep (epidota), cc (calcocita), adul (adularia), ab (albita), qz (cuarzo), kaol (kaolinita), ser (sericita), py (pirita), Kf (feldespato potásico), bi (biotita), cpy (calcopirita), mo (molibdenita) y mt (montmorillonita).

En algunos casos, los sistemas están solo parcialmente preservados, segmentados, rotados e incluso ocultos y detectados por métodos de exploración indirectos o por barrenación. Éste es el caso de El Pilar, donde la mayor parte del sistema original fue erosionado, y el depósito actual está caracterizado por minerales de cobre exótico producto del transporte mecánico y en solución del cobre, el cual fue redepositado en gravas de relleno de cuencas del Mioceno adyacentes.





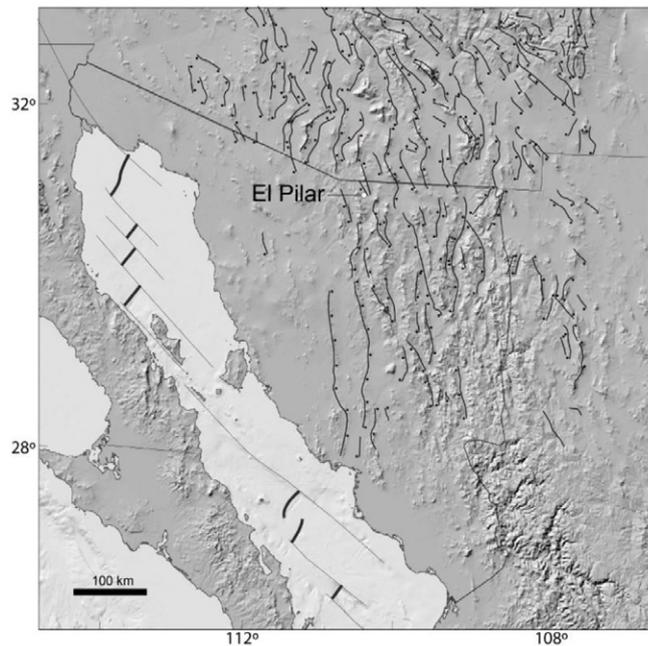
### Características generales de los pórfidos de cobre en Sonora

En Sonora existen distintas localidades de pórfido de cobre documentados, de los cuales, Buenavista del Cobre, La Caridad, Milpillas, María y Piedras Verdes tienen o han tenido actividad extractiva (Fig. 1). De todos ellos Buenavista del Cobre resalta por su tamaño, con ~30 Mt de cobre, el cual lo hace de clase mundial y uno de los principales en la zona del gran clúster.

Claramente la mayor cantidad de cobre se concentra en la región norte-noreste de Sonora, cuya geología está caracterizada por la presencia de un basamento proterozoico asociado al cratón norteamericano. Los depósitos están ligados con el emplazamiento de plutones calcoalcalinos mayormente con una composición entre cuarzodiorita y granito, pero muy comúnmente se asocian a intrusivos cuarzo-feldespáticos. Las rocas hospedantes de la mineralización son generalmente rocas volcánicas de la Formación Henrietta del Jurásico y las Formaciones Mesa y Tarhumara del Cretácico Tardío, las cuales son regionalmente



equivalentes. En la mayoría de los casos, los depósitos han sido segmentados por fallas normales asociadas al evento de fallamiento en bloque Basin and Range durante el Mioceno (Fig. 3).



**Figura 3. Mapa mostrando las principales estructuras de la provincia extensional Basin and Range en el noroeste de México y suroeste de Estados Unidos (modificado de [7]).**

En la mayoría de los casos, la zona de sulfuros primarios ha sido parcialmente expuesta durante la exhumación asociada con este evento. Posteriormente, debido a la acción prolongada de aguas meteóricas, la zona de sulfuros



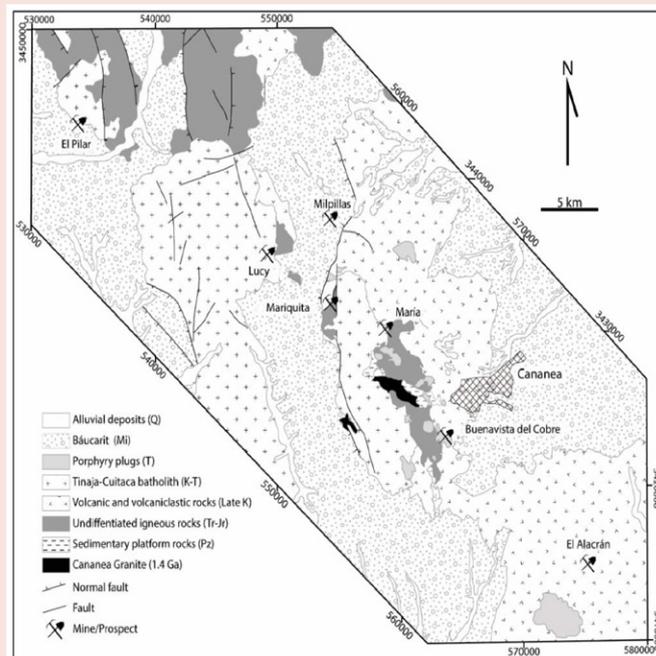
es generalmente alterada y el cobre removilizado y re-precipitado en horizontes más profundos formando importantes zonas de enriquecimiento secundario, las cuales constituyen un objetivo importante en las campañas de exploración de este tipo de yacimientos. Hacia la parte sur de Sonora, el cinturón magmático se hace más angosto y los depósitos de pórfido de cobre son considerablemente más pequeños, quizás reflejando un cada vez menor involucramiento del basamento proterozoico.

### EL PILAR

El Pilar es un prospecto de cobre propiedad de Grupo México, el cual ha pasado ya las pruebas de factibilidad y se encuentra cerca de iniciar operaciones. En 1970, la empresa Cyprus Amax Minerals, adquirió los derechos de El Pilar. Entre 1992 y 1997 es cuando se desarrolló la primera campaña de exploración geológica y geofísica a cargo de la empresa Normex. Posteriormente entre 1998 y el 2003 Normex y Freeport Copper realizaron campañas de barrenación de más de 12,000 metros, cuya información arrojó un volumen estimado de ~162 Mt con una ley de 0.39% Cu. En el 2009, la compañía Stingray realizó un estudio de factibilidad del depósito, reportando 229.7 Mt de mineral con una ley de cobre de 0.31%. En el 2010 Stingray y Mercator Minerals LTD., se integraron como una sola empresa con relación a los derechos sobre El Pilar, y en el año 2015 es cuando Grupo México se convirtió en propietario de esta concesión minera.

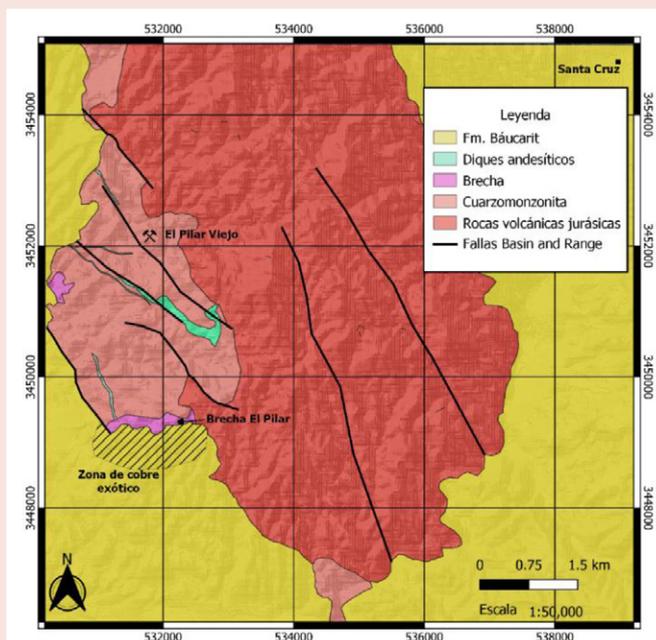
### Geología

El prospecto El Pilar se ubica al sur de la sierra San Antonio, en una región subyacida por complejos de rocas ígneas y metamórficas proterozoicas correspondientes al cratón de Norteamérica. Las unidades litológicas que conforman esta zona son similares a las que secuencias que afloran en el distrito minero de Cananea (Fig. 4), aunque no se conocen afloramientos de las rocas del basamento proterozoico y de la cubierta de plataforma del Paleozoico.

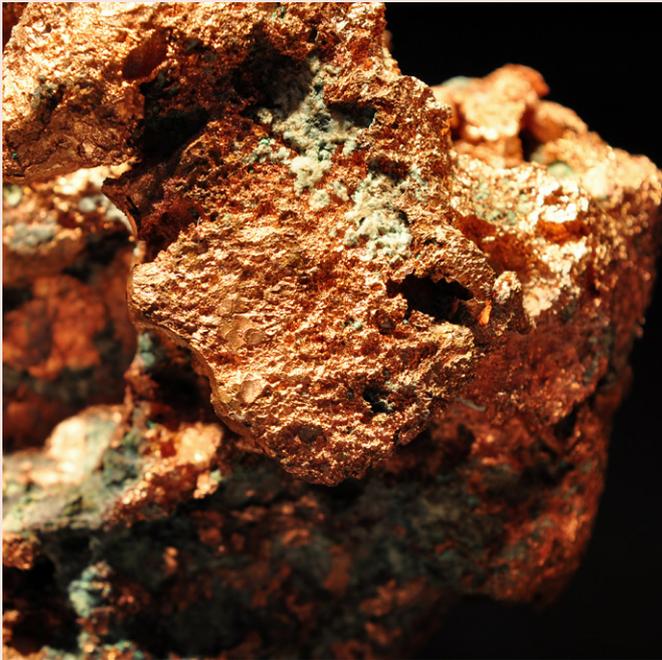


**Figura 4. Mapa geológico del distrito de Cananea mostrando la distribución de las principales unidades litológicas, rasgos estructurales y la ubicación de los depósitos de pórfido de cobre (Tomado de [8]).**

Las rocas más antiguas corresponden a flujos de lava y depósitos de tobas de composición riolítica a dacítica asignadas por correlación litológica al Jurásico [9]. Estas rocas fueron intrusionadas por un plutón cuarzomonzonítico que aflora en la porción occidental del área (Fig. 5).

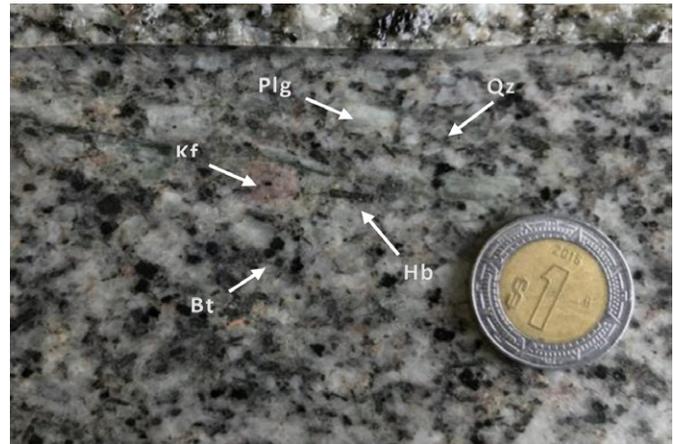


**Figura 5. Mapa geológico del área del prospecto El Pilar, modificado de [10] y [11].**



El intrusivo cuarzomonzonítico tiene textura equigranular y se caracteriza por la presencia de plagioclasa, cuarzo, biotita y hornblenda (Fig. 6). Su edad ha sido ubicada por U-Pb en zircones entre  $74.7 \pm 1.1$  y  $74.6 \pm 1.4$  Ma [8].

Este intrusivo fue cortado por una o más etapas de stocks porfídicos asociadas con la mineralización hipogénica de cobre y molibdeno, caracterizados por fenocristales de ortoclasa y cuarzo, comúnmente mostrando vetillas de sulfuros (Fig. 7).



**Figura 6.** Fotografía del intrusivo cuarzomonzonítico tomada de una muestra de núcleo de barrenación, mostrando un aspecto de la mineralogía. Plg (plagioclasa); Qz (cuarzo); Kf (feldespato potásico); Hb (hornblenda); Bt (biotita).





**Figura 7. Fotografía de una muestra de núcleo de un intrusivo porfídico mineralizado. Debido a la alteración hidrotermal, la mineralogía es difícil de distinguir en esta imagen. Los parches de sulfuros arriba y a la derecha de la moneda son principalmente de calcopirita y pirita.**

La zona mineralizada de El Pilar se ubica adyacente a una estructura de brecha con clastos de rocas volcánicas y fragmentos de los intrusivos en una matriz ferruginosa (Fig. 8).



Esta estructura aflora particularmente en la porción sur del intrusivo cuarzomonzonítico, y ha sido considerada como la posible fuente principal de la mineralización [1].



**Figura 8. Muestra de mano de la brecha El Pilar donde se observan clastos de rocas volcánicas félsicas en una matriz ferruginosa.**

## Mineralización

De manera probablemente contemporánea con las intrusiones porfídicas se emplazaron estructuras brechoides, las cuales se exponen en la parte sur, la más importante, y centro occidental del plutón cuarzomonzonítico (Fig. 5). Aunque existen evidencias de explotación de mineral primario en la parte norte del intrusivo, en una zona conocida como El Pilar Viejo (Fig. 5), la mineralización del prospecto El Pilar se localiza en la matriz y en películas cubriendo los clastos de las gravas del Mioceno (Fig. 9). La mineralización consiste particularmente en malaquita, tenorita y crisocola. La edad de mineralización ha sido obtenida por Re-Os en molibdenita en  $73.9 \pm 0.3$  Ma [8].



Figura 9. Fotografía en uno de los afloramientos del conglomerado del Mioceno mostrando mineralización de cobre en forma de malaquita cubriendo parte de los fragmentos de roca.

## CONCLUSIONES

El Pilar es un depósito dominado por minerales de cobre originados principalmente por la descomposición mecánica de una brecha mineralizada, así como la re-movilización y re-precipitación de cobre por la acción de aguas meteóricas, para formar un depósito de tipo exótico en las gravas del valle adyacente al sur de la Sierra San Antonio.

El lapso transcurrido entre el emplazamiento del plutón cuarzomonzonítico y la mineralización es bastante corto ( $<1$  Ma), por lo que el evento hidrotermal ocurrió de manera sincrónica con las primeras etapas de enfriamiento del plutón principal.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Valencia-Moreno, M., Ochoa-Landín, L., Noguez-Alcántara, B., Ruiz, J., & Pérez-Segura, E. "Geological and metallogenetic

characteristics of the porphyry copper deposits of México and their situation in the world context". *SPECIAL PAPERS-GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA*, 422, 433, 2007.

- [2] Valencia-Moreno, M., Camprubí, A., Ochoa-Landín, L., Calmus, T., & Mendivil-Quijada, H., "Latest Cretaceous-early Paleogene "boom" of porphyry Cu mineralization associated with the Laramide magmatic arc of Mexico". *Ore Geology Reviews*, 81, 1113-1124., 2017.
- [3] Sillitoe, R. H. "The tops and bottoms of porphyry copper deposits". *Economic Geology*, 68(6), 799-815, 1973.
- [4] Sillitoe, R. H., & Hedenquist, J. W., "Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits". *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10, 315-343, 2003.
- [5] Titley, S. R., and Beane R. E., "Porphyry copper deposits; part I, geologic settings, petrology, and tectogenesis". *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, 214-269, 1981.
- [6] Lowell, D. J., & Gilbert, J. D. "Lateral and Vertical Alteration-Mineralization Zoning in porphyry ore deposits". *Economic Geology*, 65, 373-408, 1970.
- [7] Calmus, Thierry, 2011, *Evolución geológica de Sonora durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico*, in Calmus, Thierry, ed., *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 7, 227-266.
- [8] Del Rio-Salas, R., Ochoa-Landín, L., Valencia-Moreno, M., Calmus, T., Meza-Figueroa, D., Salgado-Souto, S., & Mendivil-Quijada, H., "New U-Pb and Re-Os geochronology of Laramide porphyry copper mineralization along the Cananea lineament, northeastern Sonora, Mexico: Contribution to the understanding of the Cananea copper district". *Ore Geology Reviews*, 81, 1125-1136, 2017.
- [9] Rodríguez Castañeda, J. L., & Anderson, T. H. "El arco magmático jurásico en Sonora, México—distribución, edades y ambiente tectónico". *Boletín del Instituto de Geología. UNAM*, (118), 2011.
- [10] Mercator Minerals LTD., "Feasibility Study El Pilar Project Sonora, México". 43-101F1 Technical Study Report, 319 p., 2011.
- [11] Rascón-Heimpel, M. A. "Visita al Proyecto El Pilar, Mpio. Santa Cruz, Sonora". Proyecto PERUMEX. Libroto Guía, Grupo México, 19 p., 2018.

## Cómo citar este artículo:

Aguilar Austria, S., & Valencia-Moreno, M. (2022). EL PILAR: UN CASO PARTICULAR EN LOS DEPÓSITOS DE TIPO PÓRFIDO DE COBRE EN MÉXICO. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.200>

