

ARTÍCULOS

Análisis estadístico de la geoquímica de sedimentos activos tomados en la Cordillera Occidental del Ecuador (1997-1999) y su correlación con los depósitos Cascabel, La Plata y El Domo



Cristian Nicolás Núñez-Mantilla¹, Danny Santiago Burbano-Morillo², Gerardo Marcelo Llerena-Carrera³, John Efraín Bolaños-Moreano⁴



nunezc2014@gmail.com

¹ Investigador privado, Quito.



dsburbano@uce.edu.ec

² Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Ciudadela Universitaria, Gatto Sobral y Jerónimo Leiton, Quito, Ecuador



gmllerenac@uce.edu.ec

³ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Ciudadela Universitaria, Gatto Sobral y Jerónimo Leiton, Quito, Ecuador



jebolanosm@uce.edu.ec

⁴ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Ciudadela Universitaria, Gatto Sobral y Jerónimo Leiton, Quito, Ecuador

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 18, núm. 2, 2024

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 29 enero 2024

Aprobación: 12 agosto 2024

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.6113>

Autor de correspondencia:

nunezc2014@gmail.com

RESUMEN

Los análisis geoquímicos de sedimentos fluviales de Prodeminca fueron integrados con información geológica, estructuras y reportes de los depósitos de Cascabel, La Plata y El Domo. Se realizó la estadística descriptiva de 8.522 muestras de sedimentos fluviales desde 2° de latitud sur hasta 1° de latitud norte, muestras tomadas entre 1997 y 1999. Los elementos analizados consisten en As, Co, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, Au, Mo. Se agrupó la geología en grandes conjuntos litológicos por su ambiente y edad geológica. Los resultados de la estadística fueron valores de fondo y umbrales para los elementos estudiados, en función de su población litológica particular y global. Las asociaciones de elementos geoquímicos fueron Co-Cr-Ni-Mg-Mn-Y para el dominio de Sedimentos Volcánicos del Cretácico y Cu-Zn-Pb-Sb-W para el dominio de Volcánicos Sedimentos del Paleoceno Eoceno. Los valores anómalos de este estudio coinciden con las dos épocas metalogénicas de la Cordillera Occidental. La primera enfocada en el Eoceno con los depósitos Cascabel, El Domo, La Plata y Macuchi los cuales muestran valores anómalos de Zn y el segundo desarrollado en el Mioceno con los depósitos Llurimagua y Telimbela con valores anómalos de Cu y Mo respectivamente.

Palabras claves: geoquímica; geología económica; depósitos minerales; muestras de sedimentos; proyectos mineros.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

ARTÍCULOS

Statistical analysis of geochemistry of stream sediment of the Western Cordillera of the Ecuador (1997-1999) and its correlation with the Cascabel, La Plata and El Domo deposits



Cristian Nicolás Núñez-Mantilla¹, Danny Santiago Burbano-Morillo², Gerardo Marcelo Llerena-Carrera³, John Efraín Bolaños-Moreano⁴

Cómo citar: Núñez-Mantilla, C. N., Burbano-Morillo, D. S., Llerena-Carrera, G. M. y Bolaños-Moreano, J. E. (2024). Análisis estadístico de la geoquímica de sedimentos activos tomados en la Cordillera Occidental del Ecuador (1997-1999) y su correlación con los depósitos Cascabel, La Plata y El Domo. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 18(2), 74 - 88.
<https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.6113>

ABSTRACT

Geochemical analyses of fluvial sediments from Prodeminca were integrated with geological information, structures, and reports from the Cascabel, La Plata, and Curipamba deposits. Descriptive statistics were performed on 8.522 samples of river sediments from 2° latitude south to 1° north latitude, samples taken between 1997 and 1999. The elements analyzed consisted of As, Co, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, Au, Mo. Geology was grouped into major lithological units based on their geological environment and age. The results of the statistics were background values and thresholds for element studied, based on its particular and overall lithological population. The associations of geochemical elements were Co-Cr-Ni-Mg-Mn-Y for the domain of Cretaceous Volcanic Sediments and Cu-Zn-Pb-Sb-Zn for the domain of Paleocene-Eocene Volcanic Sediments. The anomalous values of this study coincide with the two metallogenic epochs of the Western Cordillera. The first focused on the Eocene with the Cascabel, El Domo, La Plata and Macuchi deposits which show anomalous Zn values and the second developed in the Miocene with the Llorimagua and Telimbela deposits with anomalous Cu and Mo values respectively.

KEYWORDS: geochemistry; economic geology; mineral deposits; sediment samples; mining projects.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto de Asistencia Técnica para el Desarrollo Minero y el Control Ambiental PRODEMINCA, publicaron una serie de estudios de los distritos mineros del Ecuador en cinco tomos (BGS-MEM, 2000) con información geológica, geofísica y geoquímica. Los productos presentados en estos estudios financiados por el Banco Mundial fueron: 5 mapas geológicos a escala 1:200.000; geofísica aeromagnética escala 1:200.000 y 15.171 puntos de muestreo de sedimentos fluviales de Cordillera Occidental escala 1:50.000, con análisis para 36 elementos. El muestreo se realizó en ríos de primer y segundo orden, restringiendo así la zona de procedencia efectiva. Por otro lado, el control de calidad de los análisis geoquímicos de la BGS incluyó el análisis sistemático de muestras de referencia certificadas y duplicados de campo.

Las muestras geoquímicas fueron enviadas a Bondar Clegg Ltd. Vancouver, donde el oro se determinó mediante ensayo al fuego y análisis posterior de espectrofotometría de absorción atómica (AAS). Un conjunto de 32 elementos principales y trazas se analizó por acoplamiento inductivo espectrometría de emisión de plasma. Los elementos metaloides As y Sb fueron analizada por AAS. Mercurio se determinó por AAS de vapor frío después de agua regia digestión de 1,0 g de submuestras bajo reflujo caliente (Williams *et al.*, 2000).

Williams *et al.* (2000) presentaron un estudio geoquímico regional, como un subcomponente del programa PRODEMINCA entre 2°-4° de latitud S confirmando el potencial metalogénico del área, a través de anomalías de Au y metales base relacionadas con minas y prospectos conocidos. Los datos normalizados de Au y elementos trazadores indican la presencia de objetivos de exploración anteriormente no documentados, principalmente asociados con sistemas epitermales de baja sulfuración.

En la actualidad, los resultados de laboratorio del análisis geoquímico realizado por PRODEMINCA no se han publicado en mapas y esta información se vende en el Instituto de Investigación Geológica y Energética (IIGE). Por otro lado, se han realizado varias tesis de grado usando los datos de la geoquímica de sedimentos fluviales, tales como Potencial Metalogénico entre 2° y 2°30'S (Andrade, 2017); Correlación Geológica, Geoquímica y Geofísica de la cuenca del Río Mira (Guerrero, 2017) e Interpretación geoquímica de la zona entre Sigchos y Totorillas (Quishpe, 2013). En las mismas analizaron y reportaron anomalías de varios elementos, con mapas, cortes y modelos geoquímicos.

En este trabajo se utilizan los resultados de laboratorio desde 2° de latitud sur hasta 1° de latitud norte, con un total de 8.522 muestras de sedimentos fluviales activos. Se utilizó la información publicada de las empresas mineras que cotizan en bolsa, como informes de factibilidad N43-101 y tesis de grado realizadas en el proyecto Cascabel (Díaz, 2020) para analizar el potencial metalogénico del área.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio es regional y comprende las hojas geológicas a escala 1:100.000 de: Guaranda (Dirección Nacional de Geología y Minas, 1979, p. 49), Quevedo (Dirección Nacional de Geología y Minas, 1979, p. 48), Valencia (Dirección Nacional de Geología y Minas, 1979, p. 47), Las Delicias (Dirección Nacional de Geología y Minas, 1979, p. 46), Machachi (Dirección Nacional de Geología y Minas, 1978, p. 66), Quito (1980), Pacto (1980), Ibarra (1980), Cuellaje (BGS, 1999), Maldonado (1.986) y Vargas Torres (BGS, 1999).

El área de estudio se seleccionó por la faja metalogénica de VMS y pórfidos. De acuerdo al mapa metalogénico de la República del Ecuador (IIGE, 2019), tenemos la faja metalogénica regional de VMS, con una edad de Paleoceno-Eoceno, donde se ubican varios prospectos y depósitos (Tabla 1).

TABLA 1
Características generales de las muestras de gas natural (% molar)

N.º	Nombre	Tipo	Minerales	Estado
1	Chical	Pórfido	Cu-Au	Prospecto
2	Blanca	Epitermal	Au	Prospecto
3	Cascabel	Pórfido	Cu-Au	Depósito
4	Río Santiago	Pórfido	Cu	Prospecto

N.º	Nombre	Tipo	Minerales	Estado
5	Buenos Aires	Pórfido	Cu-Au	Depósito
6	Río Chispo	Pórfido	Cu-Au	Prospecto
7	Río Amarillo	Pórfido	Cu	Prospecto
8	Cuellaje	Pórfido	Cu-Mo	Prospecto
9	Llurimagua	Pórfido	Cu-Mo	Depósito
10	Selva Alegre	Skarn	Cu-Pb-Zn	Prospecto
11	El Corazón	Epitermal	Au	Depósito
12	Pacto	Epitermal	Au	Depósito
13	Rumiñahui	Epitermal	Au-Cu	Prospecto
14	Tanach	Epitermal	Au-Ag	Prospecto
15	Pachijal	Epitermal	Au-Ag	Prospecto
16	Saloya	Ortomagmático	Ni	Prospecto
17	La Plata	VMS	Cu-Pb-Zn, Au, Ag	Depósito
18	La Rebuscada	Epitermal	Au-Ag	Prospecto
19	Sigchos	Pórfido	Cu-Au	Prospecto
20	Parcatos	VMS	Cu-Pb-Zn, Au, Ag	Prospecto
21	Macuchi	VMS	Cu-Pb-Zn, Au, Ag	Depósito
22	Ximena	VMS	Cu-Pb-Zn, Au, Ag	Depósito
23	Ramón Campaña	VMS, Pórfido	Cu-Pb-Zn	Prospecto
24	Angamarca	VMS, Pórfido	Cu-Pb-Zn	Prospecto
25	Facundo Vela	VMS, Pórfido	Cu-Pb-Zn	Prospecto
26	El Domo	VMS	Cu-Pb-Zn, Au, Ag	Depósito
27	Chaso Juan	Epitermal y Pórfido	Au-Cu	Prospecto
28	Salinas	Epitermal	Au-Cu	Prospecto
29	La Industria	Pórfido	Cu-Mo	Prospecto
30	El Toneado	Pórfido	Cu-Mo	Prospecto
31	Telimbela	Pórfido	Cu-Mo	Prospecto
32	Gualasay	Epitermal	Au	Prospecto
33	Balzapamba	Pórfido	Cu-Mo	Prospecto
34	Las Guardias	Pórfido	Cu-Mo	Prospecto
35	Chillanes	Pórfido	Cu-Mo	Prospecto

Fuente: IIGE (2019)

En etapa de preparación se recopiló, analizó y diagnosticó los estudios y publicaciones previos, incluye la interpretación de estructuras geológicas preliminares, mediante el análisis de topografía, modelos de elevación regional y análisis previo de la información cartográfica a diferentes escalas de trabajo.

Para la etapa de procesamiento, se realizó una sola base de datos cartográfica con mapas históricos, nuevas publicaciones y dataciones recientes de la Cordillera Occidental del Ecuador. La base de datos de los resultados de laboratorio fue clasificada por el dominio geológico (Tabla 2).

En el análisis exploratorio o univariado, los elementos analizados fueron: As, Co, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Au, Ag, Pb y Zn, determinadas considerando su importancia en la exploración minera. Williams *et al.* (2000) realizaron un estudio con una parte de los resultados de laboratorio sin contar con los datos del presente estudio.

TABLA 2
Dominios geológicos y agrupación de unidades litoestratigráficas

GEOCRONOMETRÍA (M.A.)	ERATEMA	SISTEMA	SERIE	DOMINIOS – GEOLÓGICOS	REGIÓN ANDINA CORDILLERA OCCIDENTAL	CUERPOS ÍGNEOS		
0,01	CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos del Cuaternario (Qdep)	Depósitos aluviales, lacustres y lahares			
2			PLEISTOCENO	Volcánicos del Cuaternario (Qvolc)	Unidad El Fundo, Formación Turubamba, Volcánicos Pisayambo			
		NEÓGENO	PLIOCENO					
23			MIOCENO	Volcánicos Continentales del Mioceno (VCM)	Formación Silante Volcánicos Zumbagua	Intrusivos del Mioceno	Granodiorita Tonalita Monzonita	
			OLIGOCENO					
33		PALEÓGENO	EOCENO	Sedimentos del Paleoceno-Eoceno (SPE)	Unidad Tortugo Unidad San Juan de Lachas Sedimentos Apagua Formación Unacota, El Laurel Grupo Angamarca Fm. La Cubera, Unidad Pilaló Unidad Saguangal	Intrusivos del Eoceno	Diorita Granodiorita Gabro	
56	PALEOCENO				Volcánicos Sedimentos del Paleoceno-Eoceno (VSPE)			Formación Macuchi
66								
	MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Sedimentos Volcánicos del Cretácico (SVK)	Grupo Río Cala Unidad Naranjal Unidad La Portada Formación Pallatanga Granito Pujilí Unidad San Juan, Unidad Mulaute Unidad Pilatón, Unidad Natividad			

En el análisis estadístico univariado se determinó la tendencia central, la dispersión, gráficos y su forma. La siguiente fase es el análisis de los gráficos para evaluar la exactitud y precisión de los datos. En cada elemento analizado se determinaron valores de fondo y umbrales geoquímicos para caracterizar la abundancia geoquímica y sus patrones de dispersión. Los gráficos, histogramas, y diagramas de normalidad (boxplots), a escala natural y logarítmica, fueron realizados mediante programas Excel y SPSS (Figura 1).

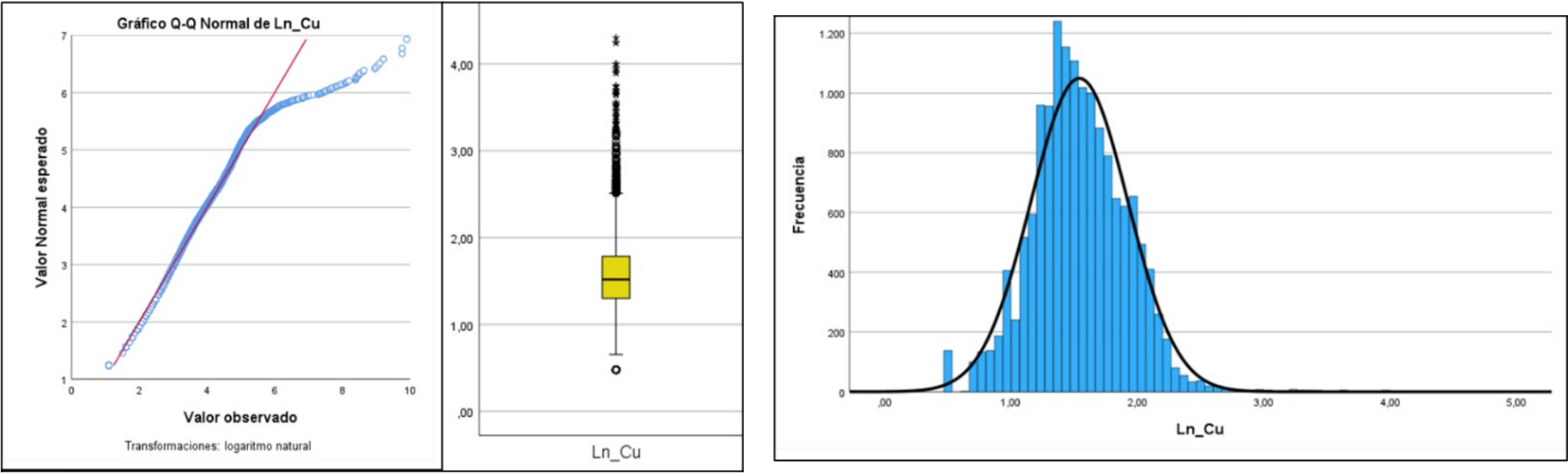


FIGURA 1
Gráficos para la estadística descriptiva del cobre

Los mapas de anomalías se realizaron en el software ioGAS, para cada una de las variables seleccionadas (Figura 2), el cual utiliza le método de interpolación Inverso de la distancia IDW.

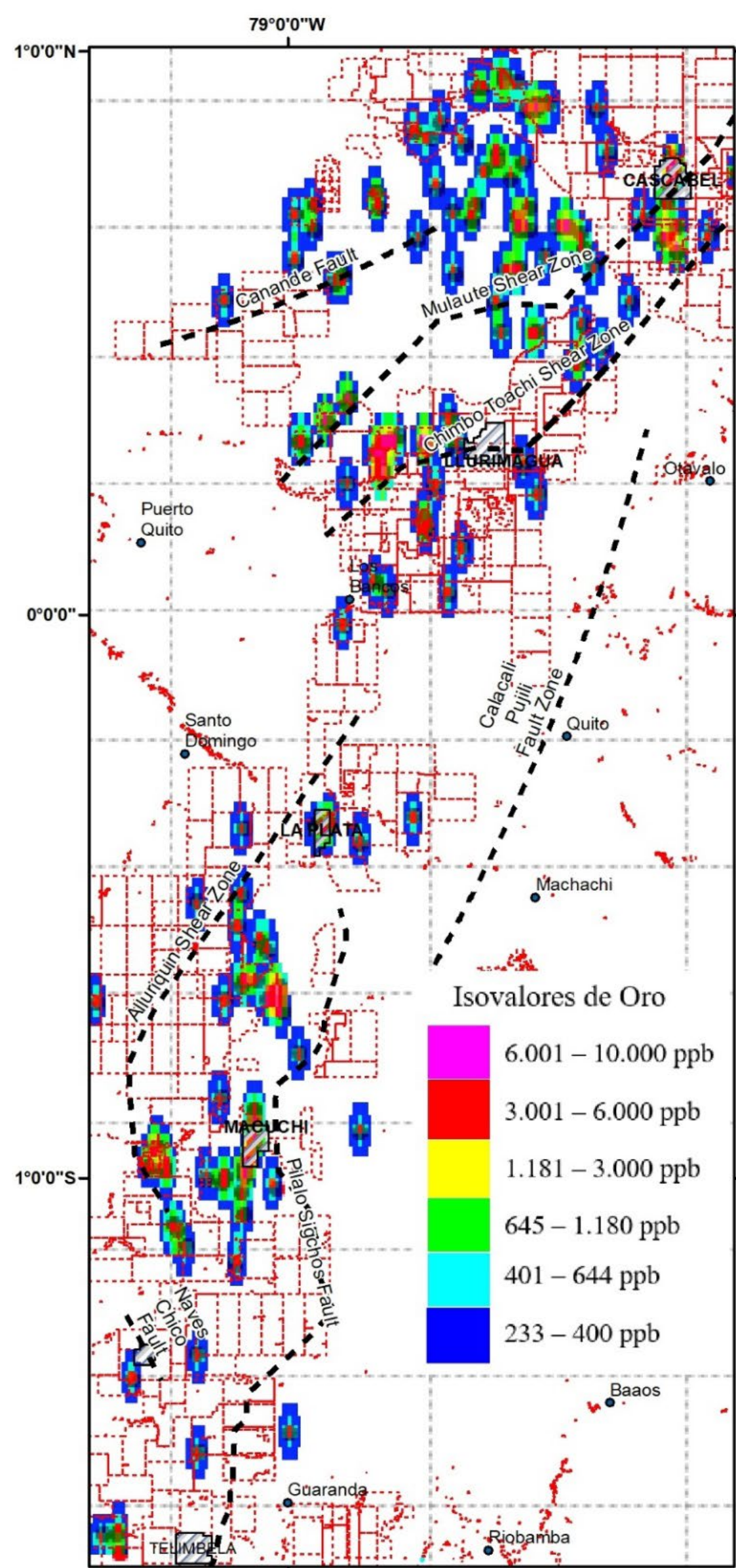


FIGURA 2
Mapa de anomalías de Au en ppb

La variabilidad estadística depende de la información del grado de exactitud y precisión de los datos. Es una herramienta para evaluar los elementos analizados y poder continuar con la siguiente fase del análisis.

Los datos geoquímicos en la Cordillera Occidental, la estadística en una distribución normal, se toma el valor de fondo es igual a la media, mientras que el umbral geoquímico se determina como la suma del valor de fondo más el doble de la desviación estándar.

Para distribuciones que no tienden hacia un modelo gaussiano, el valor de fondo está determinado por el percentil 50 y el umbral por el percentil 95.

Para determinar el valor de fondo y umbral geoquímico de cada elemento en el área de estudio, se utilizan las ecuaciones 1 y 2 según el método del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET.

$$\text{Valor de fondo global} = (\sum (n_i) \cdot B) / N \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\text{Umbral geoquímico global} = (\sum (n_i) \cdot T) / N \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

n: Número de muestras por ambiente geológico.

B: Valor de fondo por ambiente geológico.

T: Umbral geoquímico por ambiente geológico.

N: Número total de muestras analizadas.

Los métodos de análisis multivariante se utilizan para variables dispuestas como matrices, donde la similaridad expresa semejanza y determina el grado de asociación que existe entre ellos. En este estudio se utilizó la matriz de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Usando la metodología del Atlas Geoquímico del Perú (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET, 2017) se dividió a la zona de estudio en grandes conjuntos geológicos tomando como base la geología, ambiente de formación, litología y dataciones de los últimos estudios realizados en la Cordillera Occidental (Díaz, 2020). Se agruparon las unidades litoestratigráficas en ocho dominios geológicos regionales en un mapa geológico regional, cada uno de ellos representados por cartografía, población estadística parcial y principales estructuras geológicas o mapa estructural (Figura 3 y 4).

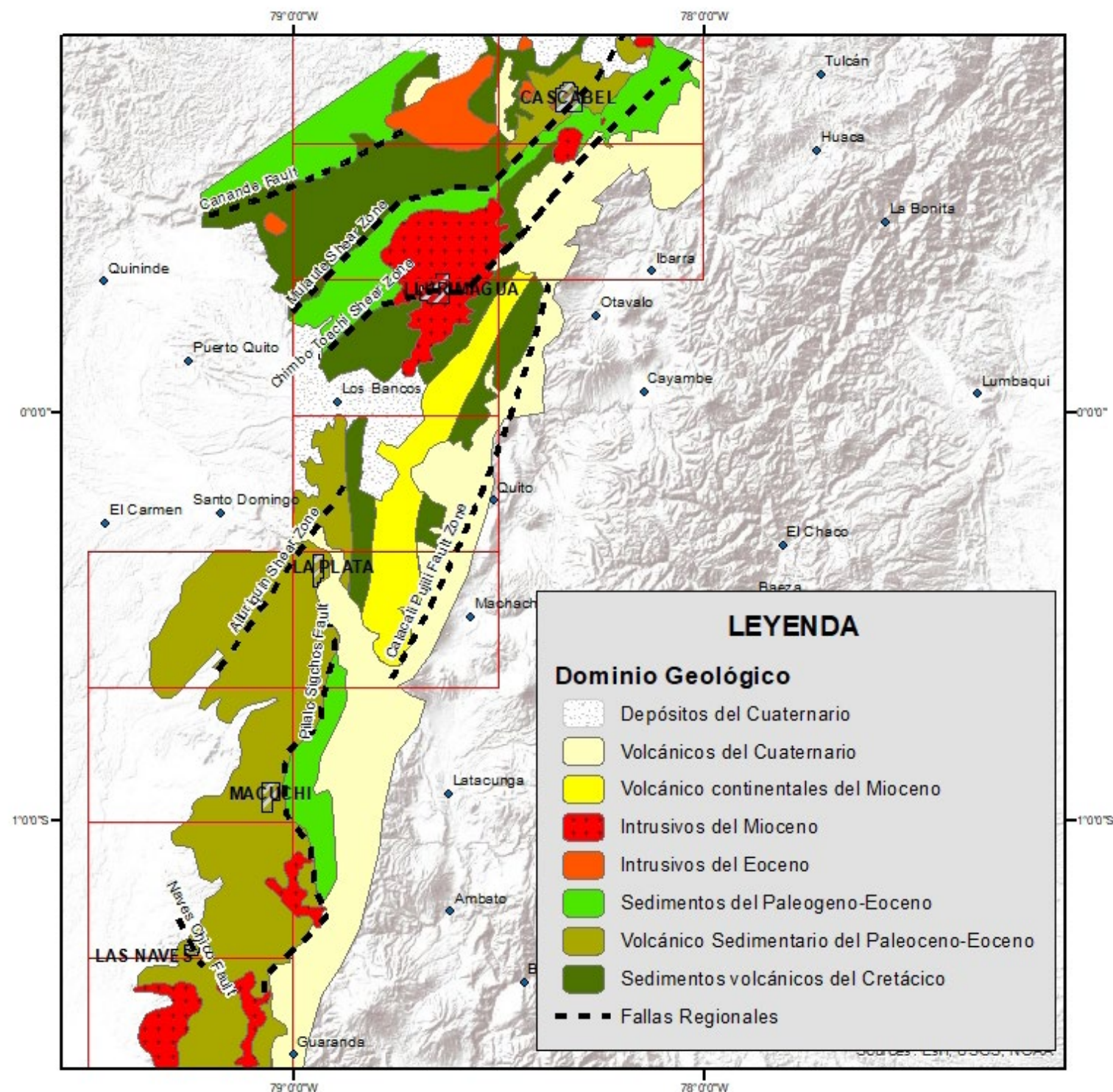


FIGURA 3
Mapas de dominios geológicos y fallas

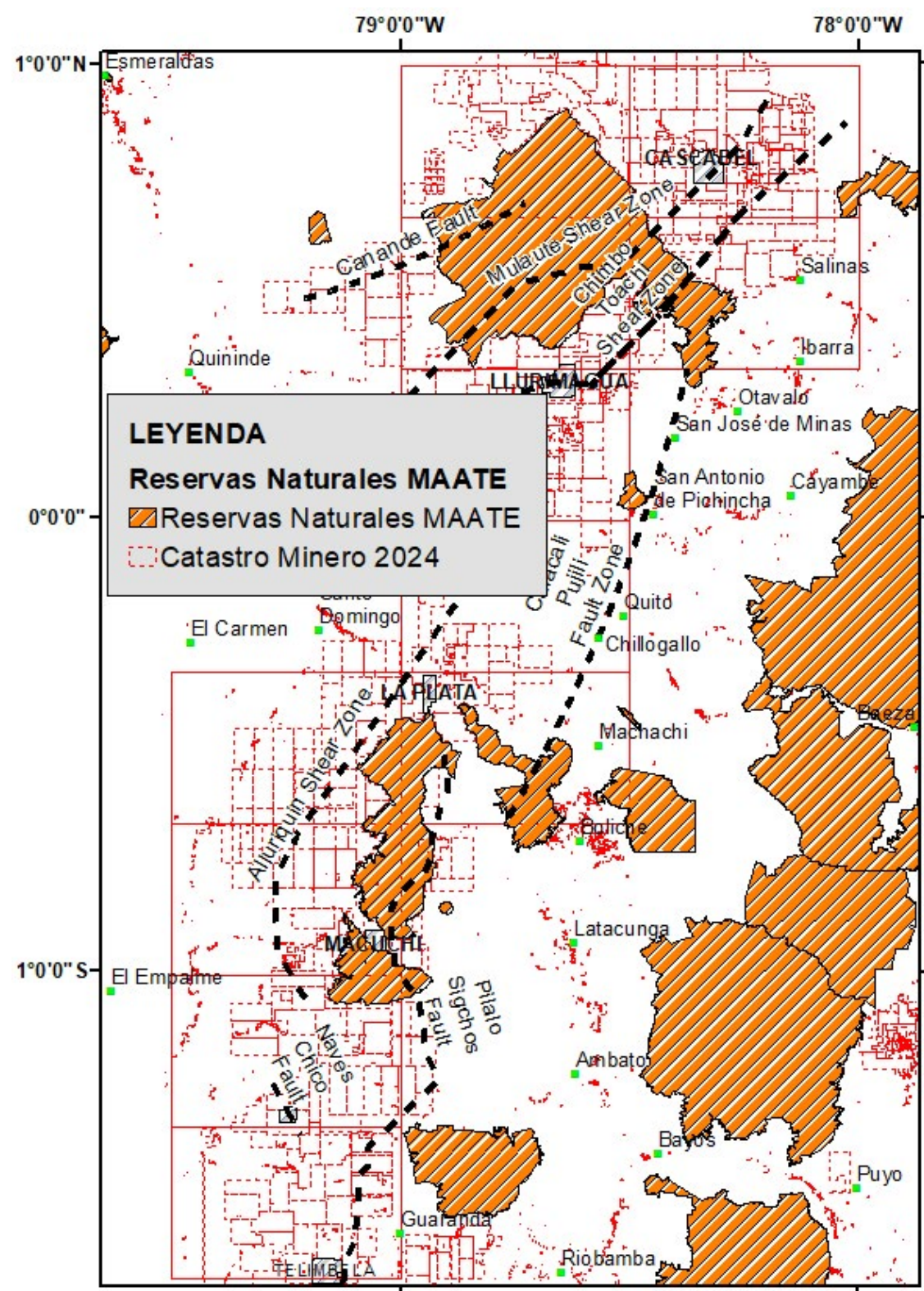


FIGURA 4
Mapa de anomalías de Au en ppb Mapas de Reservas Naturales
MAATE y Concesiones mineras de ARCENNER

En la Tabla 3 se resume la estadística descriptiva de un conjunto de elementos químicos en sedimentos fluviales activos de la Cordillera Occidental en el área de estudio.

Los coeficientes de correlación se calcularon a partir de 13 variables (Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, V, W, Y, Zn), donde cada variable representa 8522 datos.

TABLA 3
Resumen de la estadística descriptiva de zona de estudio

Elemento	Unit.	Núm. Obs.	Min	25%	Mediana (50%)	Media (Valor de fondo)	75%	90%	95%	99%	Std. Dev.	Umbral	CV
Au	ppb	8522	3,33	3,33	3,33	5,00	10,00	27,00	88,00	336,00	155,00	159,00	7,60
Hg	ppm	8522	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,92	1,00	10,50
Ag	ppm	8522	0,66	0,66	0,66	0,70	0,66	0,66	0,66	0,66	1,50	1,20	2,00
As	ppm	8522	2,66	2,66	2,66	3,20	7,90	9,00	16,00	46,00	64,70	133,00	11,60
Co	ppm	8522	1,73	11,00	15,00	17,30	21,00	30,00	36,00	51,00	10,50	53,00	0,60
Cr	ppm	8522	2,46	26,00	41,00	51,20	63,00	102,00	133,00	271,00	52,30	156,00	0,90
Ni	ppm	8522	2,20	11,00	17,00	22,90	26,00	44,00	61,00	112,00	26,00	75,00	1,30
Cu	ppm	8522	3,00	20,00	33,00	39,00	61,00	110,00	137,00	241,00	146,10	331,00	2,30
Mo	ppm	8522	0,70	0,70	0,70	0,80	1,00	2,00	2,00	6,00	2,00	3,00	1,60
Pb	ppm	8522	2,66	2,66	2,66	3,30	10,00	7,00	10,00	23,00	96,00	195,00	8,80
Zn	ppm	8522	3,33	59,00	78,00	91,90	990,00	127,00	150,00	227,00	135,00	362,00	1,70

Utilizando el software ioGAS se determinó una matriz de correlación (Tabla 4), en la que se identificaron dos categorías en función de la magnitud del coeficiente de correlación. Las asociaciones de elementos geoquímicos fueron Co-Cr-Ni-Mg-Mn-Y en mayor frecuencia en dominio de Sedimentos Volcánicos del Cretácico; Cu-Zn-Pb-Sb-W en mayor frecuencia para el dominio de Volcánicos Sedimentos del Paleoceno Eoceno.

TABLA 4
Matriz de correlación de Pearson

Corr. Pearson	Co_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Mg_ppm	Mn_ppm	Ni_ppm	Pb_ppm	Sb_ppm	Ti_ppm	V_ppm	W_ppm	Y_ppm	Zn_ppm
Co_ppm	1	0,55	0,15	0,54	0,66	0,59	-0,0098	-0,0099	0,37	0,48	-0,0091	0,56	0,13
Cr_ppm	0,55	1	0,037	0,32	0,18	0,87	-0,0076	-0,01	0,26	0,31	-0,0054	0,11	0,039
Cu_ppm	0,15	0,037	1	0,16	0,13	0,073	0,82	0,74	-0,052	0,031	0,6	0,14	0,86
Mg_ppm	0,54	0,32	0,16	1	0,48	0,48	-0,0012	-0,006	-0,063	0,029	-0,0052	0,5	0,06
Mn_ppm	0,66	0,18	0,13	0,48	1	0,27	-0,004	-0,0091	0,086	0,21	-0,0085	0,65	0,11
Ni_ppm	0,59	0,87	0,073	0,48	0,27	1	0,0078	0,0048	0,13	0,11	0,0062	0,24	0,053
Pb_ppm	-0,0098	-0,0076	0,82	-0,0012	-0,004	0,0078	1	0,97	-0,013	-0,011	0,83	-0,005	0,88
Sb_ppm	-0,0099	-0,01	0,74	-0,006	-0,0091	0,0048	0,97	1	-0,018	-0,017	0,84	-0,013	0,81
Ti_ppm	0,37	0,26	-0,052	-0,063	0,086	0,13	-0,013	-0,018	1	0,64	0,0011	-0,036	0,11
V_ppm	0,48	0,31	0,031	0,029	0,21	0,11	-0,011	-0,017	0,64	1	-0,0094	0,093	0,12
W_ppm	-0,0091	-0,0054	0,6	-0,0052	-0,0085	0,0062	0,83	0,84	0,0011	-0,009	1	-0,008	0,68
Y_ppm	0,56	0,11	0,14	0,5	0,65	0,24	-0,0045	-0,013	-0,036	0,093	-0,0082	1	0,075
Zn_ppm	0,13	0,039	0,86	0,06	0,11	0,053	0,88	0,81	0,11	0,12	0,68	0,075	1

La metodología del sistema de folios, con un total de 15 folios, geología, estructuras, geoquímica de once elementos (As, Co, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Au, Ag, Pb, Zn) cada uno en su folio, catastro minero vigente, áreas de reservas ecológicas de MAATE.

La región presenta un alto potencial mineral debido a la existencia de dos generaciones de metales. En el Eoceno, se encuentran yacimientos de tipo pórfido de cobre, como el depósito de Cascabel, que conserva un sistema completo que incluye vetas polimetálicas, sulfuros masivos y zonas de venillas de pórfido. Además, hay depósitos polimetálicos de tipo VMS en La Plata, Macuchi y Curipamba. Otra fase de mineralización corresponde a la faja de pórfidos de Cu y Mo del Mioceno, ejemplificada por los pórfidos de Llurimagua y Telimbela. Las anomalías más significativas se localizan en la parte norte del área de estudio (Figura 5).

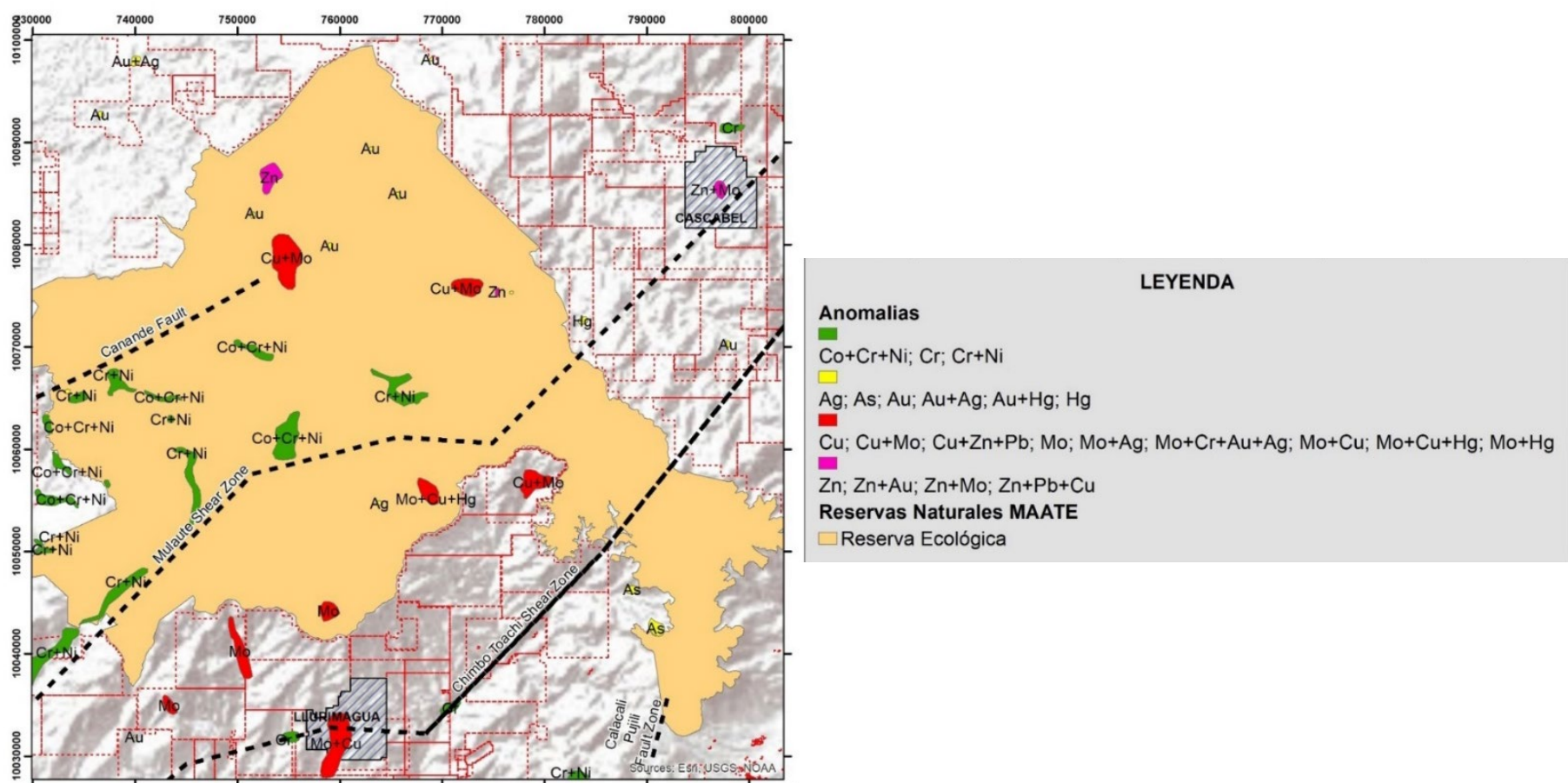


FIGURA 5
Mapa consolidado de anomalías, reservas y concesiones

La síntesis con la interpretación geológica a profundidad bajo la superficie del terreno, en conjunto con los datos de anomalías de geoquímica, se realizó por medio 4 secciones geológicas en dirección este a oeste mirando hacia el norte. La sección 1 atraviesa el depósito de Cascabel, la sección 2 corta el depósito de Llurimagua (Figura 6).

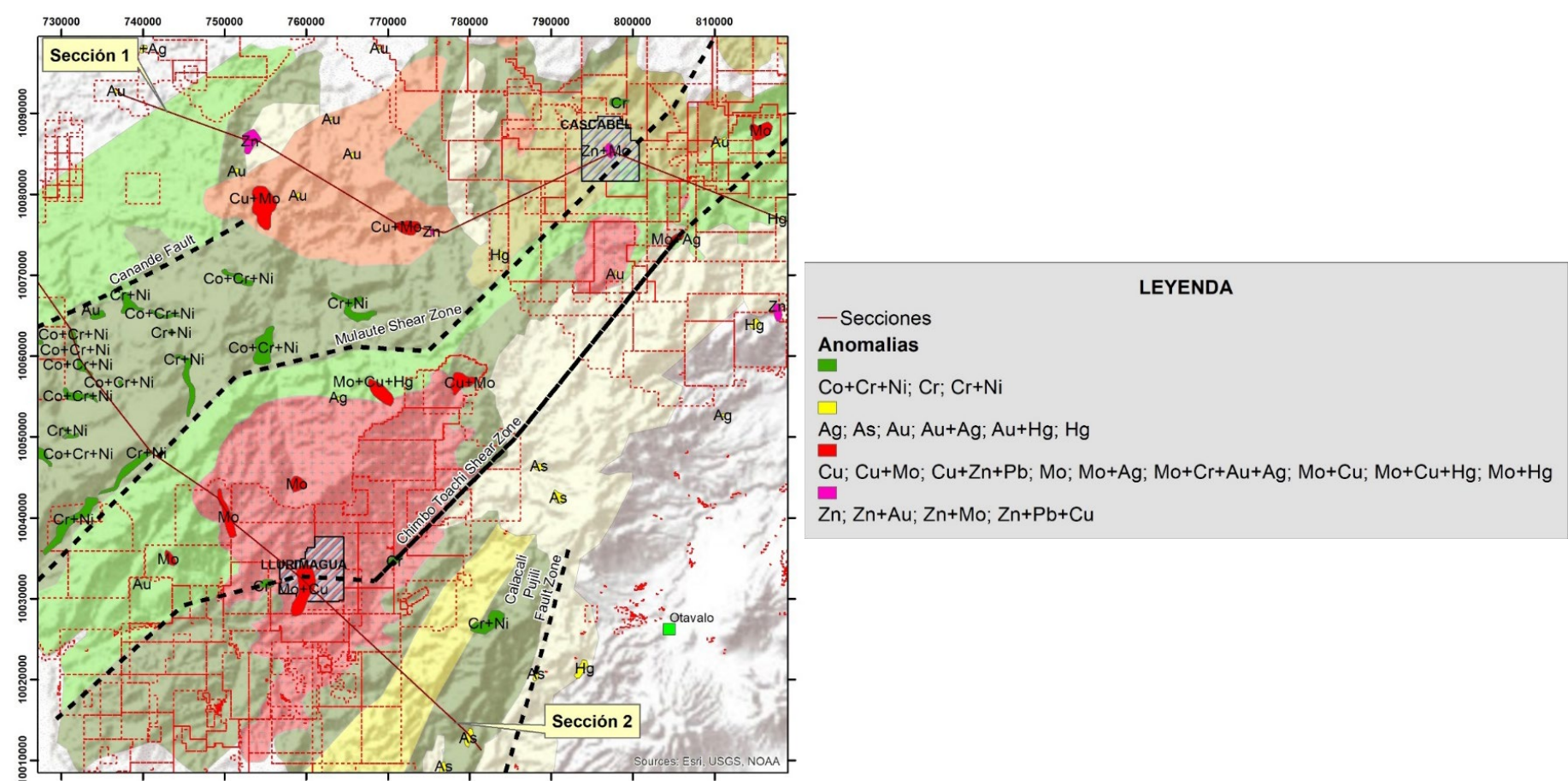


FIGURA 6
Ubicación de las secciones 1 y 2

Sección 1

De este a oeste las rocas corresponden a Qvolc que se encuentran en las cotas superiores a 2.000 msnm en la sección, las cuales cubren el dominio SPE, mismo que se encuentra afectado por la falla Chimbo Toachi y en contacto con los VSPE, principal ambiente para la formación de pórfidos y VMS, en la cual se emplaza el depósito de Cascabel y varios diques intrusivos. Más al occidente corresponde a rocas del cretácico SVK intruidas por cuerpos ígneos de Eoceno IE y afectadas por la falla Canandé, en la planicie costera nuevamente tenemos el dominio del Eoceno SPE. Los elementos que destacan y muestran un cambio respecto al Background son Cu, Mo, Au, Pb, Zn. La quebrada Alpala donde se ubica el afloramiento descubridor de Cascabel tuvo solamente una medida de sedimentos fluviales con 198 ppm para Cu. A una distancia de 21 km al oeste de Cascabel tenemos una anomalía de Cu+Mo+Au+Pb+Zn, con picos de 41 ppm de Pb, 604 ppm de Zn, 584 ppb de Au, 31 ppm de Mo y 931 ppm de Cu, esta anomalía se ubica en las rocas IE. En la sección más hacia el este tenemos una anomalía de Cu+Au+Pb+Zn en las rocas del Cretácico SVK, los valores más altos de los elementos son 25 ppm de Pb, 307 ppm de Zn, 735 ppb de Au y 119 ppm de Cu. Estas anomalías se ubican en la Reserva Cotacachi Cayapas (Figura 7).

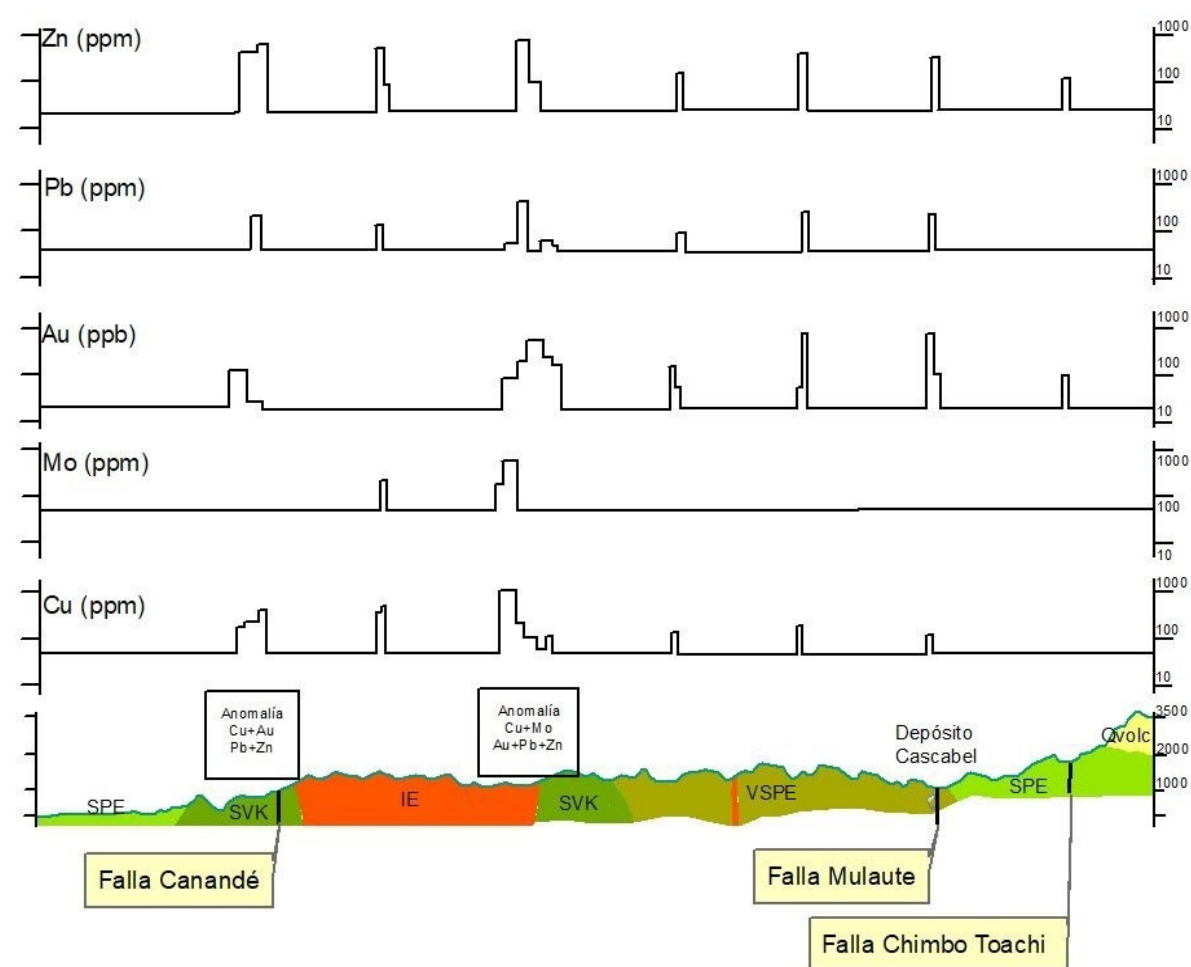


FIGURA 7
Corte 1 de la Cordillera Occidental

Sección 2

La sección corta de este a oeste la Cordillera Occidental, predomina el dominio SVK, el cual es basamento de los demás conjuntos litológicos (VCM, SPE), están intruidos por los cuerpos del IM. El depósito Llurimagua se encuentra en el dominio IM. Entre las fallas Mulaute y Chimbo Toachi en la concesión “Río Magdalena 02” del Enami EP se ubica la anomalía de Cu+Mo. Al norte de la falla Mulaute en el dominio de SVK se ubican varias anomalías de Co+Cr+Ni, se interpreta que la falla Mulaute levanta el basamento del Cretácico. La falla Canandé se ubica en las rocas del SPE, en la planicie costera (Figura 8).

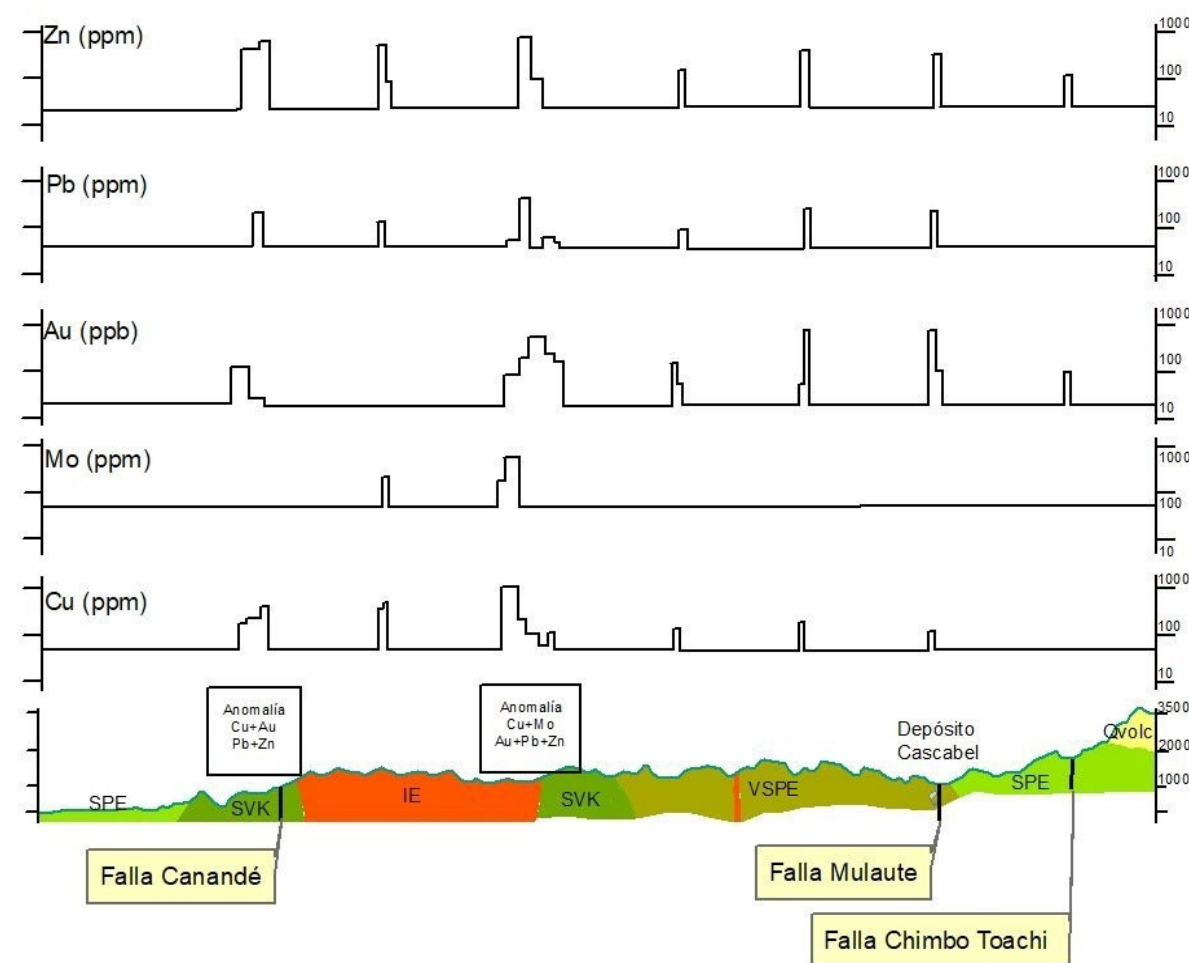


FIGURA 8
Corte 2 de la Cordillera Occidental

CONCLUSIONES

Los 7 dominios geológicos agrupados por la edad y litología considerados en este estudio fueron: Sedimentos Volcánicos del Cretácico, Volcánicos sedimentarios del Paleoceno-Eoceno, Sedimentos del Paleoceno-Eoceno, Intrusivos del Eoceno, Intrusivos del Mioceno, Volcánicos Continentales del Mioceno, Volcánicos del Cuaternario y Depósitos del Cuaternario. Cada una de estas unidades tienen una área y población correspondiente de puntos de control de sedimentos fluviales o de corriente de la campaña Prodeminka.

De 8522 puntos de muestreo estadísticamente válidos, se procesaron los resultados de 13 elementos (Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, V, W, Y, Zn) de los cuales se determinó cierta correlación a través de la metodología de Pearson. A partir de ahí agrupamos los elementos en dos grandes conjuntos, el primero Co-Cr-Ni-Mg-Mn-Y; el segundo grupo de correlaciones dado por los elementos Cu-Zn-Pb-Sb-W. Estas asociaciones tienen su correlación con los dominios geológicos. La asociación Co-Cr-Ni-Mg-Mn-Y están presentes en los Sedimentos Volcánicos del Cretácico y los elementos Cu-Zn-Pb-Sb-W predominan en los Volcánicos sedimentarios del Paleoceno Eoceno.

El potencial de la zona de estudio para la prospección de minerales económicos es muy importante al tener dos épocas metalogénicas del Eoceno (Cascabel, Curipamba, La Plata y Macuchi) y del Mioceno (Llurimagua, Telimbela). Los puntos de muestreo de sedimentos fluviales tomados en las áreas de los depósitos minerales indican las siguientes anomalías (Tabla 5).

Con los valores de fondo y de umbral geoquímico global se identificaron 123 anomalías, de las cuales 79 están ubicadas en concesiones según el catastro de ARCERNR, 36 se ubican en áreas naturales o reservas ecológicas según el sistema del MAATE y 10 se encontraron en zonas libres o abiertas para solicitar (Tabla 6, Figura 9 y Figura 10).

TABLA 5
Anomalías y depósitos minerales

N.º	Anomalía	Depósito	Edad del depósito (Ma)	Dist. a las fallas (km)	Nombre de la estructura
1	Zn	VMS, La Plata	nd	5,8	Alluriquin
2	Zn+Au	VMS, Macuchi	nd	3,7	Pilaló-Sigchos
3	Zn+Mo	Pórfido, Cascabel	38-39	0,9	Mulaute
4	Cu+Mo	Pórfido, Llurimagua	6-11	1,9	Chimbo-Toachi
5	Mo	Pórfido, Telimbela	15-16	1,1	Pilaló-Sigchos

Las anomalías de Co+Cr+Ni en el área de sedimentos volcánicos del Cretácico son de importancia y son delimitados como una faja metalogénica cuyos bordes corresponden a las fallas Canandé y Mulaute. Las muestras de sedimentos se toman a la cota del cauce del río, por lo cual se debería muestrear las zonas altas o cuchillas para prospeccionar posibles capas lateríticas.

TABLA 6
Lista de anomalías en áreas libres, sin concesiones

N.º	Anomalía	Geología	Ubicación	Coord. UTM	Valor (ppm)	Posible yacimiento
1	As	Qvolc.	Río Yerba Buena	788519, 10045931, 2400	733	Epitermal
2	As	Qvolc.	Qda.	788122, 10020849, 2200	362	Epitermal
3	As	U. Yunguilla	Qda. s/n	779879, 10012570, 1567	595	Epitermal
4	As	Qvolc.	Qda. s/n	746705, 09923094, 3200	212	Epitermal
5	Cr; Ni	U. Pallatanga	Qda. s/n	781062, 10025987, 2611	299; 152	Orto-magmático
6	Mo	U. Yunguilla	Qda. s/n	760839, 09967228, 3163	4	Pórfido
7	Au	Qvolc.	Qda. Chaupimillán	722814, 09838993, 3562	1,18	Epitermal
8	Hg	Qvolc.	Río Chaupiyacu	793941, 10021783, 2707	8,34	Epitermal
9	Cr	U. Colorado	Qda. s/n	726773, 10048084, 0717	315	Orto-magmático
10	Hg	Qvolc.	Qda. Cubillín	745820, 09862506, 3798	4,9	Epitermal

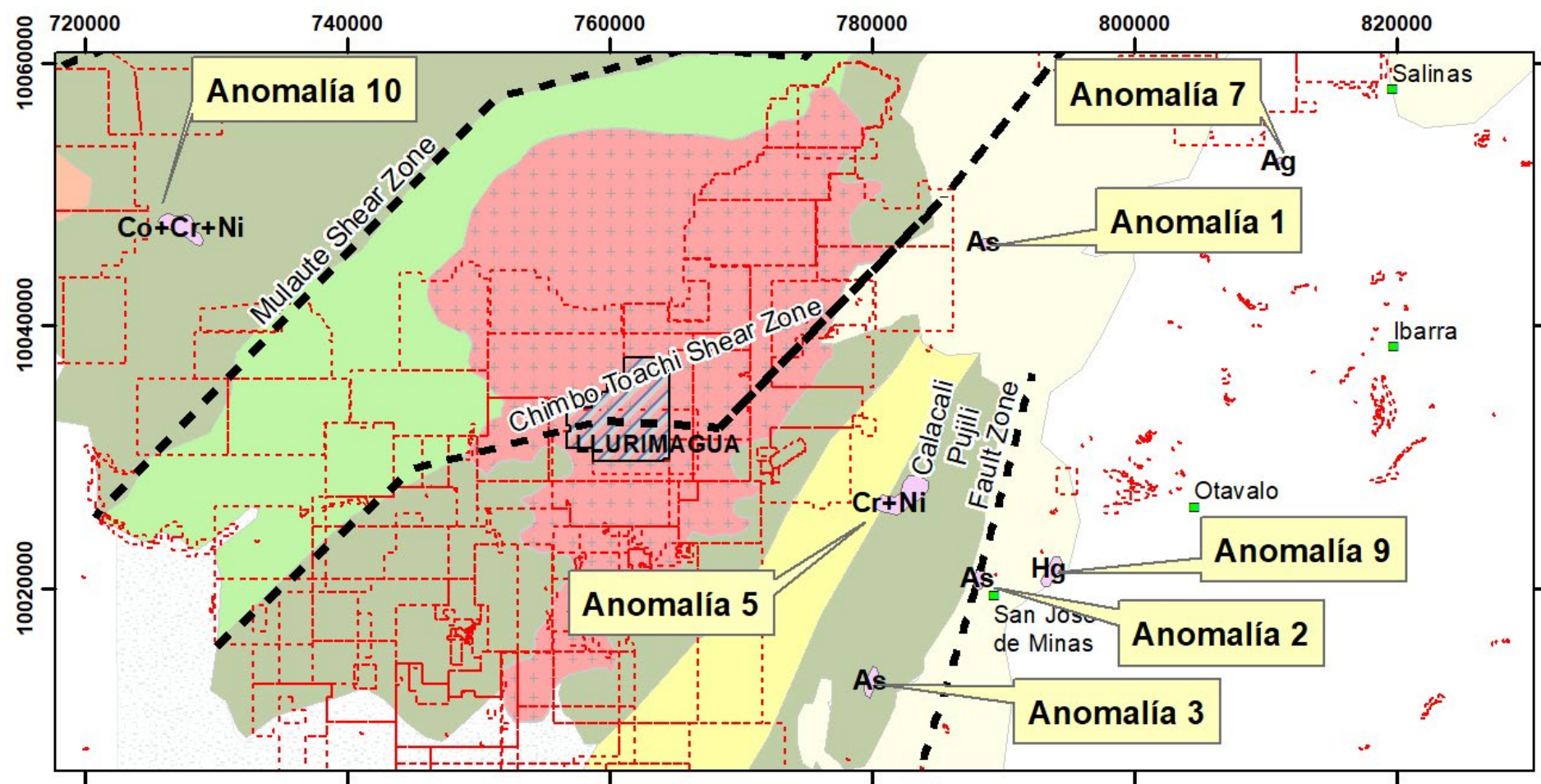


FIGURA 9
Mapa norte de anomalía libres, concesiones mineras
y dominios geológicos

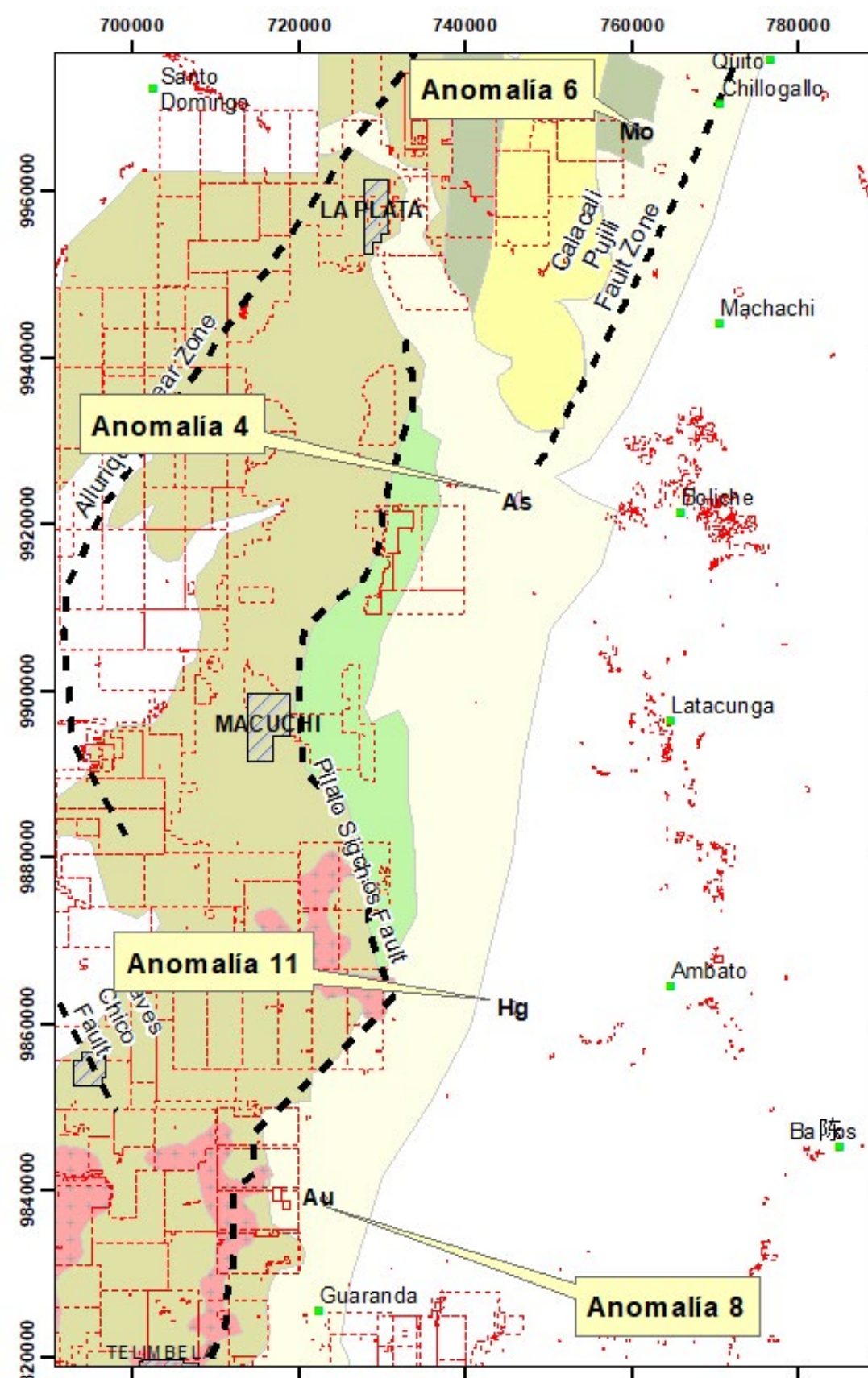


FIGURA 10
Mapa sur de anomalía libres, concesiones mineras
y dominios geológicos

RECOMENDACIONES

Realizar tomas de muestras de sedimentos en los sitios de anomalías con el objetivo de comprobar los resultados de laboratorio de Prodeminca (BGS-MEM, 2000a; 2000b; 2000c).

Muestreo sistemático de sedimentos fluviales a lo largo de la quebrada o río donde se verificaron las anomalías, acompañado de muestreo en batea y conteo de chispas de oro.

Después del muestreo sistemático, zonificar las zonas de mayor potencial y realizar un muestreo de suelos en grillado cada 100 m.

Con las interpolaciones de las anomalías de suelo, realizar destapes de pozos, calicatas trincheras para toma de muestras de roca, mapeo de alteración, litología y estructuras a detalle, escala sugerida 1:10.000.

En el caso de las anomalías de Cr+Ni+Co, realizar las mismas recomendaciones anteriores y adicional muestrear las coberturas aluviales en las cuchillas de la cuenca hidrográfica por posibles yacimientos detríticos de dichos elementos en los aluviales. En el caso de Cuba Carballo *et al.* (2018) tienen explotaciones con 0,1 a 0,2 % de Co.

Realizar una recopilación del estudio de aeromagnetometría de la Cordillera Occidental del Ecuador (2000). Realizar su respectiva interpretación filtrado de datos por reducción al polo (RTP), mapa de susceptibilidad magnética, entre otros. Realizar campañas de exploración geofísica terrestre mediante método magnético y gravimétrico en líneas cada 200 m.

Monitorear y comprobar las anomalías ubicadas en parques nacionales o zonas ecológicas. En caso de verificar la anomalía se requerirá mayores estudios para que el estado tenga un inventario de sus recursos minerales. En particular, las anomalías de Cu y Mo ubicadas en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas.

Dar a conocer esta investigación a los organismos gubernamentales o tomadores de decisiones para continuar con nuevas campañas de geoquímica de sedimentos fluviales y geoquímica de suelos en la cordillera Real y en la zona del sub-andino del Ecuador, usando el sistema de folios, con el objetivo de obtener mapas geoquímicos de todo el Ecuador.

Realizar muestreos más detallados y con mayor detalle en límite de detección por cada elemento. Con el objetivo de localizar los elementos guía o trazadores (pathfinders, Tabla 7) de los cuerpos de pórfidos y sulfuros masivos que posiblemente quedaron sepultados por los abanicos aluviales, cenizas, sedimentos, etc.

TABLA 7
Elementos exploradores en geología económica

Depósito	Elementos Primarios	Elementos trazadores (Pathfinders)
Pórfido	Cu, Au, Mo, Ag, Re	K, Rb, Na, Ca, Sr, Zn, Ba, B, W, Sn, S
Skarn	Au, Cu, Mo, Pb, Zn, W	Si, Ag, Co, W, As, Sb, Te, Bi, REE
HS Epitermal	Au, Ag, Cu, As, Te	Hg, Bi, Sb, Si, Al, Fe, S
LS Epitermal Alcalino	Au, Ag, Te, V	K, Rb, Ca, Sr, Pb, Zn
LS Epitermal Sub-Alcalino	Au, Ag, Zn, Pb, Cu	K, Rb, Ca, Sr, As, Hg
VMS	Cu, Pb, Zn, Au, Ag	Ba, Mg, Mn, Co, Ni, Cr, REE

Fuente: Monecke *et al.* (2014)

REFERENCIAS

- Andrade, A. (2017) *Investigación del potencial metalogénico entre 2º y 2º 30'S de la Cordillera Occidental mediante correlación geológica, geoquímica y geofísica*. Tesis de grado. Quito: Universidad Central del Ecuador. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/1627fed6-578e-408c-9b31-6c624a3d622d>
- BGS (1999) *Mapa geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 0–1N*. Misión Británica, CODIGEM, Quito, Ecuador.
- BGS-MEM (2000a) *Evaluación de distritos mineros del Ecuador*. Volumen 1. British Geological Survey y Ministerio de Energía y Minas de Ecuador. Quito: UCP PRODEMİNCA.
- BGS-MEM (2000b). *Evaluación de distritos mineros del Ecuador*. Volumen 3. British Geological Survey y Ministerio de Energía y Minas de Ecuador. Quito: UCP PRODEMİNCA.
- BGS-MEM (2000c). *Evaluación de distritos mineros del Ecuador*. Volumen 4. British Geological Survey y Ministerio de Energía y Minas de Ecuador. Quito: UCP PRODEMİNCA.
- Carballo, A., Muñoz, J., Orozco, G., y Rojas, A. (2018) *Criterios geológicos y económicos sobre la existencia de escandio en los yacimientos lateríticos de Moa*. Minería y Geología.
- Díaz, C. (2020) *The Cascabel Cu-Au-Ag porphyry cluster in northern Ecuador*. Thesis Master Degree. University of Tasmania, Australia.
- Dirección Nacional de Geología y Minas (1978) *Mapa geológico del Ecuador*. Escala (1:100.000). Quito: Instituto de Investigación Geológico y Energético. Disponible en: <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-100-000/>
- Dirección Nacional de Geología y Minas (1979) *Mapa geológico del Ecuador*. Escala (1:100.000). Quito: Instituto de Investigación Geológico y Energético. Disponible en: <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-100-000/>
- Dirección Nacional de Geología y Minas (1980) *Mapa geológico del Ecuador*. Escala (1:100.000). Quito: Instituto de Investigación Geológico y Energético. Disponible en: <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-100-000/>
- Guerrero, N. (2017) *Correlación geológica, geoquímica y geofísica de la Cuenca Hidrográfica del Río Mira: Cordillera Occidental*. Tesis de grado. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Monecke, T., Petersen, S., and Hannington, M. (2014) "Constraints on water depth of massive sulfide formation: evidence from modern seafloor hydrothermal systems in arc-related settings", *Economic Geology*, 109(8), pp. 2079-2101. Doi: [10.2113/econgeo.109.8.2079](https://doi.org/10.2113/econgeo.109.8.2079)
- IIGE (2019) *Mapa metalogénico del Ecuador*. Quito: Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador. Disponible en: https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/02/METALOGENETICO_1M_2801020.pdf
- INGEMMET (2017) *Atlas geoquímico del Perú*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1272>
- Quishpe, P. (2013) *Interpretación geoquímica de los resultados de laboratorio de las muestras de sedimentos fluviales correspondiente a la zona Sigchos–Totorillas (5.000km²), con aplicación minera y ambiental*. Tesis de grado. Quito: Universidad Central del Ecuador. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/1875ef9a-2748-468b-a1d6-1a9df232abe0>
- Williams, T., Dunkley, P., Cruz, E., Acitimbay, V., Gaibor, A., López, E. y Aspden, J. (2000) "Regional geochemical reconnaissance of the Cordillera Occidental of Ecuador: economic and environmental applications", *Applied Geochemistry*, 15(4), pp. 531-550. Doi: [10.1016/S0883-2927\(99\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00059-1)