

# Geochemical prospecting for the generation of exploration targets in the district of Caravelí, Arequipa 2020

Juan Gonzales<sup>1</sup>, Jhonatan Marquina<sup>1</sup>, Daniel Alva, Ing<sup>1</sup> Alex Marinovic, Ing<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú [juanfgmedina@hotmail.com](mailto:juanfgmedina@hotmail.com), [jhon.luis.marquina13@gmail.com](mailto:jhon.luis.marquina13@gmail.com),  
[daniel.alva@upn.edu.pe](mailto:daniel.alva@upn.edu.pe), [Alex.marinovic@upn.edu.pe](mailto:Alex.marinovic@upn.edu.pe)

*Abstract– The objective of this research is to carry out a geochemical survey for the generation of exploration targets in the district of Caravelí, Arequipa by 2020. The technique used for information collection was direct observation in the field. Soil sampling was carried out considering the upper part of horizon B. The collected samples were sent to the laboratory for their respective analysis, then geochemical analysis was done by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). With the data delivered from the laboratory, and its subsequent analysis using the robust sliding window method with statistics from the near neighbor. Maps of geochemical anomalies, multi-elemental maps and metal coefficients were made. For the statistical processing of the data with the aforementioned elements, the Statistical Software Minitab 18.2 and the Geochemical software ioGAS were used. After statistical analysis, geochemical anomalies were calculated by giving us an LREI value for each value of the elements, then anomaly maps were made using the Kernel interpolation method. To complement, a multi-elemental map was made considering pathfinder elements such as Sb, As and Hg recognizing the hot zones evidencing hydrothermal activity. In this way, the exploration targets with possible economic potential were located. Therefore, a proper geochemical mapping was conducted and 18 exploratory targets of associations Ag-Sb-Bi-Hg-Au and Cu-Mn-Zn-Co-P were located in Caravelí District.*

**Keywords:** Geochemistry prospecting, exploration targets.

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.288>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

# Prospección geoquímica para la generación de blancos exploratorios en el distrito de Caravelí, Arequipa 2020

Juan Gonzales<sup>1</sup>, Jhonatan Marquina<sup>1</sup>, Daniel Alva, Ing<sup>1</sup> Alex Marinovic, Ing<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú [juanfgmedina@hotmail.com](mailto:juanfgmedina@hotmail.com), [jhon.luis.marquina13@gmail.com](mailto:jhon.luis.marquina13@gmail.com),  
[daniel.alva@upn.edu.pe](mailto:daniel.alva@upn.edu.pe), [alex.marinovic@upn.edu.pe](mailto:alex.marinovic@upn.edu.pe)

**Resumen**— El objetivo de la presente investigación es realizar una prospección geoquímica para la generación de blancos exploratorios en el distrito de Caravelí, Arequipa para el año 2020. La técnica que se utilizó para la recolección de información fue observación directa en campo. Se realizó muestreo de suelos considerando la parte superior del horizonte B. Las muestras recolectadas se enviaron al laboratorio para su análisis respectivo, posteriormente se hizo el análisis geoquímico por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS). Con la data entregada del laboratorio, y su posterior análisis mediante el empleo del método robusto de ventana deslizante con estadísticas del vecino cercano, se confeccionó mapas de anomalías geoquímicas, mapas multielementales y de coeficientes metálicos. Para el tratamiento estadístico de los datos con los elementos mencionados, se utilizó el software estadístico Minitab 18.2 y el software Geoquímico ioGAS. Posterior al análisis estadístico, se calcularon las anomalías geoquímicas dándonos un valor del LREI para cada valor de los elementos, Luego se realizaron los mapas de anomalías usando el método de interpolación de Kernel. Para complementar, se realizó un mapa multielemental considerando elementos pathfinders como el Sb, As y Hg reconociendo las zonas calientes evidenciando actividad hidrotermal. De esta manera se ubicaron los blancos exploratorios con posible potencial económico. Por lo tanto, se realizó un buen cartografiado geoquímico y ubicaron 18 blancos exploratorios de asociaciones Ag-Sb-Bi-Hg-Au y Cu-Mn-Zn-Co-P en el distrito de Caravelí.

**Palabras clave:** Prospección, geoquímica, blancos exploratorios.

## I. INTRODUCCIÓN

La geoquímica de prospección/exploración es una rama de la geoquímica aplicada que utiliza elementos químicos, propiedades y distribución en la naturaleza para localizar y caracterizar depósitos minerales económicos [1]. Pero las técnicas convencionales son técnicas tradicionales. En este contexto, son métodos ordinarios para buscar minerales. Por ejemplo, si alguien está buscando oro, plomo o zinc debe empezar con trabajos regionales utilizando muestreo de sedimentos de arroyo o de suelos, esta forma convencional ha permitido detectar zonas anómalas [2].

Los métodos geoquímicos utilizados en la exploración de minerales han avanzado para mapear grandes áreas del mundo, a menudo con un amplio espaciado de muestra. Además de proporcionar una indicación regional del potencial mineral, estos estudios indican líneas de base para el desarrollo mineral y de otro tipo [3].

El análisis exploratorio sobre una data geoquímica puede identificar valores extremos, la normalidad de los datos o su normalización mediante transformaciones, la evaluación de la distribución de las variables y la existencia de correlaciones entre ellas, para posterior realizar un cartografiado geoquímico que nos permita delimitar zonas grandes. Actualmente, se emplea métodos estadísticos como gap estadístico, ventana deslizante ya que, permiten concentrar mejor las anomalías y porque dividen por poblaciones a las muestras [4].

Los elementos exploradores o guías, permiten la búsqueda de depósitos minerales, asociando los grados de movilidad de los elementos, controlados por las características de la fase móvil y la migración de esta. Estos elementos forman pares o grupos y consistentemente muestran una estrecha relación indiferente del ambiente en el cual ellos ocurren. En muchos casos, esto es debido a que el elemento menos abundante sustituye libremente en la red del cristal formado por el socio más abundante, lo cual facilita la búsqueda del mineral puesto que estos elementos forman un halo más amplio y son más fáciles de detectar [5].

En el distrito de Caravelí perteneciente a la costa arequipeña, en la actualidad el incremento de concesiones ha ido disminuyendo, pero hay zonas aún vacías que puedan tener potencial minero en IOCG y VMS, por eso es importante el estudio prospectivo para localizar blancos exploratorios o de interés.

El desarrollo de esta investigación permite plantear de forma preliminar un modelo geoquímico predictivo basado principalmente en las leyes anómalas de las muestras de la zona de estudio, permitiendo localizar zonas con potencial minero económico, y contribuir a que empresas puedan acceder a ello, y posteriormente concesionar la zona si es que estuviese vacía, generando desarrollo minero en la región de Arequipa que tiene potencial en la zona costera.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Trabajo de precampo

Para conocer y entender la zona de estudio, se realizaron búsquedas de revisiones, y análisis en trabajos elaborados por el INGEMMET sobre el cuadrángulo de Caravelí 31p, y se extrajeron documentos de la Sociedad Geológica del Perú sobre la Geología de Arequipa. Para la planificación del programa de muestreo se realizó los siguientes procesos: Realizar mapas satelitales, se procede a colocar puntos de muestreo de acuerdo

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.288>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

al afloramiento, para el muestreo sistemático en suelo se hizo una malla de 300x500 m donde los puntos estuvieron georreferenciados en un mapa topográfico con coordenadas WGS84 y se realizó el formato de muestreo. Por último, se delimitó la zona de estudio, la cual está representada por las siguientes coordenadas geográficas UTM: (605500;8285900), (602800;8285900), (605500;8207000), (602800;8207000), en la Figura 1 podemos observar el área de estudio.

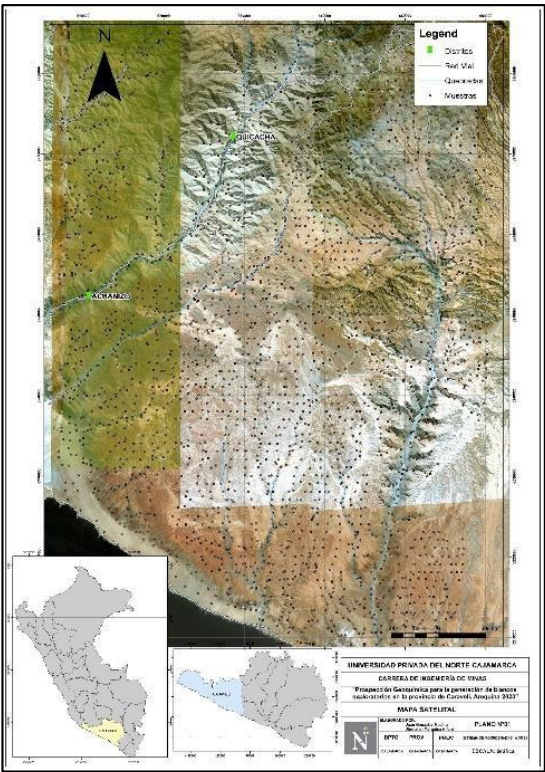


Figura 1: Plano satelital y de ubicación del área de estudio.

### B. Recolección de los datos

Consistió en realizar muestreo por suelos construida inicialmente en el distrito de Caravelí, con la finalidad que abarque toda la zona de la costa de Caravelí con distancia de 500m, considerando la parte superior del horizonte B ya que tiene una movilidad de 200-500 m y sea representativa. Todas las muestras se codificaron en las bolsas de acuerdo a la tarjeta de muestreo, y se insertarán controles como blancos gruesos, duplicados, y estándares, ellos serán el 10% de la muestra total.

### C. Trabajo de Laboratorio

Las muestras recolectadas en campo fueron tratadas con una digestión de agua regia 3:1 de ácido clorhídrico y ácido nítrico para la lectura de 36 elementos, y posterior se hará el análisis geoquímico por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).

### D. Etapa final de gabinete

Una vez realizado el cartografiado geológico detallado en campo, se confeccionó el mapa usando el software ArcGIS, e interpretando la secuencia de las estructuras, así como la parte litológica. De igual manera, con la data entregada del laboratorio, para el análisis multivariable se establecieron las correlaciones entre elementos por el método de Pearson y su posterior análisis mediante el empleo del método robusto de ventana deslizante con estadísticas del vecino cercano, se obtendrá diferentes parámetros que nos permitió elaborar los mapas de anomalías geoquímicas, mapas multielementales y de coeficientes metálicos usando el método de interpolación de Kernel por ser el más apropiado para una etapa de prospectiva. Para el análisis de datos se tomó en cuenta tanto elementos calcófilos y siderófilos como: P, Cu, Mn, Zn, Pb, Co, Cd, As, Cr, Ni, Ba, W, Sb, Mo, Ag, Bi, Hg y Au, Para el tratamiento estadístico de los datos con los elementos mencionados, se utilizó el software estadístico Minitab 18.2 y el software Geoquímico ioGAS.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la zona de investigación, se encuentran unidades ígneas, sedimentarias y metamórficas con edades que van desde el Prepaleozoico hasta el Cuaternario Reciente.

Tabla 2.  
Unidades geológicas

Unidades geológicas	Composición
Unidades ígneas	Derrames lávicos del Grupo Barroso, rocas monzograníticas del Batolito Ático Camaná relacionado a los IOCG, y rocas intrusivas de cretácico superior que se relacionan con la mineralización de Au-Pb-Zn-Cu, y el Batolito de la Costa de composición granodiorita, tonalita, monzonita.
Unidades metamórficas	Gneiss del Complejo Basal de la Costa Cuarcitas de la Fm. Hualhuani,
Unidades sedimentarias	Grupo tarma Formación Moquegua
Materiales cuaternarios	Arenas limosas de origen residual, que constituyen los terrenos de cultivos

En cuanto a la metalogenia, resalta su importancia debido a relacionarse con las zonas anómalas del proyecto y la correlación de elementos pathfinder del distrito de Caravelí. Caravelí está dominada por 2 franjas metalogénicas que también predominan en nuestra zona de estudio: Franja IX: Franja de depósitos de Au-Pb-Zn-Cu relacionados con intrusiones de Cretácico superior, donde las estructuras mineralizadas de cuarzo-oro-sulfuros se encuentran hospedadas en granitoides del Cretácico superior del Batolito de la Costa Franja X: Franja de pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior En el centro y sur del Perú, la mineralización está relacionada con intrusivos graníticos del Cretácico superior del Batolito de la Costa y controlada por fallas NO-SE de los sistemas

Conchao-Cocachacra, Cincha-Lluta e Incapuquio, así como por fallas menores con orientación N-S.

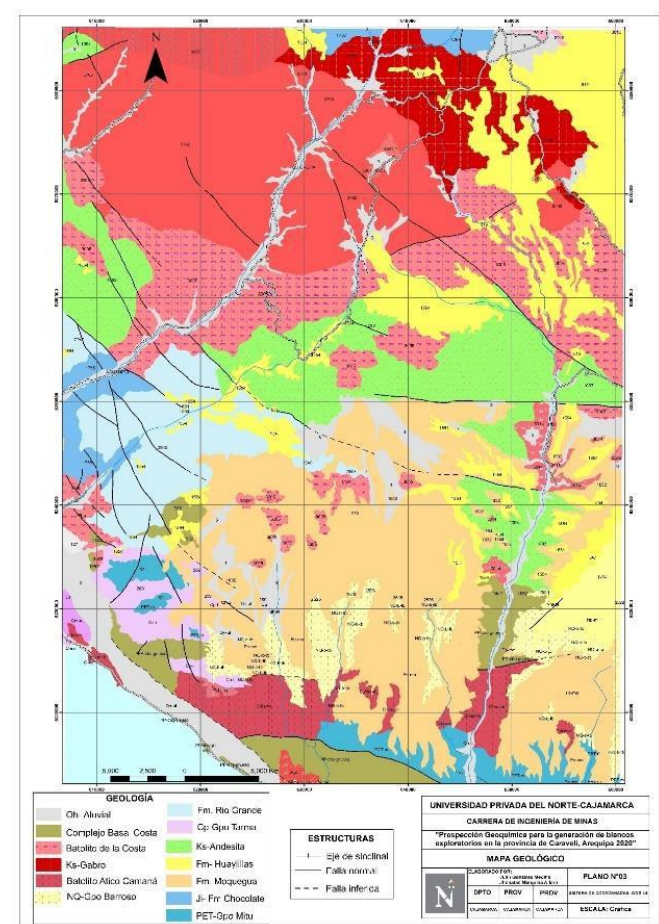


Figura 2: Mapa geológico de la zona de estudio.

Se realizó la prueba de normalidad para un nivel de significancia  $\alpha=5\% =0.05$ , se tendría como regla:

Si  $p\text{-valor} \geq 0.05 \rightarrow$  Aceptar  $H_0$

Si  $p\text{-valor} < 0.05 \rightarrow$  Rechazar  $H_0$

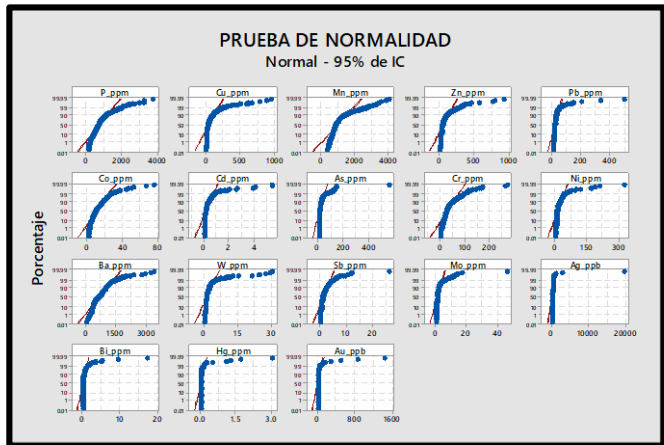


Figura 3: Pruebas de Normalidad de elementos.

Tabla 2.  
Datos obtenidos de la prueba kolmogorov-smirnov

Elem.	Kolmogórov-Smirnov				
	Nº muestras	Media	DS	P-valor	H <sub>0</sub>
Au_ppb	3146	12.06	21.8	<0.005	Se rechaza
Ba_ppm	3146	127.3	110.5	<0.005	Se rechaza
Cr_ppm	3146	8.86	5.052	<0.005	Se rechaza
Cu_ppm	3146	37.57	81.9	<0.005	Se rechaza
Mn_ppm	3146	1235	1786	<0.005	Se rechaza
Zn_ppm	3146	233.4	308.8	<0.005	Se rechaza
Ag_ppm	3146	0.3144	0.7128	<0.005	Se rechaza
P_ppm	3146	588.4	477.7	<0.005	Se rechaza
Sr_ppm	3146	43.15	58.14	<0.005	Se rechaza
As_ppm	3146	30.78	47.94	<0.005	Se rechaza
Bi_ppm	3146	0.455	0.9197	<0.005	Se rechaza
Cd_ppm	3146	1.443	3.725	<0.005	Se rechaza
Co_ppm	3146	16.63	18.51	<0.005	Se rechaza
Hg_ppm	3146	0.2365	0.7094	<0.005	Se rechaza
Mo_ppm	3146	8.666	19.07	<0.005	Se rechaza
Ni_ppm	3146	24.66	17.41	<0.005	Se rechaza
Pb_ppm	3146	58.21	129.3	<0.005	Se rechaza
Sb_ppm	3146	3.282	7.973	<0.005	Se rechaza
Sn_ppm	3146	1.033	1.091	<0.005	Se rechaza

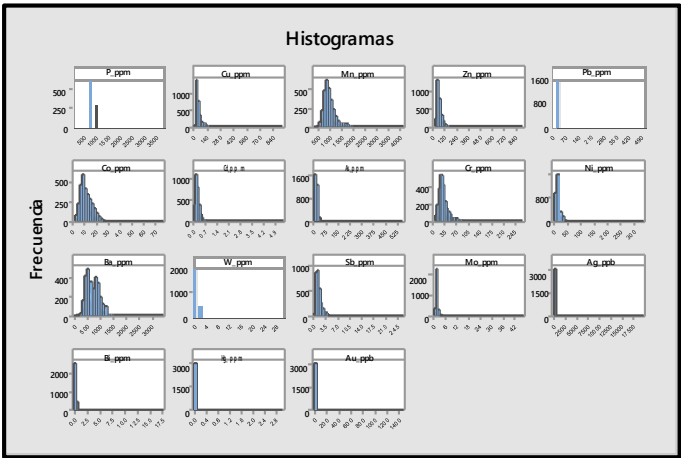


Figura 4: Histogramas de valores no normalizados.

De la tabla 2 se tiene que el valor de p es menor a 0.05, por ende, se rechaza la  $H_0$ , y se concluye que la data tiene un comportamiento log-normal mostrando así que no tiende a una buena homogeneidad, también menciona que todos los datos geoquímicos deben ser normalizados ya que el espacio geológico siempre es diferente en cada lugar.

Asimismo, de la figura 4 podemos ver el comportamiento de los diferentes elementos que no tienen una simetría cercana a la campana de Gauss, por ello se requiere que estos sean normalizados.

El análisis estadístico univariado, muestra estadísticos descriptivos como media, moda, mediana, desviación estándar, Q1, Q3, así como un histograma.

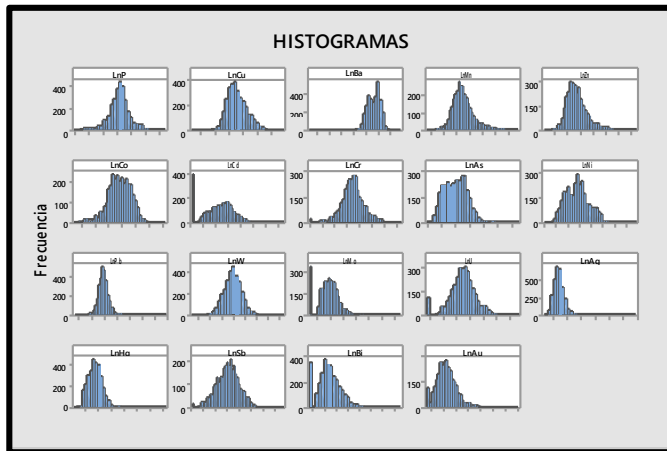


Figura 5: Histogramas de valores normalizados.

De la descripción estadística básica se establece que, los datos se acercan a una distribución normalizada. Asimismo, el histograma para elementos como el P, Zn, U, Au, Ag, Sb, Hg, Cr, Ni, Mn muestra una simetría muy cercana a la campana de Gauss, manifestando así una mejor homogenización de los datos, después de haber normalizado la data.

La prueba de valores atípicos por Grubbs, permite conocer el comportamiento de los diferentes elementos.

De las gráficas de valores atípicos (Figura 6, 7 y 8), se observó que el Cu, Ba, Mn, Zn, As, Pb, Ni, Mo, Ag, Hg, Sb, Bi, y Ni tienen valores atípicos, pero estos tienen un distanciamiento equidistante entre valores, mostrando así que son valores anómalos/outliers y no se trata de valores que hayan sido mal muestreados o enriquecidos por un mal muestreo. Por lo tanto, esos valores no deben de ser eliminados, y se ejecutó los siguientes análisis para evaluar y definir nuestro elemento anómalo influenciado por otros elementos guías.

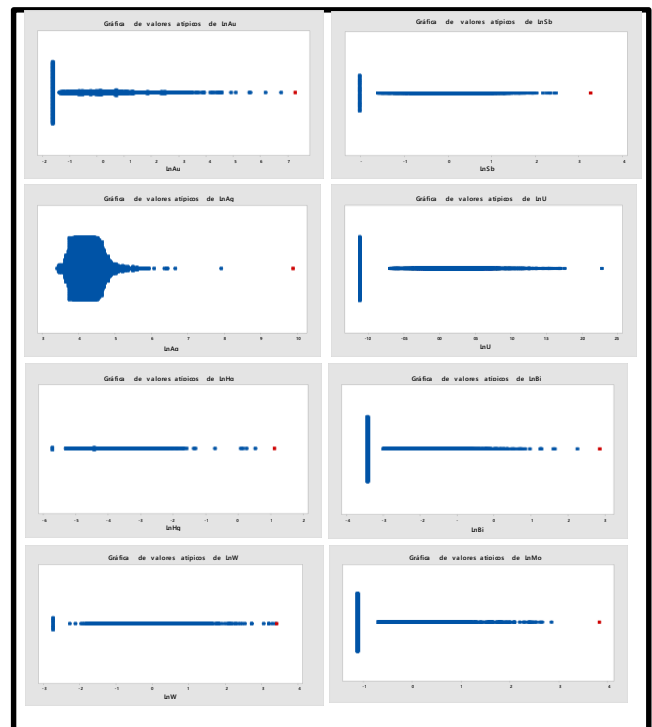


Figura 6. Valores atípicos de Mo-W-Ag-U-Au.

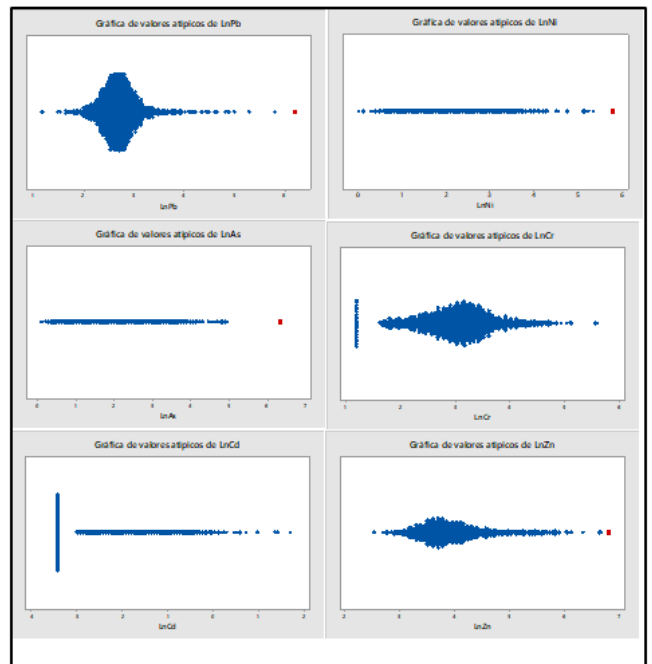


Figura 7. Valores atípicos del Zn-Cr-Cd-Pb



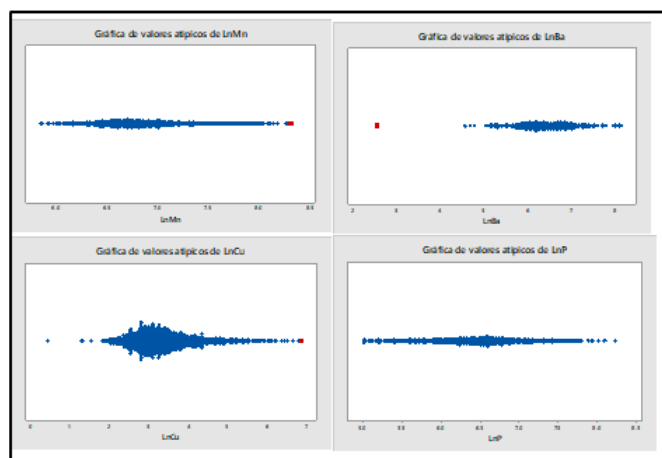


Figura 8. Valores atípicos de Mn, Ba, P, y Cu.

Para el análisis bivariado, utilizando elementos que tengan afinidad de móviles e inmóviles, se utilizó graficas de dispersión entre dos elementos. En la Figura 9, se pudo notar una correlación directa entre el Cu- Zn, Cu-Mo, Cr-Ni, Zn-Co, Zn-Mn, Pb-Zn estos elementos nos dan indicios de una firma polimetálica o depósitos de Cu en la zona estudiada, así como una actividad hidrotermal en la zona por la relación As-Sb, donde su correlación no es tan fuerte y debe ser analizada posteriormente. Asimismo, no hay una buena correlación el Ag-Sb.

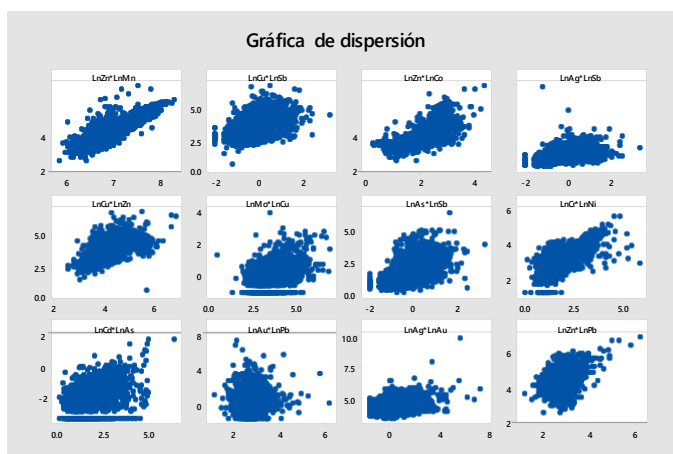


Figura 9. Gráficas de dispersión entre dos elementos.

Se ejecutó el análisis trivariado con los siguientes elementos Cu-Zn-Pb, Mn-Zn-Co y Sb-Ag-Bi ya que tuvieron buena correlación en el análisis bivariado, y se empleó gráficas de contorno:

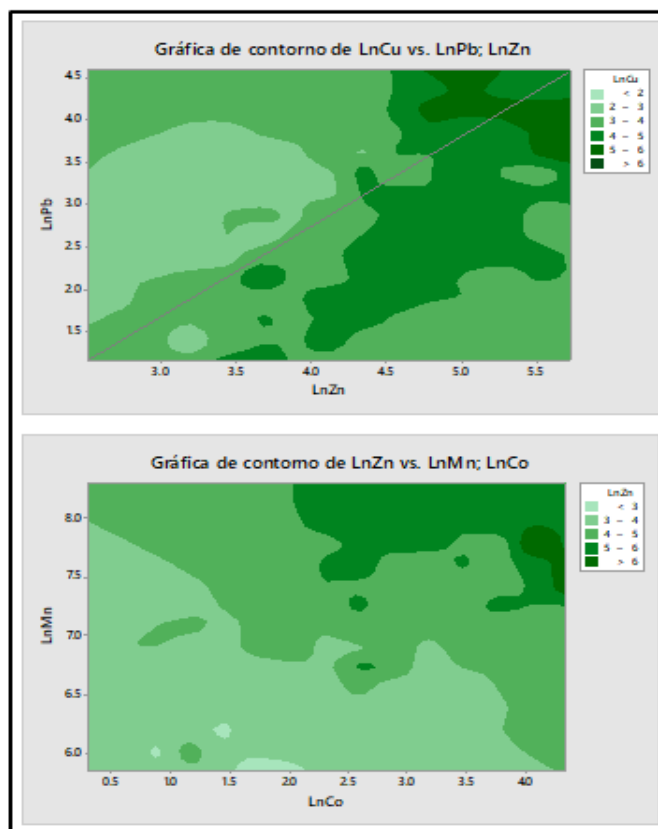


Figura 10. Gráficas de contorno de Mn-Zn-Co y Cu-Pb-Zn

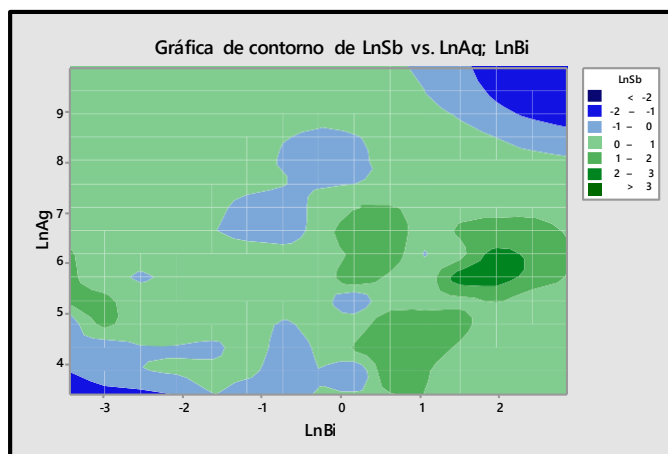


Figura 11. Gráfica de contorno de Sb-Ag-Bi

De los gráficos de contorno (fig.10 y 11), se visualiza que el Cu tiene una muy buena correlación directa con el Pb-Zn, con una tendencia lineal que presenta un aumento de Cu cuando el Pb-Zn también aumentan, pero en el caso con el Mn-Co sucede lo mismo pudiéndose identificar una buena correlación entre estos tres elementos. Asimismo, el último gráfico de contornos muestra que el Bi tiene una moderada-fuerte correlación cuando aumenta el Sb, pero cuando el valor de la Ag aumenta el Sb disminuye habiendo una correlación negativa.

Para el análisis multivariado se usó el método de correlación de Pearson, ya que se tienen datos normalizados.

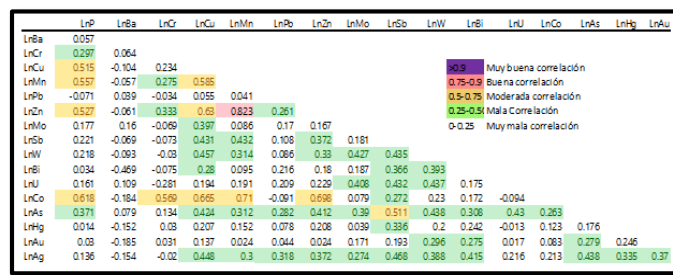


Figura 12. Análisis multivariado usando correlación de Pearson.

Se aprecia una buena correlación entre: Zn-Mn, y, una moderada correlación entre: Cu-P, Mn-P, Co-P, Co-Cr, Cu-Mn, Cu-Zn, Cu-Co, Mn-Co, Zn-Co, As-Sb. A la vez, el análisis multidisciplinario se complementó con un análisis cluster mediante dendrogramas:

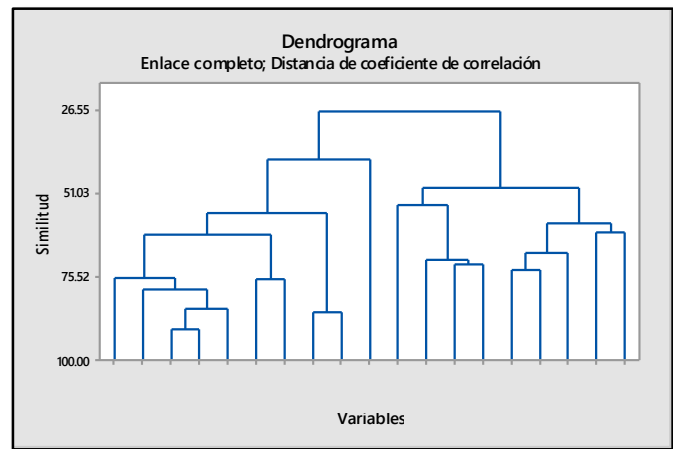


Figura 13. Análisis cluster mediante dendrograma

El dendrograma y el análisis multivariado por Pearson mostraron tres grupos de buenas asociaciones, el primero grupo está conformada por P-Cu-Mn-Zn-Co, donde Co y P son siderófilos, y el Cu-Zn asociándose a siderófilos ocurre mayormente en depósitos VMS e IOCG, la otra firma de Mo-W-U relacionados a depósitos de Tungsteno, y la firma Ag-Sb-Bi-Hg-Au está asociado a depósitos epitermales y pórfidos cupríferos distales. Se identificaron anomalías geoquímicas, empleado el método de ventana deslizante encontrando anomalías mediante el índice enriquecimiento local (LREI).

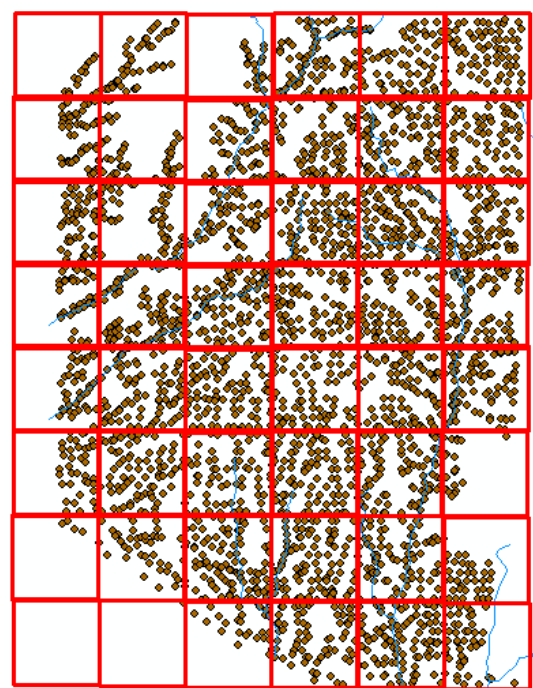


Figura 14. Ventanas deslizantes en nuestros puntos de muestreo

lnCu	Ventana	LREI	Mediana	MedianaLnC	LREI	lnCu
3.5204608	17	0.59433962	212	3.054	0.15273766	
2.99071973	17	-0.06132075	212	3.054	-0.02072045	
3.41114771	25	0.40930233	215	3.0681	0.11811172	
3.47506723	25	0.50232558	215	3.0681	0.13264471	
3.2308044	25	0.17674419	215	3.0681	0.05303099	
3.3068867	25	0.26976744	215	3.0681	0.07782885	
2.8094027	25	-0.22790698	215	3.0681	-0.08431841	
2.94443898	25	-0.11627907	215	3.0681	-0.04030541	
2.8507065	25	-0.19534884	215	3.0681	-0.07085607	
2.77258872	25	-0.25581395	215	3.0681	-0.09631736	
2.82137889	25	-0.21860465	215	3.0681	-0.08041495	
2.94443898	25	-0.11627907	215	3.0681	-0.04030541	
2.88480071	25	-0.16744186	215	3.0681	-0.05974358	
2.68102153	25	-0.32093023	215	3.0681	-0.12616227	
3.07269331	25	0.00465116	215	3.0681	0.00149712	
2.63188884	25	-0.35348837	215	3.0681	-0.14217632	
2.83321334	25	-0.20930233	215	3.0681	-0.07655769	
2.52572864	25	-0.41860465	215	3.0681	-0.17677776	
2.87356464	25	-0.17674419	215	3.0681	-0.06340581	
2.70136121	25	-0.30697674	215	3.0681	-0.11953287	
2.72785283	25	-0.28837209	215	3.0681	-0.11089833	
3.02529108	25	-0.04186047	215	3.0681	-0.01395291	
2.29253476	25	-0.53953488	215	3.0681	-0.25278356	
2.95491028	25	-0.10697674	215	3.0681	-0.03689245	
4.05352257	25	1.67906977	215	3.0681	0.32118833	
3.51452607	25	0.5627907	215	3.0681	0.14550571	
2.2512918	17	-0.55188679	212	3.054	-0.26283831	
2.69462718	17	-0.30188679	212	3.054	-0.11767283	
2.54160199	17	-0.4009434	212	3.054	-0.16777931	
2.39789527	17	-0.48113208	212	3.054	-0.21483455	
2.61006979	17	-0.35849057	212	3.054	-0.14536025	
3.42100001	17	0.44339623	212	3.054	0.12017027	
2.95491028	17	-0.09433962	212	3.054	-0.03244588	
2.81540872	17	-0.21226415	212	3.054	-0.07812419	
3.91999118	40	0.52496218	3305	3.4976	0.120766	
3.693867	40	0.21633888	3305	3.4976	0.05611476	
3.35689712	40	-0.13161876	3305	3.4976	-0.04022841	

Figura 15. LREI a distintos elementos

Los elementos empleados serán el Cu que mostraron una buena asociación con otros elementos y mostraron interesantes firmas geológicas, en este caso se analizó su comportamiento espacial. Se elaboraron los mapas de anomalías de Cu, se consideró únicamente los valores positivos que están en color rojo-naranja, para poder diferenciar las zonas anómalas más favorables al igual que [6], quien con este método identificó mejor las anomalías. De la figura 15, se pudo identificar que el Cobre tiene una fuerte concentración en la parte en casi todo el territorio de estudio, mostrando así grandes expectativas para la localización de blancos exploratorios. A continuación, se muestran los mapas anómalos:

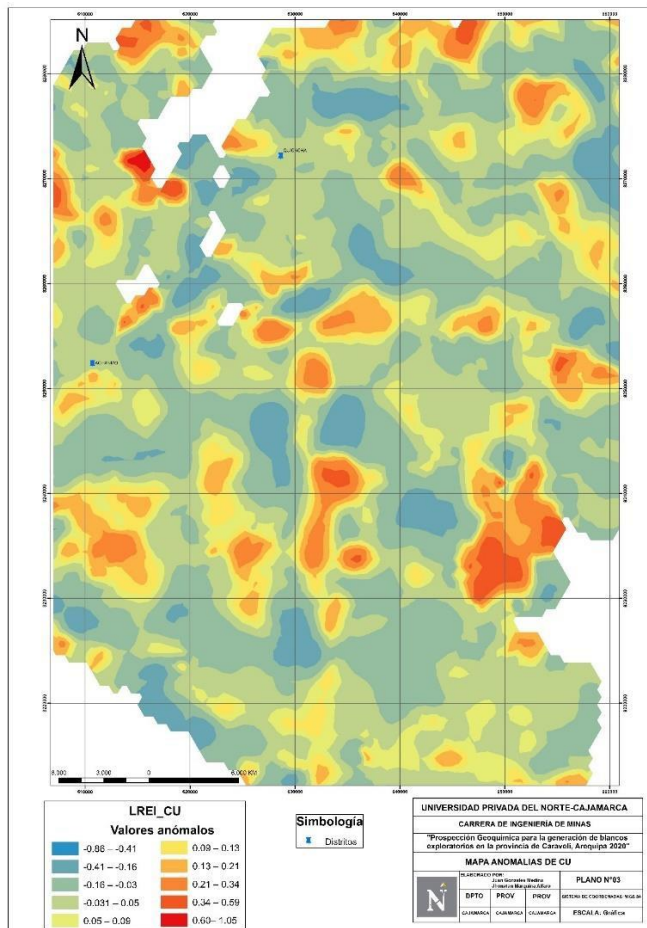


Figura 15. Anomalías de Ag mediante el LREI y Kernel.

Para complementar el mapa de anomalías geoquímicas, se realizó un mapa en base el Zonation RGB, que consiste en utilizar elementos como el Sb, As, Hg que indican hidrotermalismo en la zona, combinando colores RGB, donde el Sb será el R, el As G, y el Hg el B, y los colores celeste, magenta, amarillo son las zonas con mayor interés. En el Mapa Multielemental (Figura 16), se visualizó que en la parte norte, existe la presencia de colores magenta a claro mostrando una tendencia marcada entre estos elementos (As, Sb, Hg), dándonos a entender que en esas partes hubo actividad hidrotermal y hay cierta correlación entre esos tres elementos.

En el mapa se sobreimpuso las anomalías del cobre para notar la relación con los elementos Sb-As-Hg.

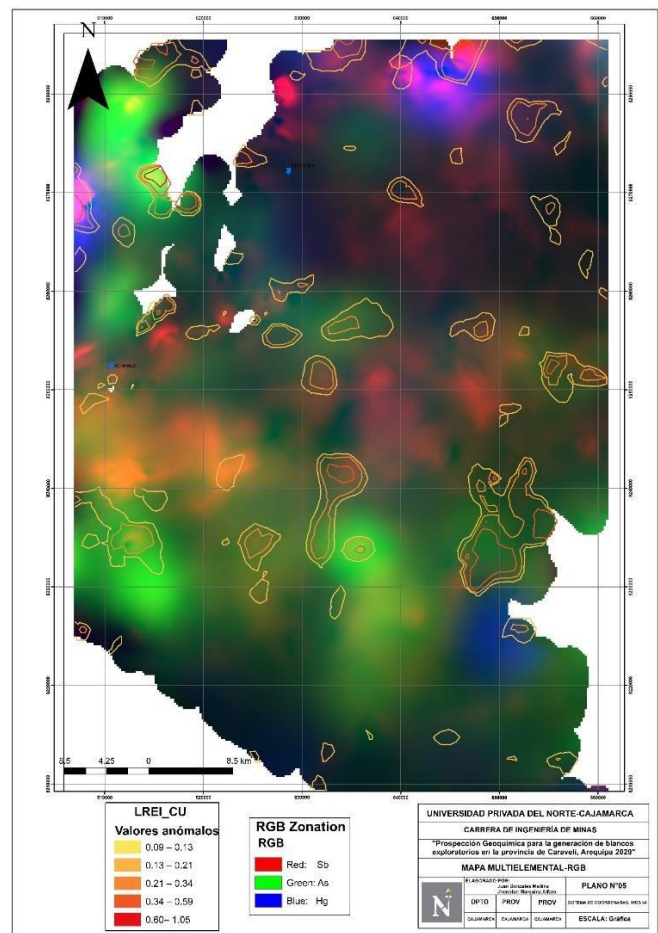


Figura 16. Mapa multielemental usando RGB.

La combinación de los mapas de anomalías geoquímicas, el mapa multielemental Zonation RGB, el mapa geológico y metalogénico, permitió reconocer espacialmente la asociación de los diferentes elementos de interés en el tiempo y espacio, y todo ello facilitó la generación de blancos exploratorio(targets) de la zona. Como resultado, se tuvo un mapa de blancos exploratorios (ver figura 17) se identificó 18 blancos exploratorios, que muestran buenas anomalías de Ag-Sb-Bi-Hg-Au y Cu-Mn-Zn-Co-P espacialmente, confirmando así las asociaciones que un inicio se tuvieron cuando se ejecutó el análisis univariado, bivariado, trivariado y multivariado, pero en esta ocasión se confirmó espacialmente su correlación, corroborando a [7] quienes también utilizaron el análisis ICP-MS. Y como [8] quienes detectaron 4 blancos exploratorios en Ancash, utilizando una metodología similar.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los cuatro blancos exploratorios ubicados, donde se toma en cuenta los elementos asociados, tipo de depósito asociado, formaciones geológicas y cerros donde está ubicado, y una ubicación central que referencia al target.



*Tabla 3.*  
*Ubicación de blancos exploratorios.*

Número	Blanco	Tipo de depósito	Metalogenia Franjas	Ubicación (UTM-Zona 18S)
1	Cu-Mn-Zn-Co-P	IOCG/VMS	V	E: 632156 N: 8205928
2	Cu-Mn-Zn-Co-P	IOCG/VMS	V	E: 609485 N: 8218386
3	Cu-Mn-Zn-Co-P	IOCG/VMS	V	E: 612335 N: 8228603
4	Cu-Mn-Zn-Co-P	IOCG/VMS	V	E: 625808 N: 8226655
5	Cu-Mn-Zn-Co-P	Pórfido Cu-Epitermal	IX-V	E: 634359 N: 8229890
6	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 650941 N: 8230629
7	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 609874 N: 8243604
8	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 631638 N: 8250983
9	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 617128 N: 8250438
10	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 653014 N: 8247569
11	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 608319 N: 8261231
12	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 657418 N: 8260159
13	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 643297 N: 8266121
14	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	X	E: 655086 N: 8271259
15	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	X	E: 643557 N: 8278596
16	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	X	E: 632804 N: 8277903
17	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 617128 N: 8277332
18	Ag-Sb-Bi-Hg-Au	Pórfido Cu-Epitermal	IX	E: 616351 N: 8263019

Para el modelado de los blancos se tomó en cuenta: las estructuras geológicas ya que la región de Arequipa tiene como principal metalotecto a las fallas Ica-Islay-Ilo, las anomalías positivas del cobre, los colores magenta del mapa multielementales y el mapa metalogénico. Se realizó el trazado de los blancos respetando los límites de la metalogenia, ya que en la parte sur predomina la franja V que está relacionada a los IOCG, pero también en esa parte podemos tener depósitos VMS debido a la buena asociación que se notó en los análisis univariado, bivariado, trivariado y multivariado.

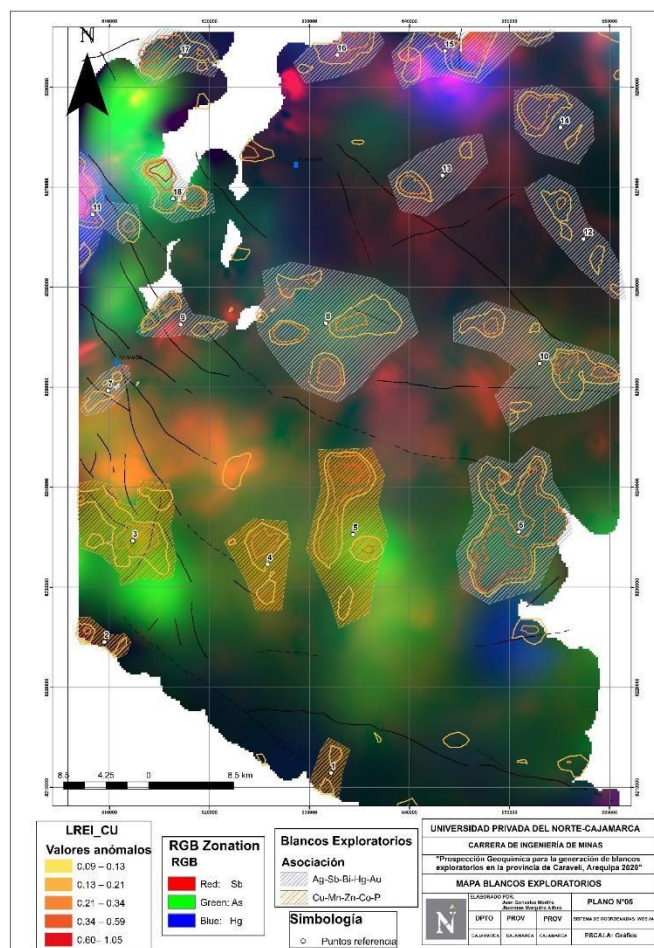


Figura 17. Mapas de blancos exploratorios.

Se confirmó que la zona de estudio tiene potencial para albergar depósitos metálicos IOCG, VMS, Pórfidos de Cu, Epitermales y de Tungsteno que si bien no hay relación con la metalogenia se vuelve interesante su comercialización, asimismo, esas firmas se relacionan claramente con la metalogenia local corroborando de esa manera la confiabilidad del tratamiento estadístico que se empleó.

Los 18 blancos exploratorio deben ser muestreados mediante canales/trincheras para delimitar mejor los targets, con la finalidad de que se pueda hacer métodos directos como la perforación diamantina y se obtenga bastantes probabilidades de cortar algún cuerpo mineralizado.

#### IV. CONCLUSIONES

La prospección geoquímica permitió realizar un buen cartografiado geoquímico y ubicar 18 blancos exploratorios de asociaciones Ag-Sb-Bi-Hg-Au y Cu-Mn-Zn-Co-P en el distrito de Caravelí.

El análisis univariado, bivariado, trivariado y multivariado para una data normalizada, identificaron la correlación de elementos como P-Cu-Mn-Zn-Co, Mo-W-U, y Ag-Sb-Bi-Hg-Au asociadas a firmas de yacimientos del tipo VMS e IOCG,

yacimientos de Tungsteno, yacimientos epitermales y del tipo pórfido.

Para el elemento Cu se elaboró mapas de anomalías geoquímicas con el valor del LREI, y se localizó concentraciones fuertes en casi todo el territorio de estudio, y se complementó con un mapa multielemental (RGB Zonation) del As, Sb y Hg conociendo las zonas calientes (actividad hidrotermal) en la zona Norte, definiendo así estos dos tipos de mapas las 18 zonas con mayor interés exploratorio.

Además, la combinación de los mapas de anomalías geoquímicas y multielemental, complementada con los mapas geológicos-metalogénicos y respetando las fallas regionales, mejoró la precisión para la ubicación, delimitación y construcción de los blancos exploratorios.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Privada del Norte (UPN).

#### REFERENCIAS

- [1] Gandhi , S. (2017). *Mineral Resources*. Springer Link.
- [2] Caolen Kourt, B. (1990). *Ore-reserves by Classical Methods*. Resources and Reserves Symposium.
- [3] Athanas Simon , M., Xiaohui , L., Dalaly Peter, K., & Fen , Y. (2020). *Applied Geochemistry Advances in Mineral Exploration Techniques*. Elsevier.
- [4] Mestas Huaracha, R. (2019). *Geología y Prospección Geoquímica del Prospecto Rodrigo Alejandro, Provincia del Santa Departamento de Ancash*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- [5] Jackson , J., & Bates , R. (1984). *Dictionary of Geological Terms*. Anchor .
- [6] Y. Zhang, Z. Yong-Zhang, W. Lin-Feng, W. Zheng-Hai, H. Jun-Guo, A. Yan-Fei, G. Le. “Mineralization-Related Geochemical Anomalies Derived From Stream Sediment Geochemical Data Using Multifractal Analysis In Pangxidong Area Of Qin Zhou-Hangzhou Tectonic Joint Belt, Guangdong Province, China”. Springer Link, 20, 184-192. <https://doi.org/10.1007/S11771-013-1475-1>. 2013.
- [7] A. Almasi, A. Jafarira, A. Peyman, & M. Rahimi. Prospecting of gold mineralization in Saez area (NW Iran) using geochemical, geophysical and geological studies based. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(8), 5935-5947. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1625-2>. 2014.
- [8] Macedo, L., & Alva, D. (2021). *Geochemical prospecting and location of exploratory targets, colla chica, san marcos district, ancash, 2020*. Paper presented at the *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2021-July* doi:10.18687/LACCEI2021.1.1.66 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com)