

Análisis Geoestadístico Multivariable para identificación de anomalía del oro, Ayahuanca – Puno

Analysis Geoestatics Multivariate for identification of gold anomaly, Ayahuanca – Puno

Wilder Chuquiruna Chávez¹, Jorge Eduardo Chira Fernandez²

Recibido: Octubre 2017 - Aprobado: Junio 2018

RESUMEN

El trabajo de investigación analiza la eficiencia de las herramientas geoestadísticas en muestras geoquímicas superficiales de roca para determinar anomalías geoquímicas del oro. Se evaluaron un total de 5799 muestras las que tienen un análisis de 53 elementos por el método espectrometría de absorción atómica; En el presente trabajo se realizó un análisis geoestadístico principalmente para Cu, Pb, Zn, As, Ba y Au, Con ello se determinó la distribución espacial de las anomalías geoquímicas del oro, se calculó variogramas simples y cruzados en dirección de la anisotropía.

Palabras clave: Anomalía geoquímica; geoestadística anisotropía y anisotropía.

ABSTRACT

The investigation work has analyzed the efficiency of geostatistical tools in surface geochemical samples of rock to determine geochemical anomalies of gold. A total of 5799 samples were evaluated, with an analysis of 53 elements by the atomic absorption spectrometry method; the present work a geostatistical analysis was carried out mainly for Cu, Pb, Zn, As, Ba and Au. This determined the spatial distribution of the gold anomalies, simple and crossed variograms were calculated in the direction of the anisotropy.

Key words: Geochemical anomaly; geostatistical anisotropy and anisotropy.

1. Universidad Nacional Mayor San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú. Estudiante de posgrado en ingeniería geología.
E-mail: wilderch2@hotmail.com

2. Universidad Nacional Mayor San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú. Docente Principal de posgrado en ingeniería geología.
E-mail: wilderch2@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El tema en particular es aplicar las herramientas de la geoestadística para el identificación de anomalía del oro y simular la ley de oro determinando su relación con los elementos guías de la zona de Yanahuanca – Puno.

La geoquímica es una de las herramientas para estudiar la distribución y migración de los elementos químicos en la Tierra, además juega un rol protagónico en el descubrimiento de blancos de exploración. Este trabajo evaluó principalmente las caracterizadas geológicas y ensamblajes mineralógicos relacionados al oro; a partir de muestras de suelo y con ello determinaron la distribución espacial, se calcularon variogramas simples y cruzados para las principales direcciones de la zona de muestreo. (Reis, 2002).

Lo inédito de la investigación es demostrar si los métodos geoestadísticos son más precisos para identificar anomalías del oro, apoyado del softwar Arcgis.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura N° 01 se esquematiza las diferentes etapas de trabajo y se describe brevemente las metodologías empleadas en cada una de ellas.

Los métodos empleados son combinaciones los pasos mencionados en la figura N° 01. En la **primera etapa**. La identificación del ámbito de estudios por medio de imágenes satelitales, evaluación de la información y búsqueda de trabajos similares a nivel internacional y a nivel nacional. **La segunda etapa** consistió en la revisión

estudios geológicos hechos en la zona de estudio, revisando principalmente el muestreo geoquímico. **La tercera etapa** se realizó la caracterización de la información geológica comprendiendo en las entidades públicas y privadas. **La cuarta etapa** corresponde al análisis estadístico y análisis variografico utilizando el Programa arcgis para determinar la anisotropía y anomalías del oro, enfocándose en los elementos que indica en la Figura N° 02. **La quinta etapa** se realizó la interpretación y discusión de resultados. Determinado la anisotropía del oro y sus anomalías acorde al comportamiento estructural.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Geoquímica Superficial

Los resultados de laboratorio de las muestras geoquímica superficiales nos brindaron resultados de 53 elementos químicos en ppm. Para el análisis geoestadístico nos centraremos en los elementos que se muestra en Figura N° 02.

Estadística de la Geoquímica Superficial, estos resultados es a partir de la conversión a Ln, tal como se muestra en la Tabla N° 01, esta conversión se hace para disminuir el sesgo por los valores extremos; la cual se hizo en el programa Excel se realizó el resumen de la estadística elemental de cada elemento asociado al Oro.

La correlación de elementos asociados al oro se ha tomado como base la Figura N° 02, este procedimiento estadístico es eficaz para determinar la correlación de los elementos asociados al Oro. En la Tabla N° 02 se muestra el resultado del análisis de correlación, las muestras analizadas están en PPM.

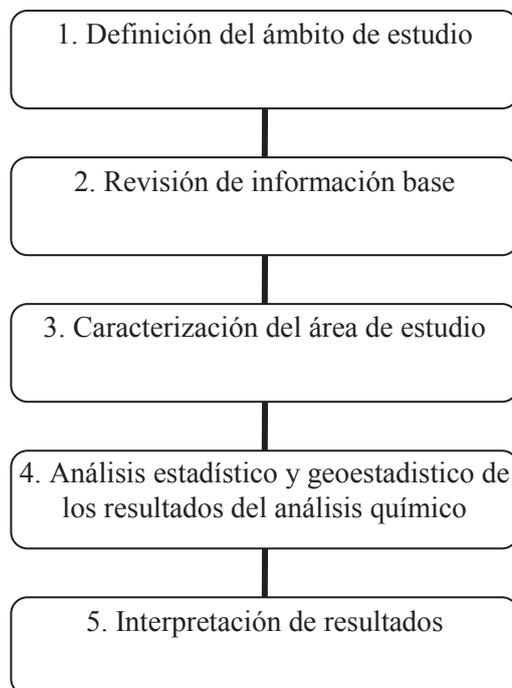


Figura N° 01. Esquema de trabajo



Figura N° 02. Asociación de elementos con el oro para geoquímica superficial
Fuente: Linares (2012).

Tabla N° 01. Cuadro de datos estadísticos de la geoquímica superficial.

	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Bi	Ca	Ce	Cu	Fe	Hg	K	La	Lu	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	S	Sb	Sc	Tb	Y	Yb	Zn
Media	-2	9	2	-4.54	2	5	-2	9	3	4	10	-3.68	8	2	-2.32	8	6	6	2	3	7	-1	2	-1.01	2	0	4.0
Moda	4.61	8	1	-5.30	2	4	-3.91	5	3	2	12	-4.61	7	2	-2.04	5	2	5	2	2	5	-3.00	0	-0.73	3	0	2.6
Desviación estándar	2	1	2	1.30	0	1	2	2	1	2	1	1.35	1	1	0.81	2	1	1	1	2	1	2	1	0.72	1	1	1.3
Mínimo	-4.61	5	0	-5.30	2	2	-3.91	5	-3.00	-0.69	5	-4.61	5	-2.30	-4.61	5	2	5	-0.69	-1.6	5	-3.00	-2.30	-3.91	-3.00	-2.30	0.0
Máximo	7	11	10	2	6	9	6	12	7	12	12	4	10	7	0	11	9	10	7	12	11	7	4	1	5	2	10.7
Numero de Datos	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760	5760
Background	0.1	10.2	4.1	-3.2	2.9	6.3	0.2	10.6	3.9	5.9	11.4	-2.3	8.8	3.1	-1.5	9.6	7.7	7.5	3.4	4.9	8.1	1.0	3.1	-0.3	3.0	0.4	5.3
Threshold	2.2	11.1	5.8	-2.0	3.2	7.6	2.2	12.5	4.6	7.7	12.3	-1.0	9.7	3.9	-0.7	11.4	9.2	8.6	4.4	6.6	9.6	2.7	4.2	0.4	3.8	1.2	6.5

Tabla N° 02. Correlación de elementos asociados al Oro a partir de datos Ln.

	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Bi	Ca	Ce	Cu	Fe	Hg	K	La	Lu	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	S	Sb	Sc	Tb	Y	Yb	Zn		
Ag	1																												
Al	-0.2	1																											
As	0.7	-0.4	1																										
Au	0.5	-0.3	0.5	1																									
B	0.0	0.1	0.0	-0.1	1																								
Ba	0.2	-0.1	0.2	-0.1	0.1	1																							
Bi	0.6	-0.3	0.7	0.8	-0.1	0.0	1																						
Ca	-0.3	0.6	-0.5	-0.4	0.1	0.1	-0.5	1																					
Ce	-0.1	0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.1	-0.1	0.5	1																				
Cu	0.4	0.3	0.3	0.3	0.0	0.1	0.3	0.2	0.2	1																			
Fe	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	1																		
Hg	0.5	-0.4	0.5	0.3	0.0	0.3	0.3	-0.3	-0.2	0.0	0.1	1																	
K	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	0.4	0.0	0.2	0.1	0.4	0.0	1																
La	-0.1	0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.2	-0.1	0.4	1.0	0.2	0.3	-0.2	0.2	1															
Lu	-0.3	0.7	-0.4	-0.3	0.2	0.0	-0.4	0.7	0.6	0.3	0.2	-0.3	0.1	0.5	1														
Mg	-0.2	0.8	-0.4	-0.2	0.1	-0.1	-0.2	0.8	0.4	0.3	0.3	-0.4	0.3	0.4	0.7	1													
Mn	-0.2	0.5	-0.4	-0.4	0.2	0.1	-0.5	0.7	0.4	0.2	0.3	-0.3	-0.1	0.4	0.7	0.6	1												
Na	-0.3	0.6	-0.4	-0.2	0.0	-0.3	-0.2	0.5	0.2	0.1	0.0	-0.4	0.1	0.2	0.5	0.6	0.3	1											
Ni	0.0	0.5	-0.2	-0.2	0.1	0.0	-0.3	0.6	0.3	0.5	0.2	-0.2	0.0	0.3	0.6	0.6	0.7	0.3	1										
Pb	0.7	-0.3	0.8	0.4	0.0	0.3	0.5	-0.4	-0.1	0.2	0.2	0.5	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.2	1									
S	0.5	-0.3	0.5	0.5	-0.1	0.2	0.6	-0.2	0.0	0.3	0.4	0.4	0.3	0.0	-0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	0.4	1								
Sb	0.6	-0.2	0.7	0.6	0.0	0.0	0.8	-0.5	-0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	0.5	0.4	1							
Sc	-0.2	0.7	-0.3	-0.2	0.2	0.0	-0.2	0.7	0.5	0.3	0.4	-0.4	0.2	0.5	0.8	0.7	0.6	0.5	0.6	-0.3	-0.1	-0.1	1						
Tb	-0.2	0.6	-0.3	-0.2	0.1	0.0	-0.2	0.7	0.8	0.3	0.3	-0.3	0.2	0.7	0.9	0.6	0.6	0.4	0.5	-0.2	-0.2	-0.2	0.8	1					
Y	-0.3	0.7	-0.4	-0.3	0.1	0.0	-0.3	0.7	0.7	0.3	0.2	-0.4	0.1	0.6	1.0	0.7	0.7	0.5	0.6	-0.3	-0.3	-0.3	0.8	1.0	1				
Yb	-0.3	0.7	-0.4	-0.3	0.2	0.0	-0.3	0.7	0.6	0.3	0.2	-0.4	0.1	0.5	1.0	0.7	0.7	0.5	0.6	-0.3	-0.3	-0.3	0.8	0.9	1.0	1			
Zn	0.2	0.4	0.2	-0.1	0.2	0.1	-0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0	0.2	0.4	0.3	0.4	0.2	0.5	0.3	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1	

Intervalo		Correlación
0.0	0.5	Baja
0.5	0.7	Media
0.7	1.0	Alta

3.2 Análisis Geoestadístico

Se construyó los variogramas experimentales en el Programa Arcgis los cuales se ajustaron a variogramas experimentales y varogramas cruzados con el fin de determinar la dirección de la anisotropía.

El análisis geoestadístico de la investigación consiste en la elaboración de variogramas experimentales para determinar el comportamiento estructural.

El análisis de los variogramas simples se ha realizado con la ayuda del Programa Arcgis para los elementos mencionados anteriormente y se analizaron en las siguientes direcciones: 0°, 20°, 40°, 60°, 80°, 100°, 120°, 140°, 160°. A partir de este análisis se determinó la anisotropía del área de estudio es en dirección 100° y 120°, el cual se ajustan en

90% y 80% respectivamente, como se muestra en la Figura N° 03 y Figura N° 04.

3.3 Analisis de variogramas Cruzados.

Al evaluar los variogramas cruzados (Marin, 2015) de Au con los siguientes elementos Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr.

El análisis de los variogramas cruzados se ha realizado con la ayuda del Programa Arcgis para los elementos mencionados anteriormente y se analizaron en la siguiente dirección: 100° ya que esta tener mejor ajuste como se muestra en la figura N° 03 y 04. A partir de este análisis se determinó la anisotropía de Au está relacionado con Al, Ba y Hg, como se muestra en a Figura N° 05, 06 y 07.

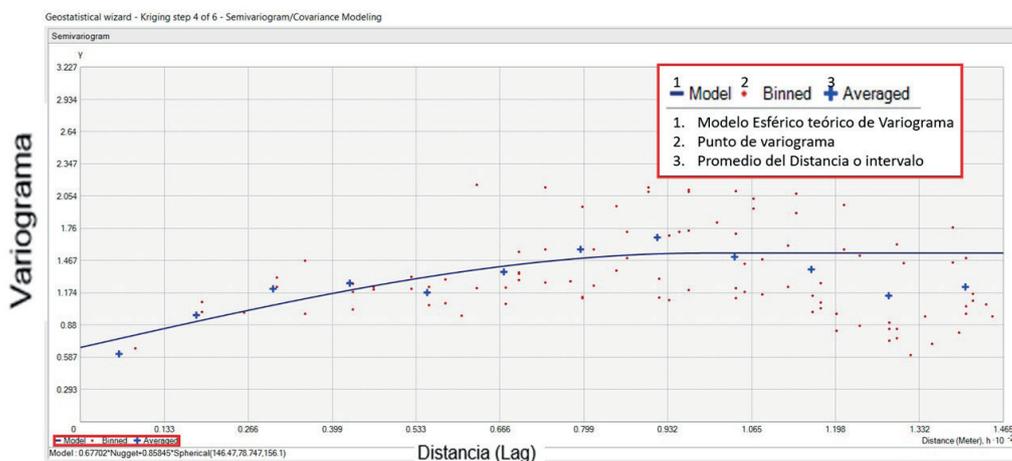


Figura N° 03. Variograma del Au en dirección 100°.

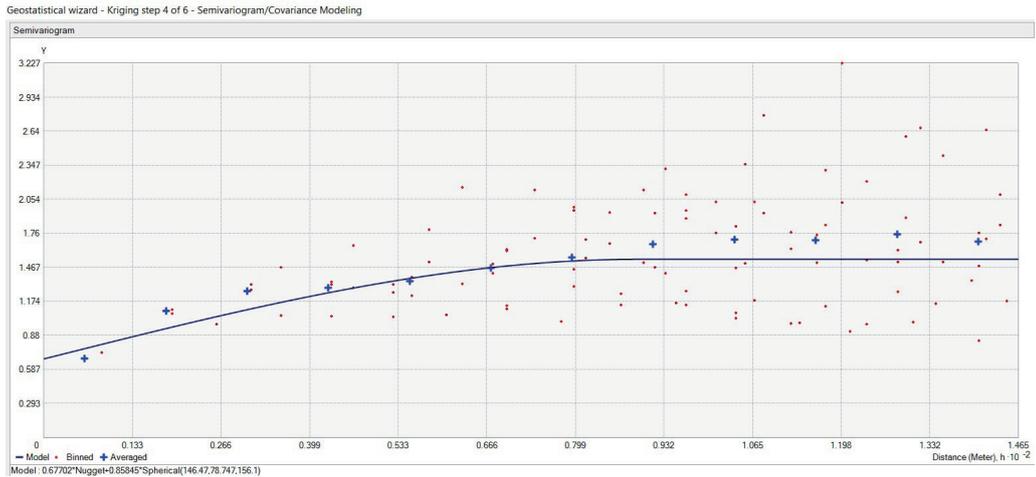


Figura N° 04. Variograma del Au en dirección 120°.

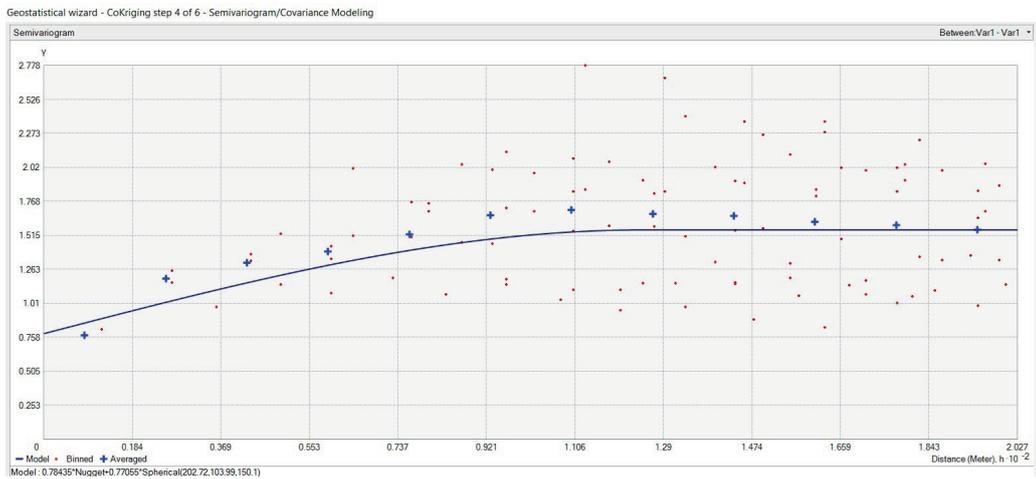


Figura N° 05. Variograma Cruzado de Au y Al en dirección 100°.

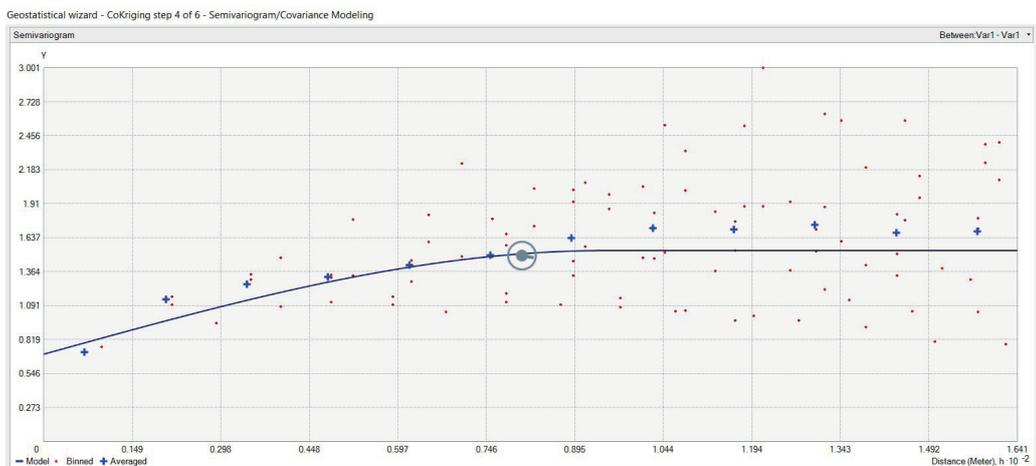


Figura N° 06. Variograma Cruzado de Au y Ba en dirección 100°.

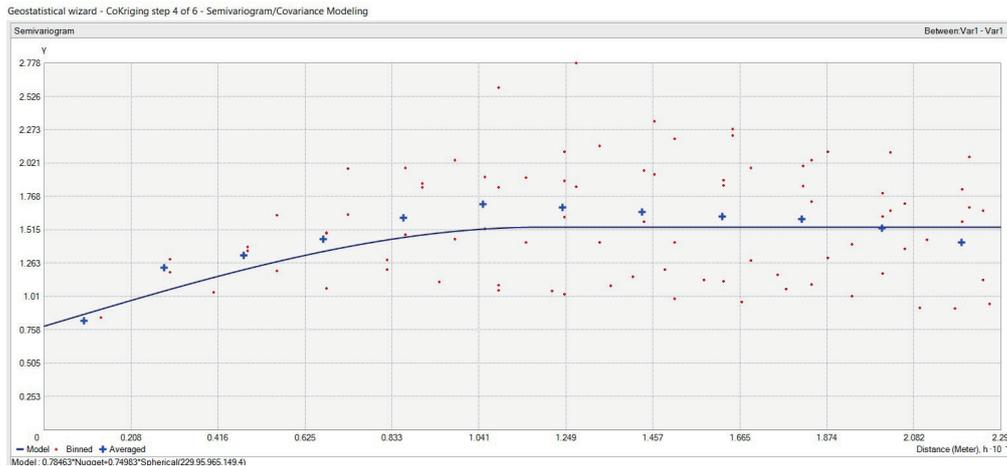


Figura N° 07. Variograma Cruzado de Au y Hg en dirección 100°.

3.4 Modelo de distribución del oro, Utilizando Kriging.

Utilizando el Krigeage Ordinario (Zabaleta 2010) en el Programa Arcgis con los 5799 datos de la geoquímica superficial. Para esta evaluación nos hemos basado en los principales elementos asociados al oro.

En la Figura N° 08 presentamos el modelo de anomalía geoquímica del Au por el método del Kiging donde se puede observar las concentraciones del elemento y están escalados de acuerdo a sus valores del valor de fondo y umbral. Además se identificó 262 hectáreas de anomalía media y 13 hectáreas de anomalía alta.

3.5 Presentación de Resultados

Los resultados del análisis estadístico se muestran en la Tabla N° 01 se puede notar que el Au tiene correlación con elementos Bi y Sb.

El resultado de los variogramas lineales se ajustó al modelo de variograma esférico, también hemos podido identificar la anisotropía en N20° y N100°, sin embargo los elementos típicos de minerales comúnmente asociados al oro (As, Bi, Pb, Sb y Zn) en el análisis de los variogramas cruzados no existe anisotropía, el resumen de los resultados se muestra en la Tabla N° 03.

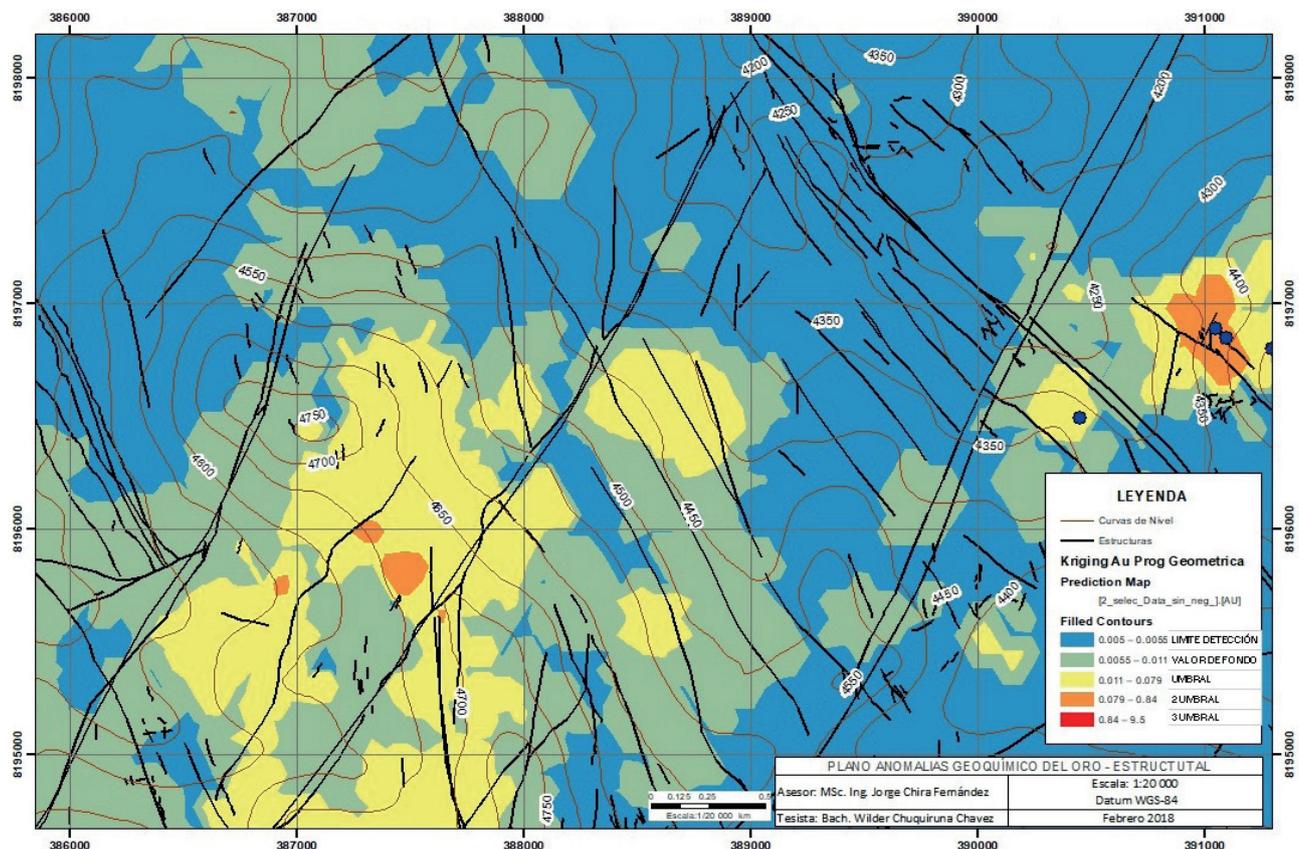


Figura N° 08. Modelo de anomalía geoquímica, Kriging del Au y lineamientos estructurales

Tabla N° 03. Resumen de resultados estadístico y geoestadístico.

Cuadro de datos estadísticos de la geoquímica superficial.

Elemento	Variograma unidireccional			Variograma Cruzado			Anisotropía
	Meseta	Meseta Parcial	Efecto Pepita	Meseta	Meseta Parcial	Efecto	
						Pepita	
Au	1.54	0.86	0.68	2.22	1.54	0.68	100 y 20
Ag	2.18	1.57	0.61	1.71	0	1.7	100
Cu	3.13	1.99	1.14	1.71	0	1.71	100, 20 y 40
As	2.43	1.39	1.04	1.71	0	1.71	60 y 100
Bi	1.69	1.13	0.56	1.71	0	1.71	100 y 20
Fe	0.99	0.64	0.35	1.71	0	1.71	60
Pb	1.4	0.97	0.43	1.71	0	1.71	0 y 100
Sb	2.41	1.8	0.61	1.71	0	1.71	160 y 100
Zn	1.538	0.38	1.158	1.54	0.85	0.69	120
Ba	1.49	1	0.49	1.6	0.8	0.8	0
Hg	1.64	0.81	0.83	1.52	0.74	0.78	0, 120
Mn	1.11	0.8	0.31	1.71	0	1.71	100
Ni	0.66	0.5	0.16	1.54	0.71	0.83	100
Al	0.61	0.33	0.28	1.55	0.77	0.78	100
B	0.09	0	0.09	1.53	0.74	0.79	-
Ca	3.59	2.34	1.25	1.71	0	1.71	20
K	0.98	0.5	0.48	1.55	0.41	1.14	40 y 120
Mg	1.1	0.8	0.3	1.49	0.07	1.42	100
Na	1.02	0.6	0.42	1.55	0.76	0.79	0
S	1.75	0.44	1.31	1.59	0.93	0.66	100
Ce	0.39	0.25	0.14	1.49	0.28	1.21	100
La	0.46	0.3	0.16	1.18	0.95	0.23	100
Lu	0.48	0.27	0.21	1.53	0.45	1.08	100, 40
Sc	1.12	0.67	0.45	1.55	0.78	0.77	120
Tb	0.44	0.37	0.07	1.51	0.6	0.91	100
Y	0.54	0.28	0.26	1.46	0.49	0.97	60 y 100

IV. CONCLUSIONES

1. Se ha determinado las anomalías geoquímicas del Oro utilizando la herramienta Kriging de la geoestadística, dado que esta la técnica del kriging es un estimador insesgado y hace las predicciones soportándose en los variogramas experimentales para una variable y variogramas cruzados para la correlación de 2 variables.
2. Los patrones geoquímicos del Au se determinó a partir de aplicación análisis de multivariante con transformación Ln, en donde se ha identificado una correlación media (0.6) del Au con Sb y una correlación alta (0.8) con el Bi que corresponden en la clasificación de elementos típicos de minerales comúnmente asociados con Oro.
3. Se determinó la anisotropía o comportamiento de continuidad del análisis de los variogramas experimentales, dando la dirección principal N100° y orientaciones secundarias N20°, N60°,

las cuales está relacionado a la geología estructural zona. Además se determinó el comportamiento estructural espacial de N100° para Ag, Cu, As, Bi, Pb, Sb y S, anisotropía N20° para Cu, Bi y anisotropía puntualmente N60° para As, Fe.

4. Se modelo la distribución geoquímica del oro utilizando el método Geoestadístico, llegando a determinar anomalías del oro con el bismuto, antimonio y mercurio principalmente. Para mejorar la distribución geoquímica de isovalores se utilizó la técnica Kriging y progresión geométrica.

V. AGRADECIMIENTOS

A la unidad de posgrado de la facultad de ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor De San Marcos, a mi asesor Mg. Ing Jorge Chira Fernández por sus revisiones y al Instituto de Investigación IIGEO por facilitar la publicación del presente artículo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Linares Gutiérrez. Nataniel (2012) Mineralogía del Oro, ESME/FAIN – UNJBG – Tacna – Perú.

Reis A.P., Sousa A.J., Cardoso Fonseca E. (2002), Application of geostatistical methods in gold geochemical anomalies identification Montemor-O-Novo, Portugal, Journal of Geochemical Exploration 77 (2003) 45–63.

Zavaleta Sánchez Jorge, (2010). Kriging: Un Método de Interpolación sobre Datos Dispersos, Universidad Nacional Autónoma de México.

Marín Suarez Alfredo (2015). Geoestadística I. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de:

<https://es.scribd.com/doc/293630544/Geoestadistica-i-1era-Monografia-2015-II>.