

Diagnóstico geoquímico y relación geológico estructural para delimitación del corredor metalogénico Machala entre 3°20' - 4°00'S (Ecuador)

Geochemical diagnosis and geological-structural relationship for the delimitation of the Machala's metallogenic belt between 3 20'- 4 00'S (Ecuador)

Nathaly Espinosa¹, José Cuervas-Mons²

¹Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Universidad Central del Ecuador, Gilberto Gatto Sobral y Jerónimo Leiton, 170521 Quito (Ecuador). nvespinosa@uce.edu.ec

²Facultad de Geología. Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo (España). juervas@geol.uniovi.es

RESUMEN

El presente proyecto se ubica en la República del Ecuador, entre las latitudes 3°20'S y 4°00'S, siendo desarrollado con el objetivo de proponer targets potencialmente prospectivos, para lo cual se analizaron datos geológicos, geoquímicos y geofísicos de la zona.

A partir de la información geoquímica del proyecto PRODEMINCA (muestreo de sedimentos fluviales) y aplicando el método de Kriging Ordinario, se generaron resultados para elementos: Ag, As, Au, Cu, Co, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Sb V y Zn, definiendo 7 zonas potencialmente prospectivas, que presentan características típicas de sistemas tipo pórfido y epitermal. Con el procesamiento de datos magnéticos se delimitaron zonas de susceptibilidad magnética, asociadas a los diferentes tipos de rocas y fallas regionales.

En este trabajo se definió el corredor metalogénico Machala a partir del análisis de anomalías geoquímicas y geofísicas y de la geología estructural.

Palabras clave: Potencial Metalogénico, geoquímica, anomalía, susceptibilidad, lineamiento.

Geogaceta, 69 (2021), 39-42
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

ABSTRACT

The present research is located in the Republic of Ecuador between latitudes 3°20'S and 4°00'S, was developed with the objective to proposing potentially prospective targets, for which geological, geochemical and geophysical data from the area were analyzed.

From the geochemical information PRODEMINCA project (stream sediments sampling) and applying the Ordinary Kriging method, results were generated for elements: Ag, As, Au, Cu, Co, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Sb V and Zn, defining 7 potentially prospective targets were defined, which have typical characteristics of porphyry and epithermal systems. Magnetic data processing delimited zones of susceptibility magnetic, zones were delimited, associated with different types of rocks and regional faults.

In this work, the metallogenic belt Machala was defined by means of geochemical and geophysical anomalies and the structural geology.

Key-words: Metallogenic potential, geochemical, anomaly, susceptibility, guidelines.

Fecha de recepción: 30/06/2020
Fecha de revisión: 23/10/2020
Fecha de aceptación: 27/11/2020

Introducción

Ecuador dispone de diferentes recursos minerales de gran interés, generando la necesidad de desarrollar exploración minera como fuente de ingresos y conocimiento científico para el país. Evaluar el potencial metalogénico de una región determinada, la búsqueda de yacimientos minerales y la distribución de éstos con relación al contexto geológico y estructural permite definir zonas potencialmente prospectivas. La cordillera de los Andes se constituye como la principal estructura geomorfológica y metalogénica del país, caracterizada por fallas N-S y N15°E (Yépez, 2015) y estructuras transversales con dirección NW-SE. Estas estructuras y la intrusión de cuerpos plutónicos intraminerales permitieron el desarrollo de importantes yacimientos minerales metálicos, la mayoría de los

cuales se encuentran hoy en día en estado de prospección y exploración minera.

El presente estudio se enfocó en la delimitación del corredor metalogénico situado entre 3°20' - 4°00'S, a partir de la combinación de análisis de la geología estructural, geoquímica de sedimentos fluviales y geofísica aeromagnética, mediante correlación y aplicación del Sistema de Folios (Andrade, 2017).

Marco Regional

La zona analizada se encuentra al Sur de la República del Ecuador, con un área aproximada de 8228 km², situada entre las latitudes 3°20'S y 4°00'S. Incluye gran parte de la provincia de El Oro, el sur de Azuay, la zona norte de Loja y la parte nor-occidental de Zamora (Fig. 1).

Desde un punto de vista geológico, el área de estudio se encuentra en la fran-

ja transicional entre los Andes de Perú y Ecuador, comprendiendo rocas pelíticas y cuarzo feldespáticas de edad paleozoica no metamórficas hasta facies de granulita (G. Tahuín) y rocas cretácicas de alta presión del complejo metamórfico El Oro (U. El Toro y U. Raspas) que conforman el basamento; este basamento se encuentra intruído por diferentes plutones de composición granítica y es sobreyacido por una secuencia de rocas andesito-basálticas cretácicas (Fm. Celica) y calco alcalinas oligocénicas (Fm. Saraguro), sobre las cuales descansan volcánicos de edad Paleoceno - Mioceno de las Fms. Sacapalca y Chinchillo (Kennerley y Almeida, 1973).

Metodología

El procedimiento metodológico aplicado en este trabajo abarcó las siguientes etapas:



Fig. 1.- Mapa de ubicación del área de estudio.
Fig. 1.- Location map of the study area.

Procesamiento geofísico

Se utilizaron datos aeromagnéticos obtenidos del Proyecto PRODEMİNCA, (2000). Para realizar el procesamiento de información aeromagnética, es necesario interpolar los valores medidos (x, y, z) del campo magnético total, aplicando el método Bi-direccional (Hinze, 2013). Obtenido el mapa de interpolación, se realiza la reducción al polo (RTP) para mejorar la geometría de las anomalías magnéticas, aplicando un filtro de continuación del campo hacia arriba (Hinze, 2013) de 1000 m; al aumentar la altura del filtro se eliminan los bajos magnéticos, y para evitar este caso se aplicó una altura en la que se minimizara el ruido de las altas frecuencias. Para mejorar las respuestas de las fuentes geológicas superficiales, se realizó el mapa de segunda derivada (2DV), identificando lineamientos estructurales.

Procesamiento geoestadístico

Contempló el análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) de 1499 muestras de sedimentos fluviales recolectadas por el proyecto PRODEMİNCA, de las cuales se realizó el análisis de los elementos: Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Sb, V y Zn, evaluando medidas de tendencia central, dispersión y forma, mediante datos iniciales en ppm y transformados en logaritmos, obteniendo posteriormente distribuciones normales. Para el análisis estructural se realizaron semivariogramas muestrales, determinando el mejor ajuste relacionado con la dispersión de los elementos. La interpolación fue realizada mediante el método Kriging Ordinario, el cual consiste en una técnica geoestadística muy útil y efectiva para predecir espacialmente anomalías geoquímicas (Jiménez, 1993). Por otro lado, el método Lepeltier Modificado permitió determinar poblaciones (background,

umbral, anomalías) y clasificar rangos de anomalías geoquímicas mediante datos normalizados (Mateus, 2011).

Correlación e interpretación

Por último, la información geológica, geofísica y geoquímica se correlaciona mediante la superposición de mapas, permitiendo asociar al posible tipo de yacimiento y delimitando el corredor Machala.

Resultados geofísicos

Con base al mapa reducido al polo (Fig. 2A) se procedió a realizar la inter-

pretación de posibles anomalías asociadas a litologías o controles estructurales.

Las anomalías se encuentran en la parte centro norte de la zona de estudio, formando cuerpos con dirección NNE-SSW y E-W. Para el análisis e interpretación de dichas anomalías magnéticas, se clasificaron de acuerdo con el grado de susceptibilidad magnética asociado al tipo de roca (Tabla. I).

Con el objetivo de destacar contrastes magnéticos que permitan delinear estructuras geológicas o lineamientos, se utilizó la segunda derivada del RTP (Fig. 2B).

Estos resultados evidencian estructuras en dirección NW-SE, E-W y NE-SW; es decir, se interpreta que existen 3 sis-

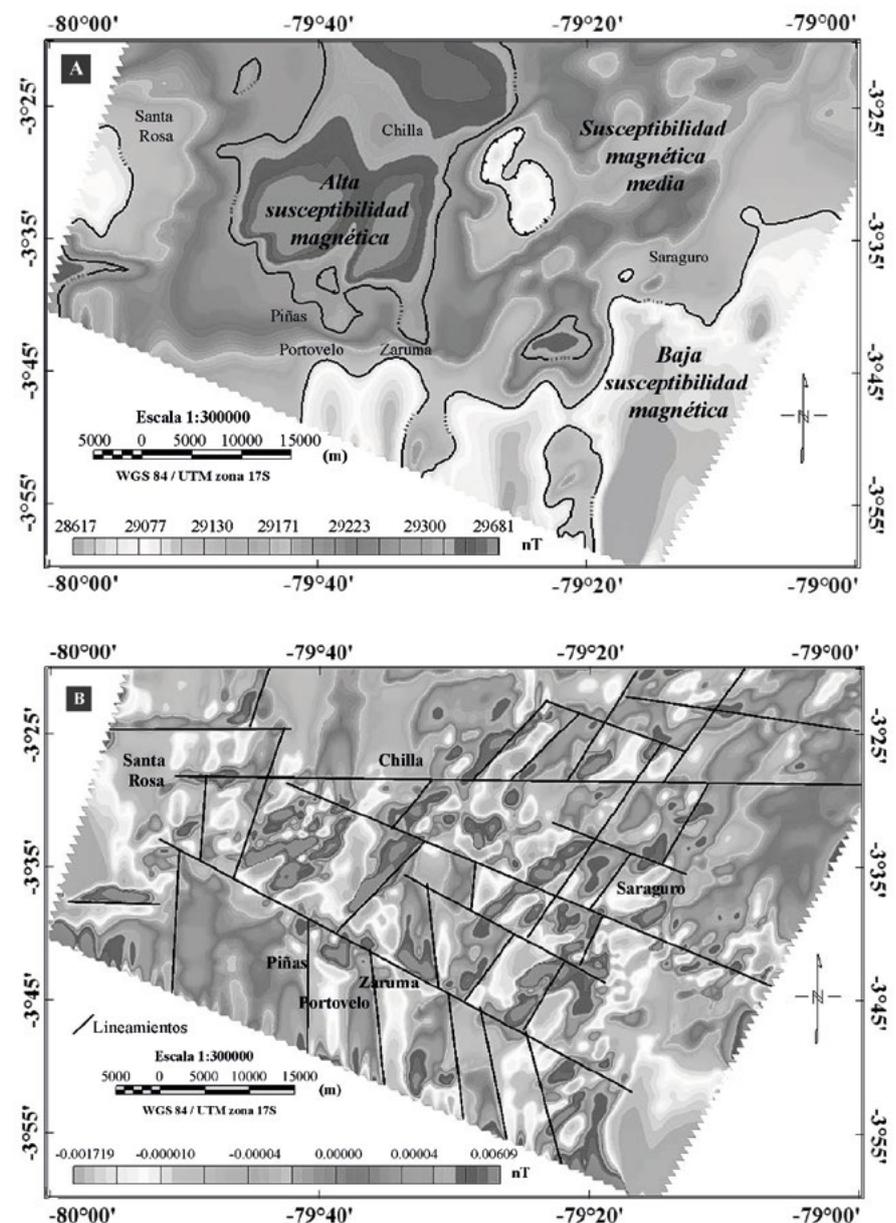


Fig. 2.- Mapas de interpretación geofísica. A) Mapa de reducción al polo. B) Mapa de la segunda derivada.
Fig. 2 Geophysical interpretation maps. A) Reduction to pole map. B) Second derivative map.

temas estructurales: i) los lineamientos NE-SW asociados al rumbo regional de la Cordillera Andina, específicamente a la Falla Girón-Cuenca ubicada cerca de la zona de estudio, ii) los lineamientos W-E asociados a la Deflexión de Huancabamba y iii) el sistema de fallas NW-SE el cual predomina y están asociados a la Falla Piñas-Portovelo. Cabe recalcar que estas estructuras cortan a los lineamientos anteriormente descritos y presentan mayor continuidad lateral (Fig. 2B).

Análisis espectral

El espectro de potencia promediado radialmente del mapa de anomalías magnéticas dió como resultado la profundidad de las fuentes someras, intermedias y profundas (González, 2010), a través de los cambios de las pendientes (Fig. 3).

La pendiente 1 representa a la fuente regional profunda, caracterizada por frecuencias y amplitudes menores, así como, longitudes de onda larga, encontrándose a una profundidad de 2.87 km. La fuente residual somera (pendiente 2), determinada por frecuencias mayores y longitudes de onda corta, se ubica a una profundidad de 0.25 km y la pendiente 3, donde las frecuencias son altas, relacionadas con ruido en los datos, cuya profundidad estimada es de 0.06 km.

Resultados geoquímicos

Una vez analizados los elementos

Grado	Tipo de roca	Formación geológica
Alta >29300 nT	Andesitas basálticas, riolitas, tobas	Fm. Chinchillo (Mioceno) y Celica (Cretácico)
		Fm. Tarqui (Pleistoceno, Saraguro (Oligoceno), Grupo Tahuín (Paleozoico)
		Fm. Sacapalca (Paleoceno) y Ciano (Cretácico)
Media 29108 a 29300 nT	Riolitas, tobas, pórfido cuarífero, esquistos, andesitas, depósitos aluviales	
Baja <29108 nT	Riolitas, tobas, lutitas, limolitas, filitas	

Tabla I.- Interpretación del grado de susceptibilidad magnética.
Table I.- Interpretation of the degree of magnetic susceptibility.

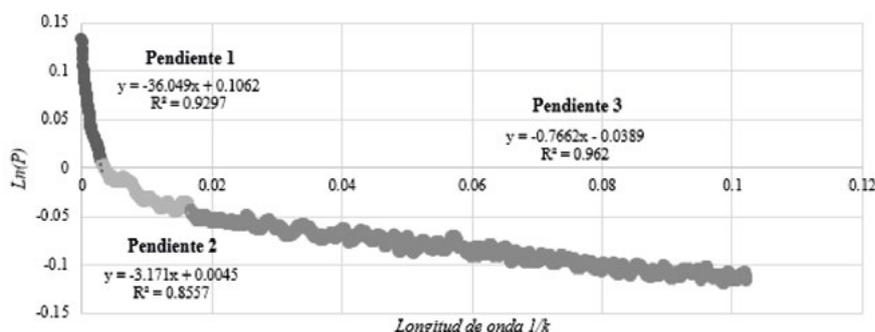


Fig. 3.- Espectro de potencia de anomalías magnéticas.
Fig. 3.- Magnetic anomaly power spectrum.

(Ag, As, Au, Cu, Co, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Sb V y Zn) y tomando en cuenta los valores del umbral geoquímico se zonificó el área de estudio obteniendo 7 targets de interés (Tabla. II).

Interpretación y discusión

El Corredor Metalogénico Machala (NW-SE), ubicado entre los grados 3°20' - 4°00'S del Ecuador, constituye una zona rica en mineralización metálica. En este sector se evidencia fallas o lineamientos, que producen mecanismos de ruptura (múltiples zonas de cizalla, controles estructurales o estructuras circulares), permitiendo el ascenso de fluidos mineralizantes, emplazamiento de cuerpos multifase de intrusivos y la formación de depósitos de diversas características metalogénicas.

La respuesta geofísica obtenida en el mapa de susceptibilidad magnética (Fig. 2A), presenta valores variables (bajos, medios y altos), asociados a zonas con anomalías de Au (0,4-0,9 ppm), Ag (21-87 ppm), As (200-5338 ppm), Cu (97-5472 ppm), Co (28-155 ppm), Cr (53-854 ppm), Fe (5,2-10 ppm), Sb (41-168 ppm) y Zn (204-8516 ppm). Además, los sistemas estructurales identificados, concuerdan con la dirección de los lineamientos y fallas que se presentan a lo largo del territorio ecuatoriano y Colombia, planteado por Ujueta (2001) y coinciden con la simetría del Corredor Metalogénico "Machala" propuesto (Fig. 4), mismo que presenta una longitud aproximada de 75 km y 35 km de ancho (con un área aproximada de 2500 km²).

Conclusiones

Los resultados obtenidos con el mapa de la segunda derivada, permitió identificar lineamientos estructurales

con direcciones NE-SW, los cuales están desplazadas por el sistema de fallas con sentido predominante NW-SE y a la vez el sistema E-W crean un ambiente geológico-estructural que permite alojar depósitos con importante interés metalogénico.

La interpolación desarrollada por el método de Kriging Ordinario permitió establecer 7 targets de interés (Fig. 4) y definir anomalías principales en: elementos mayores (Ag 21-87 ppm, Au 0,4-0,9 ppm, Cu 97-5472 ppm, Pb 76-6732 ppm y V 135-720 ppm), pathfinder (As 200-5338 ppm, Co 28-155 ppm, Fe 5,2-10 ppm, Sb 41-168 ppm y Zn 204-8516 ppm) y otros elementos indicadores (Cd 9-137 ppm, Cr 53-854 ppm y Ni 16-850 ppm).

En este trabajo se ha realizado un análisis

Target	Anomalía principal	Posible tipo de depósito
1	Cr, Ni, V >16 ppm Ni <-720 ppm V	Epitermal
2	Au, As, Cr, Cu, Co, Ni, Pb >0,4 ppm Au <-5338 ppm As	Pórfido
3	Co, Cr, Cu, Fe >5,2 ppm Fe <-5472 ppm Cu	Epitermal
4	Ag, As, Co, Fe, Ni, Cu, Cr, Au, Cd, Sb, V, Zn >5,2 ppm Fe <-8516 ppm Zn	Pórfido Epitermal
5	Fe, Cu, Cd, Zn, Ni, V >5,2 ppm Fe <-720 ppm V	Pórfido
6	Fe, Cu, Cd, Zn, Ni, V >5,2 ppm Fe <-720 ppm V	Pórfido
7	Ni, Fe, V, Co >5,2 ppm Fe <-720 ppm V	Epitermal

Tabla II.- Resumen de asociaciones geoquímicas.
Table II.- Summary of geochemical associations.

lisis conjunto de geofísica aeromagnética, geoquímica de sedimentos fluviales y geología estructural, mediante correlación y aplicación del Sistema de Folios. Se evidenciaron diferentes anomalías magnéticas y geoquímicas que permitieron caracterizar y delimitar de manera fiable y eficiente el corredor metalogénico de Machala.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto de Investigación Geológico y Energético-Ecuador (IIGE) por la autorización para el uso de datos del proyecto PRODEMİNCA. Los autores desean agradecer a dos revisores anónimos y al editor de la revista, Aitor Cambeses, por sus sugerencias y comentarios para mejorar este manuscrito.

Referencias

Andrade, A. (2017). *Investigación del potencial metalogénico entre 2° y 2°30'S de la Cordillera Occidental mediante correlación geológica, geoquímica y geofísica*. Tesis de pregrado, Univ Central del Ecuador, 101 p.

González, D. (2010). *La Exploración Magnética Aérea en la Prospección de Yacimientos de Oro y Plata: caso Peña de Bernal, Querétaro*. Tesis de postgrado, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., 148 p.

Hinze, W. (2013). *Gravity and Magnetic Exploration, principles, practice and application*. New York, 62 p.

Jiménez, R. (1993). *Análisis geoestadístico de la distribución espacial de anomalías*

geoquímicas en exploración minera. Tesis Doctoral, Univ de Granada, 332 p.

Kennerley, J. y Almeida, L. (1973). *Mapa Geológico del Ecuador 1:100000, hojas n° 38, 55 y 56*.

Mateus, A. (2011). *Análisis Geoestadístico por el Método de Kriging Ordinario Aplicado a Muestras de Sedimentos Fluviales en el Distrito Minero Azuay*. Tesis de postgrado, Univ San Francisco de Quito, 142 p.

PRODEMİNCA, (2000). *Final report, project SIAL 98-A02-08 Ecuador*, 62 p.

Ujueta, G. (2001). *Revista Geología Colombiana No. 26*, 5-27.

Yépez, B. (2015). *Zona de Alineamientos sureste Salinas-Ponce Enríquez-Los Encuentros (Sapele)*. Ecuador, 11 p.

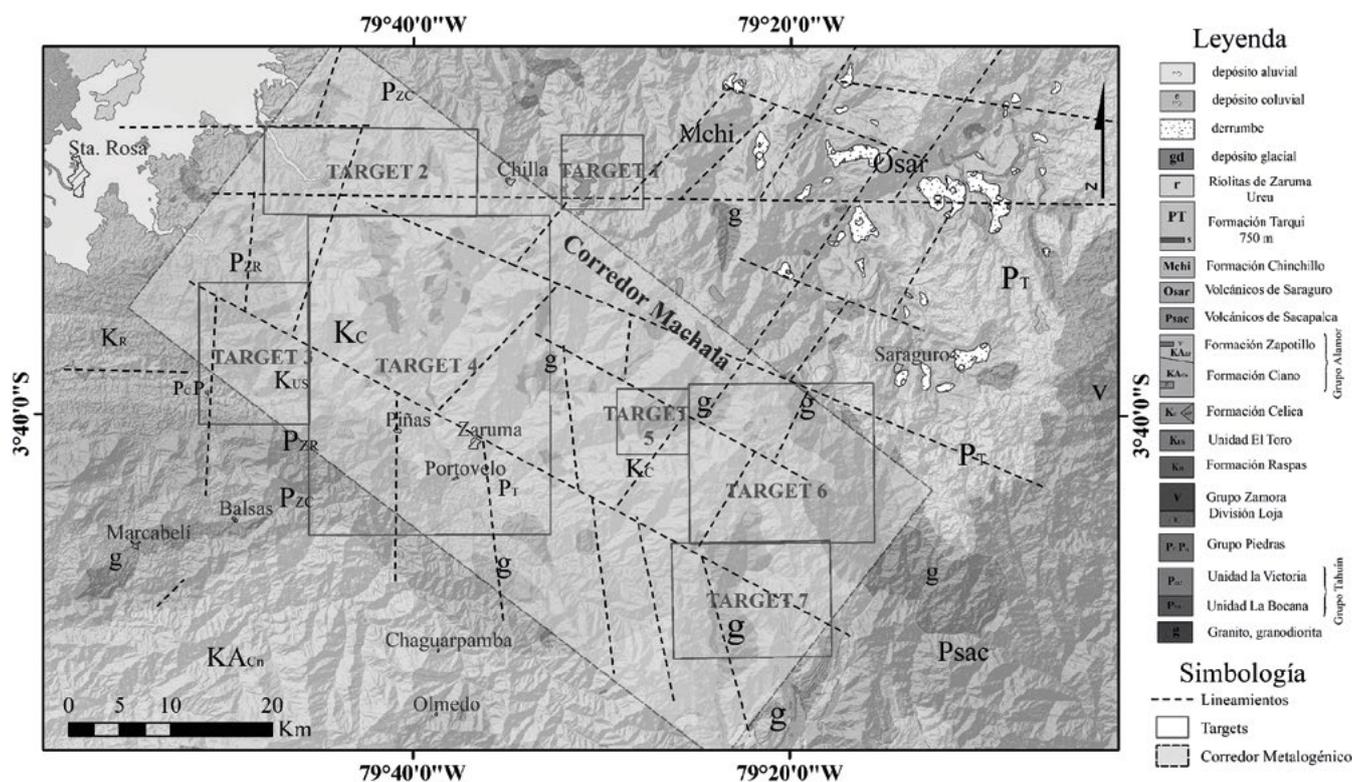


Fig. 4.- Mapa de targets de prospección y delimitación del corredor con potencial metalogénico entre 3°20' - 4°00'S del Ecuador.
 Fig. 4.- Map of prospecting and delimitation targets of the belt with metallogenic potential between 3°20' - 4°00'S of Ecuador.