



Análisis estadístico de multivariantes como herramienta en la exploración, Proyecto Mirador Norte, Yacimiento Minero Tantahuatay, Cajamarca

Percy Zamora Díaz¹, Gladys Condori Mayanasa²

¹Cia. Minera Coimolache S.A., ²Universidad de Queensland, Australia

RESUMEN

El proyecto Mirador Norte es un yacimiento epitermal de alta sulfuración, el cual se encuentra en el departamento de Cajamarca y pertenece a Cia. Minera Coimolache S.A. En este proyecto, se han realizado campañas de perforación diamantina y el muestreo respectivo de los mismos con la finalidad de obtener información de la presencia de minerales económicos en el yacimiento (oro, plata y cobre).

La geología que presenta el proyecto corresponde a rocas volcánicas cortadas por cuerpos subvolcánicos y brechas hidrotermales. Además, cuenta con un modelo litológico que diferencia las rocas piroclásticas y las brechas hidrotermales. Las alteraciones presentes son: sílice masiva, sílice lixiviada, argílica avanzada, argílica y propilítica típicas de un depósito de alta sulfuración. En cuanto a la mineralización, presenta oro en partículas submicroscópicas asociadas a óxidos de hierro, los valores de plata y cobre son mínimos. Este proyecto cuenta con una base de datos pertenecientes a muestras primarias y de control de sondajes diamantinos. Además, se cubre un área aproximada de 550 m. de ancho por 750 m. de largo. Los análisis químicos entregan valores para 39 elementos iniciales o variables; los cuales, después del control de calidad y la evaluación de normalidad, dieron como resultado a 17 variables finales aptas para el análisis multivariante.

La aplicación de las técnicas y procedimientos estadísticos han culminado en el uso de la sigui-

ente metodología: Control de Calidad, Composición, Análisis exploratorio de los datos, Análisis estadístico multivariante, este último incluye los métodos de análisis de correlación múltiple (ACM), análisis de componentes principales (ACP) y análisis de factores (AF).

Luego de la aplicación de las técnicas multivariantes, se ha demostrado que el método de AF en combinación con ACM, son los más efectivos en el reconocimiento de asociaciones multivariantes con coherencia geoquímica.

Finalmente, el análisis de factores (AF) da como resultado 4 principales asociaciones geoquímicas: Al-K-Na-Sr, Au-Ag-Sb-As, Fe-V-Zr y Cu-Pb. Además, las asociaciones definidas muestran relación con la litología y alteraciones del depósito en estudio.

OBJETIVO

El presente estudio pretende encontrar técnicas geoquímicas adicionales, relacionadas a las estadísticas de multivariantes para determinar las asociaciones de los elementos químicos económicos (Au, Ag, Cu) en el proyecto Mirador Norte, con la finalidad de mejorar el entendimiento de la distribución espacial de los mismos y contribuir a una adecuada toma de decisiones en futuras exploraciones y programas de perforación en este depósito y en otros dentro del sistema epitermal.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología que sustenta este estudio incluye:

el muestreo, análisis químicos, control de calidad, composición, el análisis exploratorio de datos, el análisis multivariante y modelamiento de la distribución espacial de los datos geoquímicos y factores. Finalmente, con esta información se realiza el análisis multivariante y modelamiento de la distribución espacial de datos geoquímicos y factores.

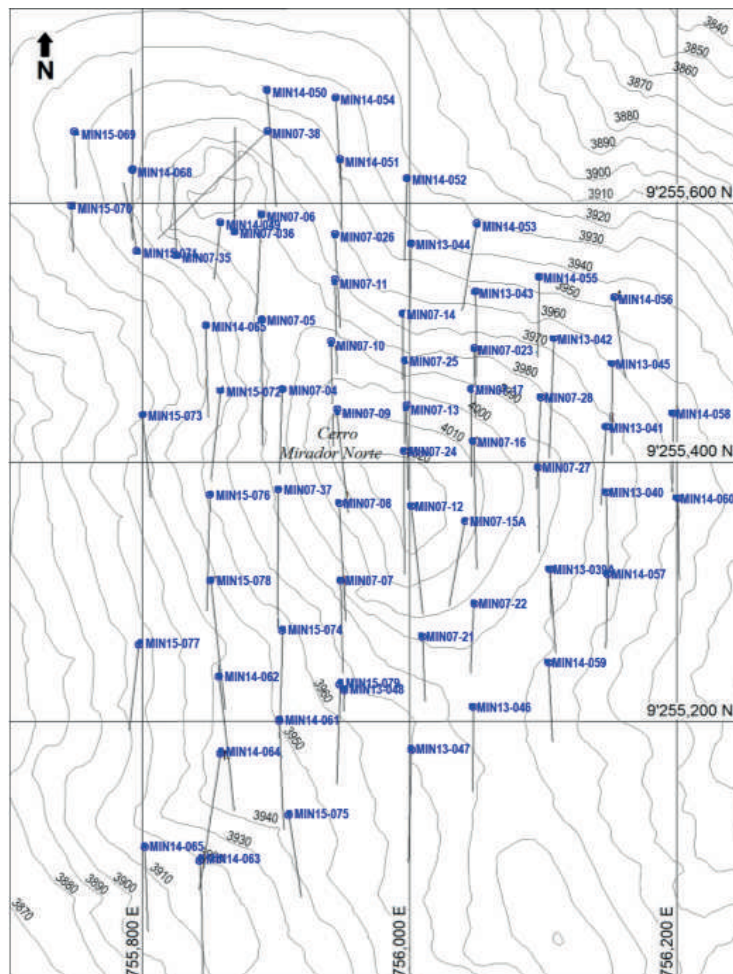
PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

Se cuenta con un total de 4,270 muestras primarias, pertenecientes a 68 sondajes diamantinos los cuales están distribuidos en una malla regular de

50 metros por 50 metros (Mapa 01). La mayoría de estos sondajes presenta dirección norte-sur con buzamiento hacia el sur, cubriendo un área aproximada de 650 metros de ancho por 700 metros de largo. El total de variables son 39 que corresponden todos los elementos químicos. Se obtiene una matriz de datos de 4,270 muestras x 39 variables. Además, se cuenta con 567 muestras de control (218 muestras duplicado, 199 muestras estándar y 150 muestras blancas) (Tabla 01). Para el procesamiento y validación de los datos se utiliza los softwares SPSS y Acquire.

SONDAJES DIAMANTINOS	68		
PRIMARIAS	4270 muestras		
CONTROLES	567 muestras	% Inserción Muestras Control	
Duplicado Gemela o de terreno	57 muestras		13.3%
Duplicado Grueso	83 muestras		1.33%
Duplicado Pulpa	78 muestras		1.94%
Estándares	199 muestras		1.83%
Blanco Grueso	75 muestras		4.66%
Blanco Fino	75 muestras		1.76%
			1.76%

Tabla 1. Presentación de datos.



Mapa 1. Ubicación de sondajes.

EVALUACIÓN DEL LÍMITE DE DETECCIÓN

El control de calidad en el proyecto Mirador Norte, comienza con la eliminación de las variables que poseen baja respuesta analítica, aquellos que tienen más del 50% de los datos con valores

inferiores al límite de detección (Tabla 02). El total de variables son 39 y el número de variables con más de 50% sin respuesta analítica, corresponden a 14 elementos químicos (Be, Bi, Cd, Ga, Mg, Nb, P, Se, Sn, Te, Ti, W, Y), que serán eliminados del subsiguiente análisis de control de calidad.

VARIABLE	LMD	UNIDAD	%Muestras <LMD	VARIABLE	LMD	UNIDAD	%Muestras <LMD	VARIABLE	LMD	UNIDAD	%Muestras <LMD
Ag	0.2	ppm	49%	Ga	10	ppm	82%	Sb	5	ppm	49%
Al	0.01	pct	1%	Hg	0.01	ppm	48%	Sc	0.5	ppm	48%
As	1	ppm	1%	K	0.01	pct	13%	Se	10	ppm	88%
Au	0.005	ppm	1%	La	0.5	ppm	15%	Sn	10	ppm	95%
Ba	1	ppm	0%	Mg	0.01	pct	75%	Sr	0.5	ppm	1%
Be	0.5	ppm	95%	Mn	2	ppm	0%	Te	10	ppm	99%
Bi	5	ppm	86%	Mo	1	ppm	4%	Ti	0.01	pct	98%
Ca	0.01	pct	36%	Na	0.01	pct	36%	Tl	2	ppm	80%
Cd	1	ppm	76%	Nb	1	ppm	73%	V	2	ppm	4%
Co	1	ppm	43%	Ni	1	ppm	5%	W	10	ppm	84%
Cr	1	ppm	1%	P	0.01	pct	65%	Y	0.5	ppm	71%
Cu	0.5	ppm	0%	Pb	2	ppm	0%	Zn	0.5	ppm	0%
Fe	0.01	pct	0%	S	0.01	pct	2%	Zr	0.5	ppm	26%

25 variables aptas
50% Datos > LMD

14 variables eliminadas por LMD
50% Datos < LMD

Tabla 2. Porcentaje de respuesta analítica. En rojo, 14 variables eliminadas del estudio estadístico por límite de detección (LMD).

CÁLCULO DE ERROR ANALÍTICO, MUESTRAL Y TOTAL

En la evaluación del error analítico, muestral y total se toman en cuenta las 25 variables que no fueron eliminadas en la evaluación por límite de detección (Ag, Al, As, Au, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, La, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, S, Sb, Sc, Sr, V, Zn y Zr). Además, para el cálculo del error analítico de las muestra se cuenta con 78 muestras duplicado fino y 199 muestras estándares; y para el error total y de muestreo se utilizarán las 57 muestras duplicado de terreno.

Los valores obtenidos para los porcentajes de los coeficientes de variación (%CV) del error relativo analítico (EA), muestral (EM) y total (ET), son expuestos en la tabla 03, identificando las variables aptas y no aptas, según lo evaluado mediante los resultados de errores relativos y la evaluación de precisión de los duplicados.

Las variables que poseen un CV analítico menor a 20%, con CV total (error total) menor a 30% y que superaron la evaluación de los gráficos Min/Max corresponden a 22 variables.

Elemento / Variable	%Muestras < LMD	Precisión aceptable	Error Analítico (CV%)	Error Total (CV%)	Error de Muestreo (CV%)	Variable Apta	Observaciones
Ag	49%	SI	10%	13%	8%	SI	
Al	1%	SI	11%	13%	7%	SI	
As	1%	SI	6%	10%	8%	SI	
Au	1%	SI	4%	5%	4%	SI	
Ba	0%	SI	8%	15%	12%	SI	
Be	95%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Bi	86%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Ca	36%	SI	6%	9%	7%	SI	
Cd	76%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Co	43%	NO	25%	6%	--	NO	Error Analítico / Precisión no aceptable
Cr	1%	SI	7%	14%	12%	SI	
Cu	0%	SI	5%	7%	5%	SI	
Fe	0%	SI	3%	5%	4%	SI	
Ga	82%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Hg	48%	NO	19%	11%	--	NO	Precisión no aceptable
K	13%	SI	13%	13%	--	SI	
La	15%	NO	22%	12%	--	NO	Error Analítico / Precisión no aceptable
Mg	75%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Mn	0%	SI	13%	10%	--	SI	
Mo	4%	SI	9%	11%	7%	SI	
Na	36%	SI	6%	12%	10%	SI	
Nb	73%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Ni	5%	SI	13%	19%	14%	SI	
P	65%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Pb	0%	SI	6%	8%	--	SI	
S	2%	SI	11%	11%	--	SI	
Sb	49%	SI	5%	6%	2%	SI	
Se	48%	SI	7%	8%	--	SI	
Se	88%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Sn	95%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Sr	1%	SI	14%	14%	1%	SI	
Te	99%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Ti	98%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Tl	80%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
V	4%	SI	18%	9%	--	SI	
W	84%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Y	71%	--	--	--	--	NO	Baja respuesta analítica
Zn	0%	SI	12%	14%	6%	SI	
Zr	26%	SI	19%	12%	--	SI	
APTA SI	<50%		<20%	<30%			Evaluación

Tabla 3. Valores de errores relativos para las variables del proyecto Mirador Norte. En rojo las variables no aptas para el estudio estadístico.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE Y MODELAMIENTO DE DATOS GEOQUÍMICOS

La aplicación de métodos de análisis multivariante facilita el estudio cuando se trabaja con un gran número de variables y muestras, ya que resuelve problemas de clasificación y agrupamiento de éstas. La estadística multivariante fue procesada con el software SPSS.

Se realizó Análisis de correlación múltiple (ACM), Análisis de componentes principales (ACP) y finalmente un análisis de factores o componentes rotados (AF) que nos permitió identificar cuatro factores o asociaciones geoquímicas con mayor ponderación que fueron las siguientes: Factor 1: Al-K-Na-Sr, Factor 2: Ag-Au-Sb-As, Factor 3: Fe-V-Zr, Factor 4: Cu-Pb.

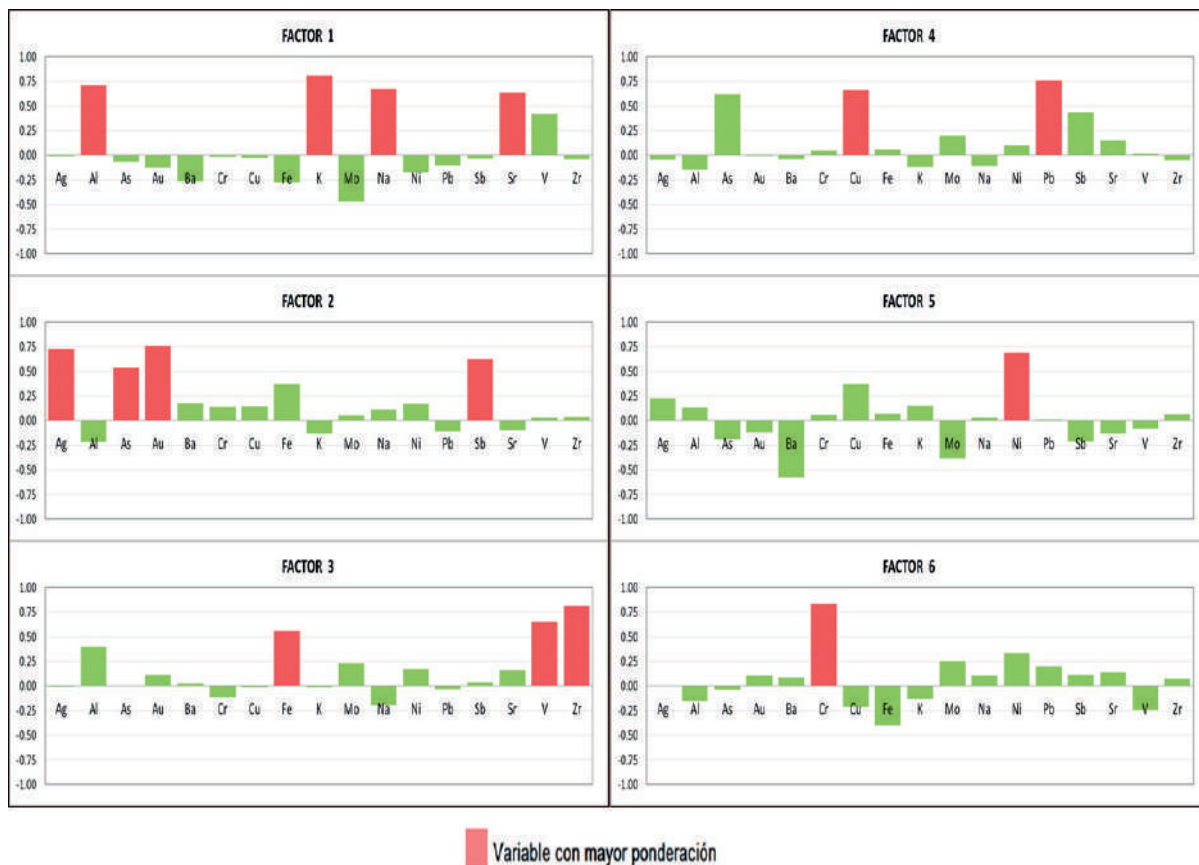


Fig. 1 Identificación de variables con mayor ponderación en los factores.

CONCLUSIONES

El análisis de multivariante es una herramienta que nos permite identificar asociaciones geoquímicas de elementos que direccionan la búsqueda de targets de mineralización, al mismo tiempo que nos brindan la posibilidad de caracterizar tipos de alteración y cambios litológicos.