

Transición de VMS a pórfidos-epitermales: ejemplo del arco intraoceánico Macuchi, Ecuador

Darío Fuentes (1*), César Witt (2), Fabián Villares (3), Jorge Iglesias (2), Joaquín A. Proenza (1)

(1) Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona, Barcelona (España)

(2) Lille University, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Littoral Côte d'Opale University, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR 8187, LOG, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, Lille, (France)

(3) Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito (Ecuador)

* corresponding author: dario_afm@hotmail.com

Palabras Clave: Arco Macuchi, VMS, Pórfido, Geoquímica de circón. **Key Words:** Macuchi arc, VMS, Porphyry, Zircon geochemistry.

INTRODUCCIÓN

El arco volcánico intraoceánico Macuchi (Eoceno), ubicado en la Cordillera Occidental del Ecuador, constituye una unidad litotectónica clave para comprender la evolución de los arcos oceánicos que se emplazaron en los Andes del Norte a partir del Cretácico superior. Esta secuencia volcánica, de ~2000 m de espesor, está conformada por lavas basálticas y andesíticas, rocas volcanoclásticas, y menores proporciones de dacitas y riolitas (Aguirre y Atherton, 1987; Vallejo et al., 2019). Esta unidad se caracteriza por alojar depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) de interés económico como La Mina (anteriormente denominado La Plata), Macuchi, y El Domo (Chiaradia et al., 2008; Vallejo et al., 2016; Fuentes et al., 2025). Además, estudios recientes en el distrito Cascabel han demostrado que el arco Macuchi también hospeda yacimientos tipo pórfido Cu-Au-Ag de clase mundial, asociados a pulsos magmáticos datados entre 39 y 35 Ma (Díaz et al., 2025). Sin embargo, la relación temporal y genética entre el volcanismo exhalativo del Eoceno y los eventos intrusivos posteriores en la zona central, donde se desarrollan los VMS, permanece poco comprendida, lo que limita la construcción de un modelo metalogenético integrador para este segmento del arco.

En este trabajo se presentan nuevos datos de U-Pb, isótopos de Hf y la geoquímica de elementos traza en granos de circón que sugieren una evolución metalogenética compleja del arco Macuchi, caracterizada por una marcada naturaleza juvenil de la fuente magmática y una transición hacia sistemas de afinidad pórfido-epitermal. Para ello, se analizaron muestras representativas de diferentes etapas de la evolución del arco: i) una dacita a muro del VMS El Domo, ii) una cuarzodiorita asociada al prospecto de pórfido cuprífero La Vaquera (~10 km de distancia del VMS El Domo), y iii) una riodacita que intruye la secuencia basáltica en el sector del VMS La Mina.

RESULTADOS

La geocronología U-Pb, la sistemática de Lu-Hf y la geoquímica de elementos traza medida directamente en granos de circón definen una evolución magmática caracterizada por tres estadios principales (Tabla. 1). El primero está representado por la dacita a muro del VMS El Domo ($39,6 \pm 1.5$ Ma), cuya edad es consistente con los 41 Ma reportados por Vallejo et al. (2016). Esta muestra presenta una firma isotópica juvenil con valores de ϵ_{Hf} ($+10,5 \pm 1,1$, 2σ ; $n = 15$), temperaturas de cristalización de $\sim 733^\circ\text{C}$ (Ti-en-circón) y un ratio U/Yb de 0,19. La secuencia paragenética del VMS El Domo define una subetapa polimetálica donde se desarrollan sulfosales de Ag y Bi (stromeyerita, emplectita/wittichenita), telururos (hessita, petzita, tsumoita/pilsenita) y electrum, evidenciando un sistema hidrotermal con una fuerte influencia de fluidos magmáticos.

En el prospecto del pórfido cuprífero La Vaquera se obtuvo una edad de $30,3 \pm 0,9$ Ma, donde los circones documentan un incremento en los valores de ϵ_{Hf} ($+14,8 \pm 1,3$, 2σ ; $n = 15$), indicando una contribución de fuentes magmáticas predominantemente juveniles en este sector. El registro de logueo muestra una cuarzodiorita porfídica donde se identifica una fase de alteración potásica incipiente caracterizada por biotita secundaria y magnetita

diseminada, sobreimpuesta por una alteración propilitica (clorita, epidota y carbonatos). Este pulso magmático presenta un marcado fraccionamiento de plagioclasa ($Eu/Eu^* = 0,17$), temperaturas de $\sim 770^\circ\text{C}$, y un ratio U/Yb de 0,23, consistente con una evolución hacia sistemas magmáticos altamente diferenciados.

Finalmente, la riodacita que intruye la secuencia basáltica en el sector de La Mina tiene una edad de $21,7 \pm 1,0$ Ma. Aunque no exhibe evidencias macroscópicas de mineralización, presenta una firma isotópica juvenil ϵ_{Hf} ($+13,7 \pm 1,0$, 2σ ; $n = 15$), temperatura de cristalización de $\sim 683^\circ\text{C}$, y mayor ratio U/Yb (0,45), sugiriendo que la naturaleza primitiva de las fuentes mantélicas en este sector persistió hasta el Mioceno temprano. Este pulso magmático podría representar una etapa tardía del arco Macuchi o bien correlacionarse con el arco San Juan de Lachas que se encuentra expuesto al norte del Ecuador (Vallejo et al., 2019).

Tabla 1. Resultados de U/Pb, isótopos de Hf, y elementos traza en granos de circón.

	Edad U-Pb (Ma)	ϵ_{Hf}	Eu/Eu*	U/Yb	Th/U	T ($^\circ\text{C}$) Ti-en-circón
Dacita VMS El Domo	$39,6 \pm 1,5$	$+10,5 \pm 1,1$	0,43	0,19	0,7	733
Cuarzodiorita La Vaquera	$30,3 \pm 0,9$	$+14,8 \pm 1,3$	0,17	0,23	0,9	770
Riodacita VMS La Mina	$21,7 \pm 1,0$	$+13,7 \pm 1,7$	0,55	0,45	0,29	683

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo con los datos geocronológicos disponibles, los depósitos tipo VMS (El Domo) y pórfido de Cu-Au-Ag (Cascabel), encajados en el arco intraoceánico Macuchi, tienen edades comprendidas entre 41 y 35 Ma. La coexistencia espacial entre la mineralización volcánogénica de sulfuros (El Domo) y el prospecto de pórfido La Vaquera (~ 30 Ma), sugiere que la fertilidad magmática en Cu y Au del arco Macuchi persistió por un periodo de al menos 10 Ma. El rango de valores de ϵ_{Hf} ($+10,5$ a $+14,8$) refleja una continuidad de las fuentes isotópicas juveniles en los sectores estudiados. La integración de geocronología U-Pb, isótopos de Hf, y geoquímica de elementos traza en circón (p. ej., U/Yb, Th/U y temperaturas de Ti-en-circón) constituye una herramienta valiosa para la identificación de centros magmáticos con potencial metalogénico en distritos tradicionalmente explorados para VMS en los Andes del Norte.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto PIS-22-03 del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. Se agradece la colaboración y el apoyo brindados por los proyectos La Plata y Curipamba.

REFERENCIAS

- Aguirre, L., Atherton, M.P. (1987): Low-grade metamorphism and geotectonic setting of the Macuchi Formation, Western Cordillera of Ecuador. *J. Metamorph. Geol.*, **5**, 473–494.
- Chiaradia, M., Tripodi, D., Fontboté, L. (2008): Geologic setting, mineralogy, and geochemistry of the early tertiary Au rich volcanic-hosted massive sulfide deposit of La Plata, western cordillera, Ecuador. *Econ. Geol.*, **103**, 161–183.
- Díaz, C., Cooke, D.R., Belousov, I., Vaca, S., Garwin, S., Mather N., Ward, J., Whistler, B., Creaser, R. (2025): The Cascabel Porphyry Cu-Au-Ag District, Northern Ecuador. *Econ. Geol.*, **120**, 335–362.
- Fuentes, D., Villares, F., López, L., Proenza, J.A., Perez, A., Almagor, S., López, X. (2025): Lithochemochemistry of the La Mina VMS deposit in the Macuchi Unit (Western Cordillera, Ecuador): metalogenic implications, in “18th SGA Biennial Meeting 2025”, E. Anderson, G. Graham eds., SGA, **2**, 733–736.
- Vallejo, C., Soria, F., Tornos, F., Naranjo, G., Rosero, B., Salazar, F., Cochrane, R. (2016): Geology of El Domo deposit in Central Ecuador: a VMS formed on top of an accreted margin. *Miner. Deposita*, **51**, 389–409.
- , Spikings, R.A., Horton, B.K., Luzieux, L., Romero, C., Winkler, W., Thomsen, T. (2019): Late Cretaceous to Miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment, in “Andean Tectonics”, B.K., Horton, A., Folguera, eds. Elsevier, Amsterdam, 209–236.