

CTSCAFE PARA CIUDADANOS.....

<http://www.ctscafe.pe>

ISSN 2521-8093



Distribución geoquímica de elementos traza y su relación con los yacimientos de au – cu del mioceno, en la cuenca del río Condebamba

Sr. Oliberth Marcelino Pascual Godoy
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: oliberthpascual@gmail.com

Resumen: La zona de estudio se ubica en la cordillera Occidental al norte del territorio peruano, comprende parte de las regiones Cajamarca y La Libertad, hidrográficamente en la cuenca del río Condebamba, en un área de 1896 Km². La geología regional se conforma principalmente por unidades sedimentarias cretáceas con dirección andina. La metalogenia conocida tiene como características comunes: la edad Miocena de mineralización, tipo de yacimiento mineral asociado a litologías de composición siliciclástica del Jurásico superior-Cretáceo y también a rocas volcánicas del Paleógeno. En el trabajo de campo se recolectaron 185 muestras de sedimento que fueron analizadas por el método ICP-MS y ensayo al fuego. Solo se trabajó con las muestras de los sedimentarios siliciclásticos del Cretáceo. En el análisis estadístico univariante se escogieron 15 elementos que presentan mejores correlaciones con el oro y cobre, encontrándose 41 áreas anómalas relacionadas principalmente a la mineralización aurífera. Para el análisis multivariante se han considerado 31 elementos con las mejores correlaciones, analizados mediante los métodos de componentes principales y conglomerados jerárquicos, que evidencian dos asociaciones principales, la primera con un carácter geogénico conformado por las tierras raras principalmente elementos lantánidos y la segunda un carácter metálico mediante la asociación de metales preciosos y base.

Palabras claves: Geoquímica/ Yacimientos de Au-Cu/ Mioceno/ Mineralización/ Tierras raras.

Abstract: The study area is located in the western cordillera north of the Peruvian territory, comprises part of the regions Cajamarca and La Libertad, hydrographically in the basin of the Condebamba river, in an area of 1896 km². The regional geology is formed mainly by Cretaceous sedimentary units with Andean direction. The known mineralogy has common characteristics: the Miocene age of mineralization, type of mineral deposit associated with lithologies of siliciclastic composition of the upper-Cretaceous Jurassic and also to volcanic rocks of the Paleogene. In the field work, 185 sediment samples were collected and analyzed by the ICP-MS method and fire test. Only the sedimentary siliciclastic samples of the Cretaceous were used. In the univariate statistical analysis 15 elements were chosen that present better correlations with the gold and copper, being found 41 anomalous areas related mainly to the gold mineralization. For the multivariate analysis we have considered 31 elements with the best correlations, analyzed by the principal components and hierarchical cluster methods, evidenced two main associations, the first with a geogenic character conformed by rare earth mainly lanthanide elements and the second a metallic character through the association of precious metals and base.

Keywords: Geochemistry / Au-Cu / Miocene / Mineralisation / Rare Earths.

Résumé: La zone d'étude est située dans la Cordillère occidentale au nord du territoire péruvien, comprend une partie des régions Cajamarca et La Libertad, hydrographiquement dans le bassin de la rivière Condebamba, dans une zone de 1896 km². La géologie régionale est constituée principalement d'unités sédimentaires crétacées à direction andine. La métallogénie connue a des caractéristiques communes: l'âge de minéralisation miocène, le type de gisement minéral associé à des lithologies de composition silicoclastique des roches volcaniques du Jurassique supérieur-Crétacé et du Paléogène. Dans le travail de terrain, 185 échantillons de sédiments ont été collectés et analysés par la méthode ICP-MS et le test pyrognostique. Nous n'avons travaillé qu'avec les échantillons du sédiment siliciclastique crétacé. Dans l'analyse statistique univariée, 15 éléments ont été sélectionnés qui montrent de meilleures corrélations avec l'or et le cuivre, avec 41 zones anormales liées principalement à la minéralisation aurifère. Pour l'analyse multivariée nous avons considéré 31 éléments avec les meilleures corrélations, analysés par les méthodes des composantes principales et des conglomerats hiérarchiques, il prouve deux associations principales, la première avec un caractère géographique constitué d'éléments des terres rares principalement lanthanides et la seconde un caractère métallique grâce à l'association de métaux précieux et de base.

Mots-clés: Géochimie / Au-Cu / Gisements miocènes / Minéralisation / Terres rares.

1. Introducción

La prospección geoquímica constituye una excelente herramienta para la exploración de depósitos minerales, donde el objetivo es hallar áreas geoquímicamente anómalas de posible interés económico. Está basada en el análisis del contenido de trazas de uno o un grupo de elementos formados naturalmente (rocas, sedimentos, suelos).

Los datos del muestreo de sedimentos nos permitirán caracterizar la dispersión geoquímica secundaria de elementos trazas emplazados en las rocas del Jurásico superior, Cretáceo y Paleógeno-Neógeno que afloran en la zona. El resultado del análisis nos proporcionará indicadores para la exploración minera en ambientes geológicos similares.

2. Marco Teórico

La dispersión geoquímica secundaria se define como la capacidad de migración de un elemento desde su origen hacia otro ambiente a través de diferentes procesos fisicoquímicos y mecánicos. También se define como el movimiento fisicoquímico que sufren los elementos al pasar de un ambiente geoquímico a otro. La dispersión por su origen puede ser primaria o secundaria, de acuerdo al ambiente geoquímico, en el cual ellos tomaron lugar. La dispersión geoquímica secundaria se produce por baja presión y temperatura. Cuando la roca se altera, los elementos están sujetos a una erosión y dispersión que lo transportan del sitio de origen.

Normalmente las anomalías geoquímicas se identifican estableciendo el umbral que marca límites superiores e inferiores en una población de datos. Los mismos que al superar el valor de fondo son considerados anomalías.

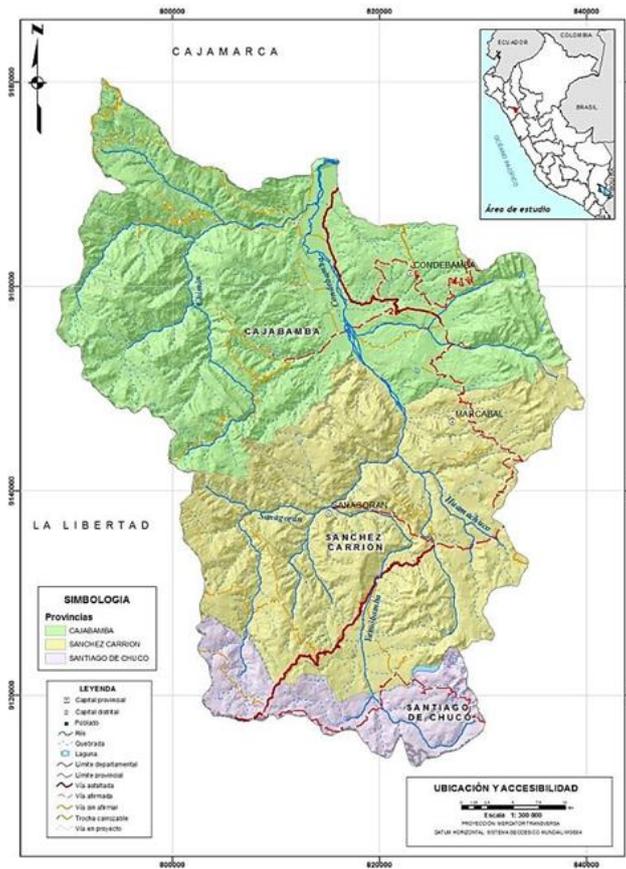
Los métodos estadísticos (univariantes y multivariantes) son usualmente aplicados para interpretar conjuntos de datos geoquímicos y anomalías, que rara vez representan una sola población, son espacialmente dependientes y cada muestra representa un rango de diferentes procesos que influyen en la abundancia de ciertos elementos medidos.

3. Material y métodos

3.1. Ubicación de la zona de estudio

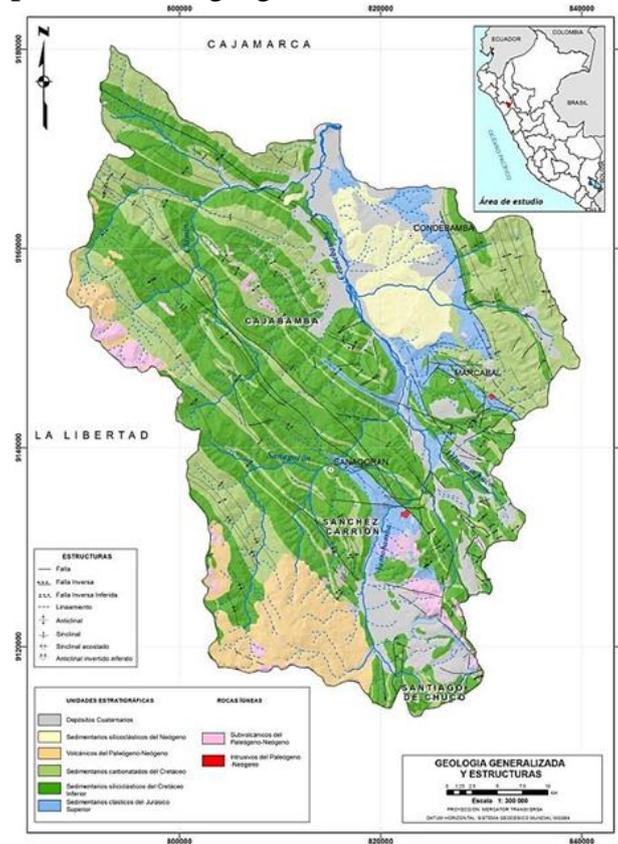
La zona de estudio se ubica en el norte del territorio peruano y comprende parte de las regiones Cajamarca y La Libertad, en las cuencas de drenaje correspondientes a la vertiente del Atlántico. Comprende aproximadamente la mitad oriental de cuadrángulo de Cajabamba (16-g) y pequeñas áreas de los cuadrángulos de Pataz (16-h) y San Marcos (15-g). Geográficamente limitada por los paralelos 8°00' a 7°25' latitud Sur y los meridianos 77°55' a 78°20' longitud Oeste; en un área de alrededor de 1896 Km².

Mapa N°1: Ubicación del área de investigación.



Fuente: Elaboración propia

Mapa N° 2: Geología generalizada del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

3.2. Geomorfología

Como resultado de la continua acción degradacional resultado de los agentes erosivos, en la zona de estudio se distinguen tres unidades geomorfológicas: Altiplanicies disectadas, vertientes montañosas y fondo de valle; éstas se diferencian tanto por sus elevaciones, forma y características geológicas.

3.3. Ambientes Litoestratigráficos

La distribución de los ambientes litoestratigráficos muestra una clara diferenciación por un lado de unidades sedimentarias cretáceas con dirección andina, constituyendo la Cordillera Occidental. En las partes altas de la Cordillera Occidental afloran rocas volcánicas Cretáceo-paleógenas. En este contexto se tienen los ambientes:

- Sedimentarios siliciclásticos del Neógeno (SSN).
- Volcánicos del Paleógeno-Neógeno (VP).
- Sedimentarios carbonatados del Cretáceo (SCC).
- Sedimentarios siliciclásticos del Cretáceo (SSC).
- Sedimentarios siliciclásticos del Jurásico superior (SSJ).|

Sólo se trabajó con la población SSC, debido a la mayor cantidad de datos correspondientes a esta población, producto de los datos de campo.

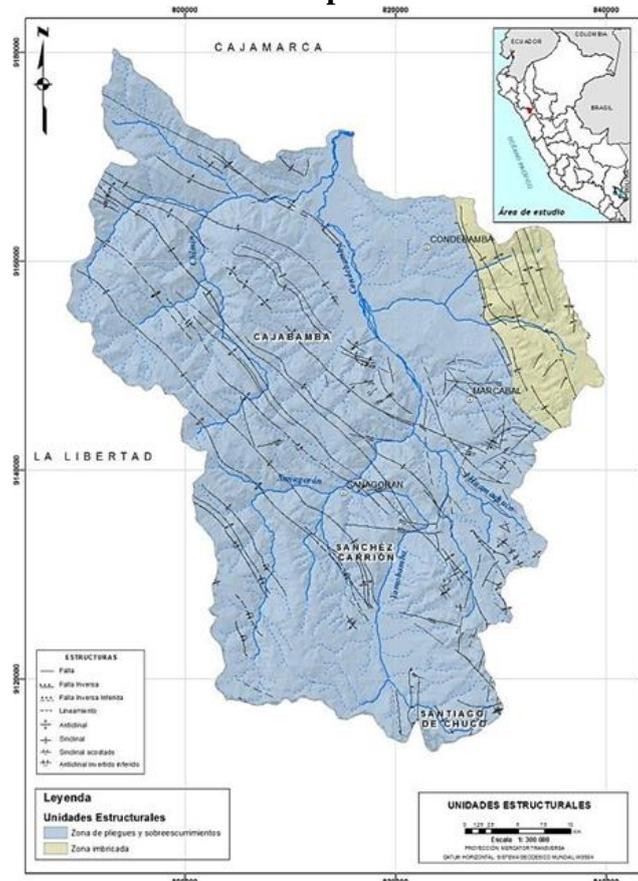
3.4. Geología Estructural

Se define en el área de estudio dos zonas estructurales que siguen una orientación andina, aunque los límites entre ellas no siempre son nítidos, pero es evidente que constituyen fajas alargadas y angostas con patrones tectónicos bastante distinguidos. Éstas son las siguientes:

- Zona de pliegues y sobreescurrecimientos.
- Zona Imbricada

52

Mapa 3



Fuente: Elaboración propia

3.5. Metalogenia Regional

En la zona de investigación se puede reconocer principalmente dos franjas metalogenéticas que tienen como características comunes a la edad de mineralización (edades Miocénicas), y son de tipo epitermal, pórfido o en algunos casos un sistema mixto (Pórfido-Epitermal) asociados mayormente a las Formaciones de composición siliciclástica del Jurásico superior-Cretáceo (Chicama, Chimú, Carhuaz, etc.) y también a rocas volcánicas del Paleógeno (Volcánico Calipuy); donde la mineralización económica fue conducida por rocas intrusivas de menor extensión en el Mioceno, constituyendo así los depósitos minerales que según su tipo y mineralización económica se agrupan en las siguientes franjas metalogenéticas:

- Franja de pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusiones del Mioceno.
- Franja de Epitermales de Au-Ag del Mioceno hospedados en rocas sedimentarias del Cretáceo.
- Epitermales de Au-Ag hospedados en rocas volcánicas del Mioceno.

A continuación se presenta un tabulado de los principales yacimientos minerales presentes:

Cuadro N°1

N°	YACIMIENTO	ESTADO	SUSTANCIA	LONGITUD	LATITUD
1	Cochapampa	PROSPECTO	Au	-78.187	-7.690
2	El Toro	OPERACIÓN	Au	-78.008	-7.817
3	San José	PROSPECTO	Cu-Mo (Au)	-78.216	-7.607
4	Algamarca	OPERACIÓN	Ag-Pb-Zn-Cu (Au)	-78.242	-7.600
5	Tres Cerros	OCURRENCIA	ARGILICA	-78.246	-7.853
6	La Capilla	OCURRENCIA	Au-Ag	-78.194	-7.952
7	Colpa	PROSPECTO	Au	-78.163	-7.653
8	La Arena	OPERACIÓN	Cu-Mo (Au)	-78.134	-7.897
9	María Angola	PROSPECTO	Au-Ag	-78.061	-7.827
10	Florida	OPERACIÓN	Au-Ag	-78.062	-7.937
11	Agua Blanca	PROSPECTO	Au	-78.093	-7.881
12	Lagunas Norte	OPERACIÓN	Au- Ag-Cu	-78.236	-7.947
13	Shahuindo	PROSPECTO	Au	-78.214	-7.605
14	La Virgen	OPERACIÓN	Au-Ag	-78.079	-7.973
15	Sanagorán	PROSPECTO	Ag-Pb-Au	-78.000	-7.733
16	Patricia	PROSPECTO	W	-78.050	-7.717
17	Cambay	OCURRENCIA	Au	-78.036	-7.601
18	David	OCURRENCIA	Au-Ag-Cu	-78.312	-7.543

Fuente: Elaboración propia

3.6. Procedimientos y técnicas de recolección de datos

Los métodos y técnicas aplicadas a la investigación incluyen la compilación bibliográfica, tecnología disponible, aspectos económicos, así como la situación, localización y tiempo, todos los cuales influyen en la calidad de la investigación.

- **Etapa preliminar de gabinete**

Se comienza consultando y verificando la existencia de la información cartográfica, bibliográfica, fotos aéreas, imágenes satelitales y otras bases de datos. Luego de la recopilación, se procede a organizar, sistematizar y sintetizar la información. Usando cartas topográficas de la zona de estudio, se preparan los mapas de diseño de muestreo, considerando la densidad de muestreo de 1/10 Km², para lo cual se debe delimitar previamente las cuencas y micro-cuencas.

- **Etapa de campo**

Una vez en el campo, de acuerdo al instructivo “Muestreo de Sedimentos”, el cual detalla los pasos a seguir para realizar un óptimo trabajo y minimizar errores. Estos pasos son los siguientes:

Identificar el punto de muestreo. Ubicarse en el lugar, tomando como referencia las coordenadas por el equipo de posicionamiento (GPS). Anotar el código de muestra, las coordenadas UTM y geográficas así como los datos relativos a la ubicación dentro de la ficha para muestreo de sedimentos.

Tomar nota de los parámetros físico químicos del drenaje (si no existe drenaje superficial se omite este paso) como: Temperatura, TDS, conductividad y pH.

Recolectar la muestra compuesta de sedimento, en el lugar predeterminado, considerando al menos tres ubicaciones (en un tramo de 100 m) seleccionadas preferentemente en la parte central del cauce, donde no se evidencie contaminación de una u otra margen por parte del material aluvial, coluvial o eólico.

A continuación se detalla cómo obtener muestras de sedimento:

En cada lugar de muestreo, retirar la capa superior de sedimento (30 mm) usando los instrumentos de polietileno o madera, puesto que esta cobertura puede tener altas concentraciones de óxidos de Fe y Mn, así como, contaminaciones superficiales.

El operador deberá utilizar guantes de goma resistentes durante el proceso de muestreo para proteger sus manos y prevenir cualquier tipo de contaminación. Además no deberá portar objeto alguno que pueda contaminar el sedimento.

Tamizar el sedimento hasta obtener 3.5kg de la muestra húmeda o 3.0kg de la muestra seca.

Codificar y sellar la bolsa.

Completar el llenado de la ficha de muestreo, utilizando para ello abreviaturas establecidas para rocas y minerales.

En esta etapa se obtuvo un total de 185 muestras de sedimento activo de quebrada, las que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio por el método ICP-MS y ensayo al fuego.



Foto N°1: Tamizado de sedimento.

- **Etapa de gabinete**

La información obtenida de los análisis fue procesada utilizando el software estadístico SPSS v. 19.0, el cual sirvió para calcular los estadísticos descriptivos (Gráficos y parámetros geoquímicos), el Coeficiente de Correlación (R) y para la determinación de las asociaciones geoquímicas a través del Análisis de Componentes Principales, también para la creación de los gráficos como histogramas y *boxplot*.

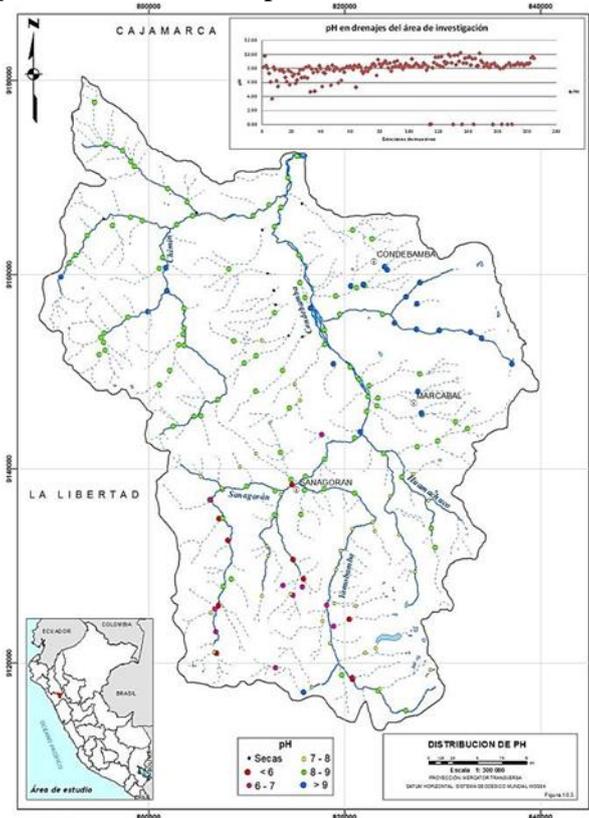
4. Resultados

4.1. Parámetros estadísticos

Durante el trabajo de campo se realizaron lecturas de los parámetros fisicoquímicos correspondientes al drenaje de cada estación de muestreo de sedimentos, para ello se utilizó el equipo multiparamétrico portátil HANNA HI-98129. Parámetros como pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos y la temperatura. Tales parámetros, al ser analizados y comparados en todas las lecturas realizadas en el área de investigación, se observa que el pH muestra un comportamiento intermitente por efecto de la presencia de mineralización, tal como sucede con Lagunas Norte, La Arena u otros depósitos u ocurrencias

PH: El pH de las aguas en la parte norte es generalmente de leve alcalinidad a básico, sobre todo en la zona nororiental influenciada por afloramientos de formaciones sedimentarias carbonatadas del Cretáceo. En contraste a lo antes mencionado, el pH es de naturaleza ácida en el extremo suroccidental, en la quebrada Chichircucho; aguas abajo del proyecto La Arena y en la quebrada Tambo Chiquito (La Florida), todas al SO de Huamachuco. Asimismo, se halla el yacimiento Lagunas Norte, donde se aprecia que los valores más ácidos corresponden al extremo sur occidental. La lectura de pH más ácido (3.68) se registró en el drenaje de la quebrada Paloquián en la localidad de Tres Ríos, área cercana al yacimiento La Virgen y con un lecho de quebrada donde predomina un ambiente oxidante

Mapa N°4: Lecturas de pH en la cuenca Condebamba.



Fuente: Elaboración propia

56

4.2. Correlaciones geoquímicas

La correlación de Pearson mide el grado de covariación o grado de relación lineal entre dos variables cuantitativas, de esta manera nos ayudará en el tratamiento estadístico de los datos para prospección geoquímica, determinando un coeficiente de correlación; para ello las variables deben tener una distribución normal o logarítmica, por lo que es de vital importancia que ambas variables presenten el mismo tipo de distribución para realizar un buen tratamiento estadístico.

Para evaluar las correlaciones estadísticas existentes entre variables se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson a escala logarítmica haciendo uso del programa SPSS v. 18.0., la escala logarítmica permite que los coeficientes de Pearson muestren un mejor contraste estadístico, evidenciando mejor los grados de correspondencia entre las variables. Además se debe tener en consideración que la mayor parte de las distribuciones totales presentan un comportamiento lognormal, siendo esta distribución la que más se asemeja al comportamiento normal de los elementos en la corteza terrestre.

Se ha considerado como correlación “muy fuerte” a los valores superiores a 0,8, “fuerte” a los valores entre 0,6 - 0,8, “moderada” a los valores de 0,4 – 0,6 y “débil” para aquellos entre 0,2 y 0,4.

0.2 a 0.4	0.4 a 0.6	0.6 a 0.8	0.8 a 1
DÉBIL	MODERADA	FUERTE	MUY FUERTE

El siguiente cuadro corresponde a la correlación de Pearson para la población de sedimentarios siliciclásticos del Cretáceo, se observan las siguientes correlaciones:

Cuadro N°1

	Ln_Au	Ln_Ag	Ln_As	Ln_Bi	Ln_Cd	Ln_Cr	Ln_Cu	Ln_Hg	Ln_Mo	Ln_Pb	Ln_Sb	Ln_Sn	Ln_Te	Ln_W	Ln_Zn
Ln_Au	1	0.317	0.496	0.307	0.192	-0.112	0.155	0.403	0.219	0.226	0.651	0.151	0.125	0.416	0.129
Ln_Ag	0.317	1	0.571	0.486	0.360	0.081	0.411	0.207	0.178	0.413	0.468	0.282	0.369	0.506	0.289
Ln_As	0.496	0.571	1	0.444	0.486	0.006	0.558	0.213	0.284	0.644	0.657	0.366	0.276	0.607	0.497
Ln_Bi	0.307	0.486	0.444	1	0.360	0.212	0.393	0.058	0.174	0.356	0.473	0.429	0.713	0.657	0.246
Ln_Cd	0.192	0.360	0.486	0.360	1	-0.130	0.483	0.119	0.162	0.489	0.273	0.383	0.206	0.453	0.763
Ln_Cr	0.112	0.081	0.006	0.212	-0.130	1	0.022	-0.102	0.502	-0.053	0.024	0.134	0.158	0.192	-0.229
Ln_Cu	0.155	0.411	0.558	0.393	0.483	0.022	1	0.064	0.196	0.466	0.246	0.419	0.238	0.406	0.413
Ln_Hg	0.403	0.207	0.213	0.058	0.119	-0.102	0.064	1	0.095	0.115	0.367	0.219	0.088	0.169	0.035
Ln_Mo	0.219	0.178	0.284	0.174	0.162	0.502	0.196	0.095	1	0.088	0.293	0.287	0.066	0.277	0.066
Ln_Pb	0.226	0.413	0.644	0.356	0.489	-0.053	0.466	0.115	0.088	1	0.280	0.361	0.264	0.466	0.609
Ln_Sb	0.651	0.468	0.657	0.473	0.273	0.024	0.246	0.367	0.293	0.280	1	0.250	0.207	0.566	0.124
Ln_Sn	0.151	0.282	0.366	0.429	0.383	0.134	0.419	0.219	0.287	0.361	0.250	1	0.360	0.323	0.389
Ln_Te	0.125	0.369	0.276	0.713	0.206	0.158	0.238	0.088	0.066	0.264	0.207	0.360	1	0.527	0.131
Ln_W	0.416	0.506	0.607	0.657	0.453	0.192	0.406	0.169	0.277	0.466	0.566	0.323	0.527	1	0.298
Ln_Zn	0.129	0.289	0.497	0.246	0.763	-0.229	0.413	0.035	0.066	0.609	0.124	0.389	0.131	0.298	1

Fuente: Elaboración propia

4.3. Parámetros estadísticos

La distribución de las concentraciones de los elementos estudiados muestra un comportamiento lognormal, donde generalmente la media, mediana y la moda presentan valores similares entre sí.

Los diagramas de cajas *box plot*, histogramas de frecuencias absolutas y las curvas de distribución; nos muestran el carácter en la distribución de las concentraciones del tipo lognormal para la mayoría de los elementos pathfinders de oro y cobre en la población de los sedimentarios siliciclásticos del Cretáceo (SSC); las demás poblaciones no fueron tratadas ya que no tienen la cantidad mínima de datos como para hallar por lo menos una anomalía.

4.4. Parámetros Geoquímicos y Distribución Geoquímica

Una vez comprobada la normalidad de los elementos estudiados, mediante la estadística descriptiva se calculó la media geométrica y la desviación estándar para poder determinar los parámetros geoquímicos como el *background* que es igual a la media geométrica del conjunto de datos procesados. El cálculo del *threshold*, se obtiene sumando el valor del *background* más dos veces la desviación estándar.

Los valores que superen el *threshold* o umbral geoquímico corresponden a las anomalías geoquímicas existentes; además se deben incorporar los valores atípicos extremos. A continuación analizaremos los ejemplos para el oro y cobre.

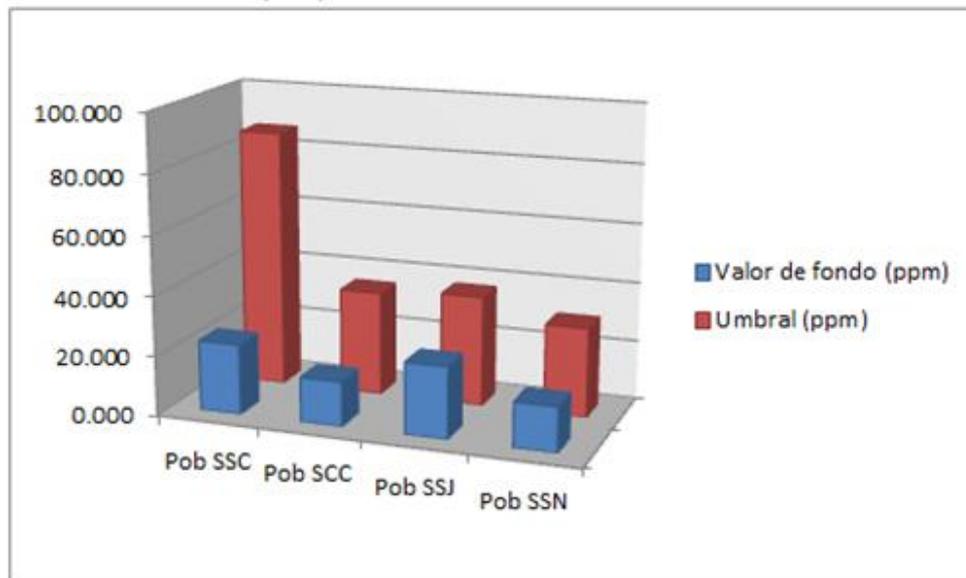
Distribución del Cobre

La distribución es de tipo lognormal para la población SSC, mientras que para las demás poblaciones la distribución es de tipo asimétrico. Los valores de fondo muestran concentraciones variables, siendo las poblaciones SSC y SSJ con 23.5 ppm y 24 ppm respectivamente, conformadas por rocas siliciclásticas y de mayor antigüedad respecto a las otras dos poblaciones. Los valores para el umbral geoquímico muestran rangos considerables entre sí, siendo la población SSC la que muestra el más elevado umbral geoquímico (86.7 ppm) que ha resultado en diez valores anómalos para esta población, uno de ellos como el caso de la estación 16g-302 reporta una concentración de 402 ppm de Cu superando a cuatro veces el umbral.

Las demás poblaciones también muestran valores anómalos en las concentraciones de cobre al comparar los parámetros geoquímicos reportados por Chira et al. (2012); se observan dos valores para la población SCC (ambos valores son iguales al valor de fondo de ésta población) y un valor cada una en cuanto a las poblaciones SSJ y SSN.

58

Grafico N°1

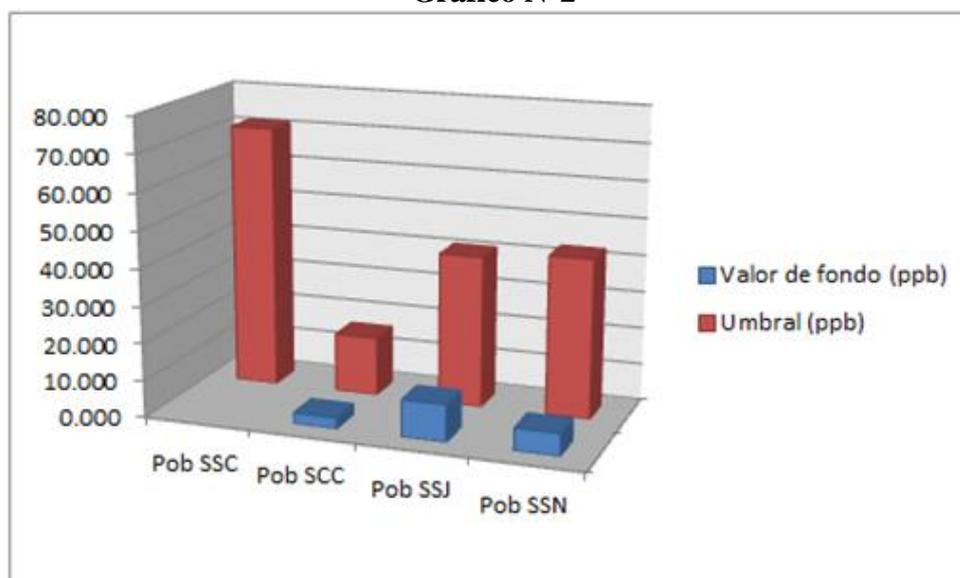


Fuente: Elaboración propia

Distribución del Oro

La distribución del oro es de tendencia asimétrica o carácter asimétrico en todas las poblaciones. En la población SSC, se obvió el cálculo del valor de fondo debido a que el comportamiento errático del elemento no posibilitó hallar un valor promedio, en relación a esto se utilizó el estadígrafo de percentil 95 para hallar el umbral geoquímico que se determinó siete valores anómalos, existen valores mayores a cuatro veces el umbral resaltan las concentraciones reportadas en las estaciones 16g-156 y 16g-317 cuyos altos erráticos son 915 ppb y 704 ppb respectivamente. En el caso de la población SCC se tiene un valor de fondo de 3 ppb y un umbral geoquímico de 16 ppb, comparando estos parámetros geoquímicos con los datos disponibles en esta población, cuatro valores superan el umbral y de ellos resalta el valor de 75 ppb reportado en la estación 16g-320. Las poblaciones restantes poseen los datos disponibles que mayormente corresponden a valores bajo el límite de detección o contenidos dentro del valor de fondo.

Gráfico N°2



Fuente: Elaboración propia

4.5. Análisis Cluster

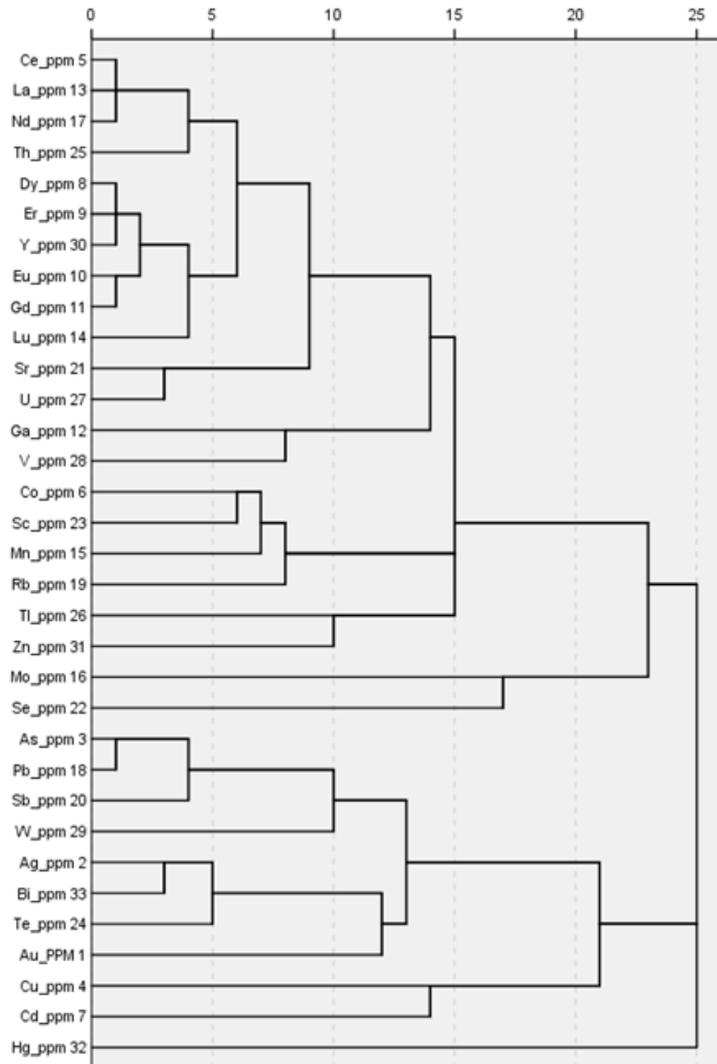
El análisis *cluster* o análisis de conglomerados es una técnica multivariante que busca agrupar elementos (variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencias entre los grupos.

Este análisis nos permite descubrir las asociaciones geoquímicas de los elementos para un determinado ambiente litoestratigráfico de tal manera que podrían ser útiles para la exploración geológica.

El dendograma es la representación gráfica que resume el proceso de agrupación en un análisis de cluster, este dendograma es el que mejor ayuda a interpretar el resultado de un análisis cluster. El software SPSS v.18 nos facilita el proceso anteriormente descrito, es así que para realizar el análisis de conglomerados se tuvieron en cuenta 33 elementos mejor correlacionados bajo un criterio litogénico y mineralógico de la zona. A partir de

los componentes principales determinados en la agrupación de muestras de sedimento, se han diferenciado seis conjuntos de variables o elementos que se muestran en la tabla. Tal como se observa la primera asociación es de naturaleza geogénica de tierras raras, básicamente lantánidos y actínidos donde destacan el Th y U. Luego tenemos otra asociación principal que consta de metales preciosos y base, destacando elementos como As y Sb.

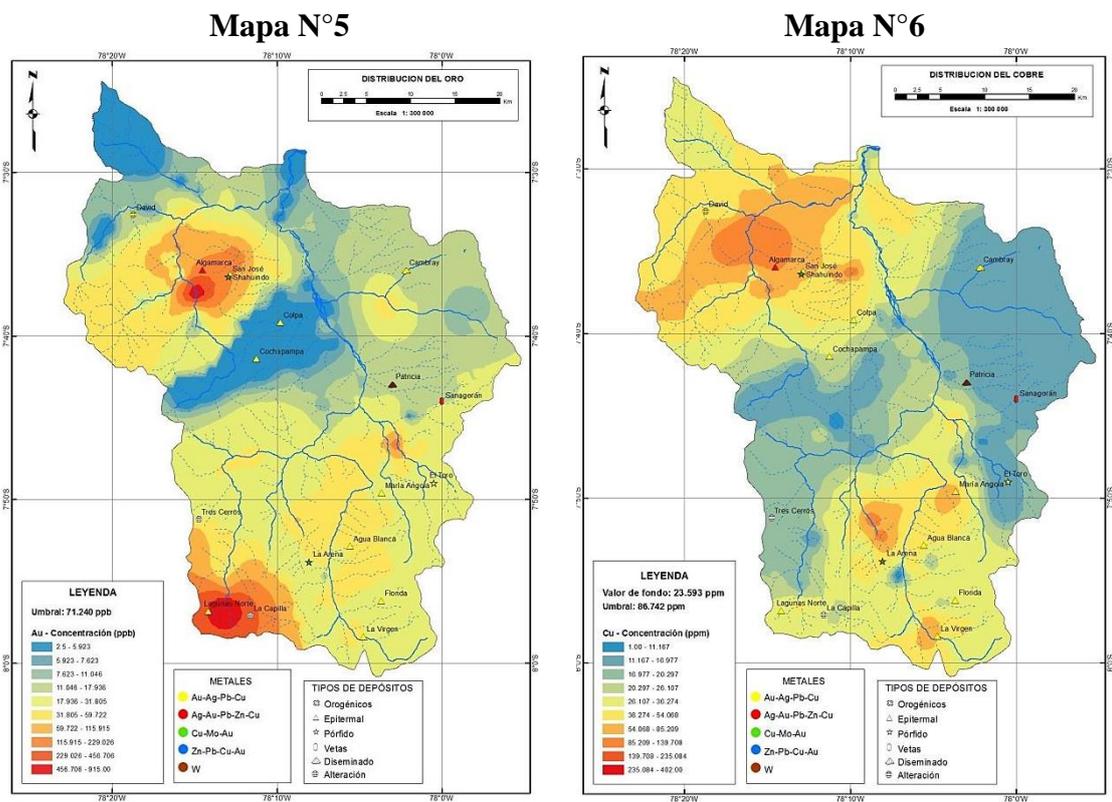
Gráfico N°3



Fuente: Elaboración propia

5. Interpretación de los resultados

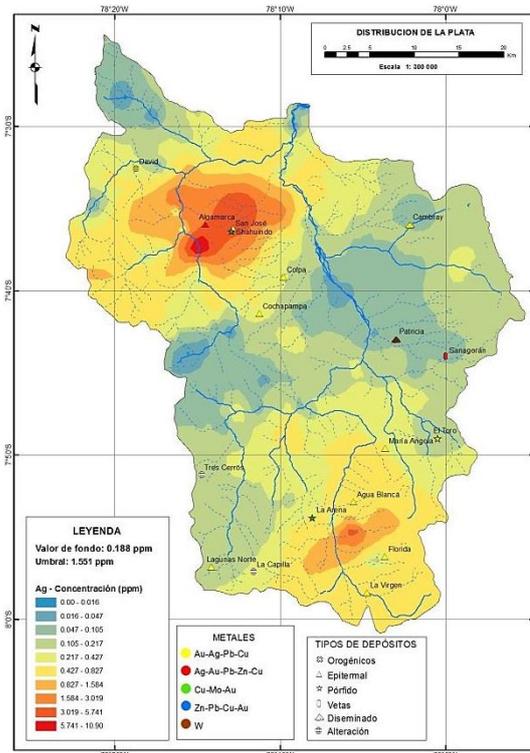
La síntesis e interpretación de los datos extraídos permite realizar la cartografía geoquímica, que aporta información sobre las relaciones geoquímica-geología, teniendo en cuenta el medio geológico y metalogenético del área y conduce a la definición de una serie de áreas anómalas prospectivas. Considerándose también las anomalías monoelementales, en especial cuando son repetitivas en muestras de una misma área. Mediante el cálculo de parámetros geoquímicos se elaboraron mapas de distribución para los elementos estudiados y cuya distribución se analiza a continuación; mostrándose al oro - cobre y sus principales elementos *pathfinders*



Fuente: Elaboración propia

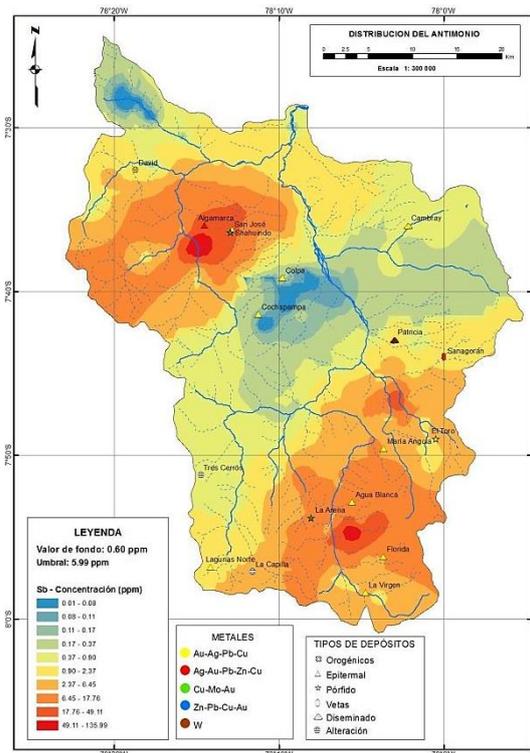
Fuente: Elaboración propia

Mapa N°7



Fuente: Elaboración propia

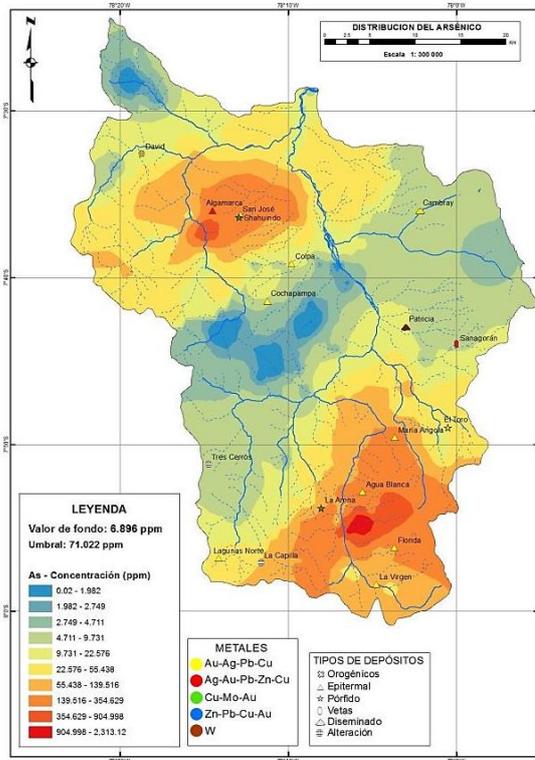
Mapa N°8



Fuente: Elaboración propia

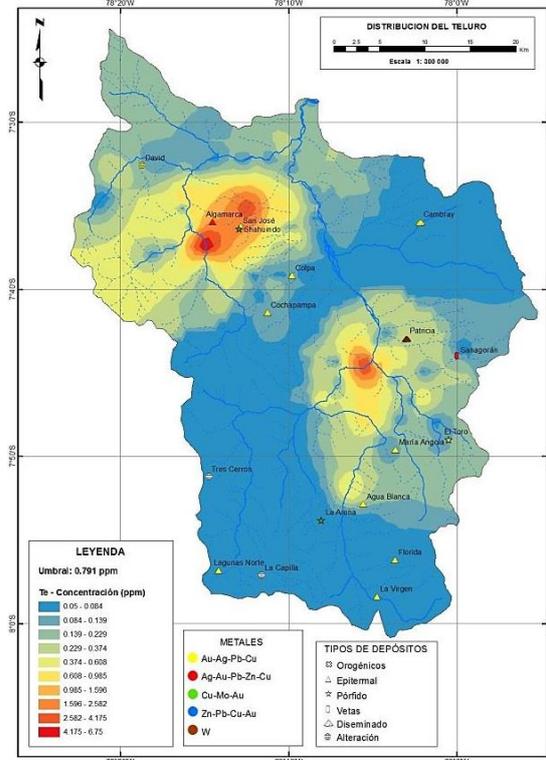
62

Mapa N°9



Fuente: Elaboración propia

Mapa N°10



Fuente: Elaboración propia

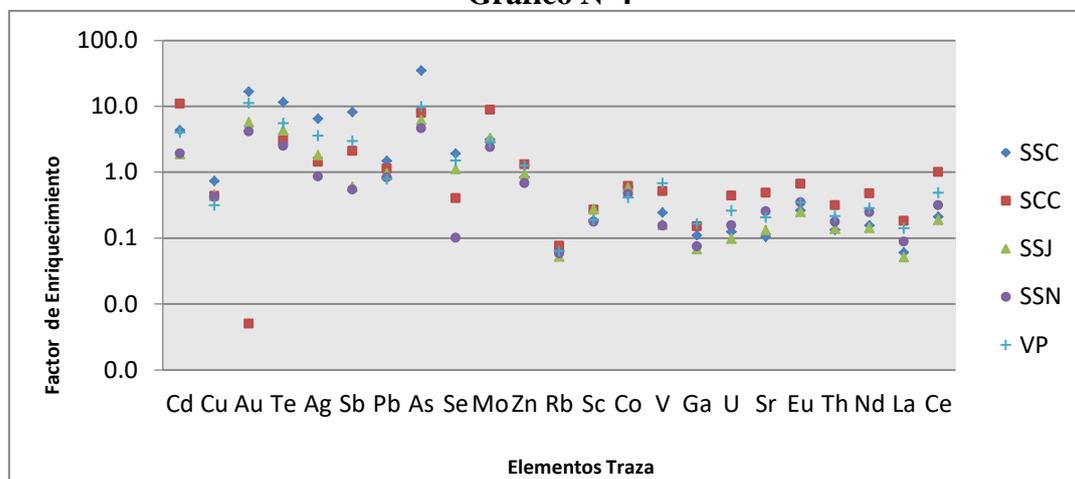
6. Discusión y Contrastación de la Hipótesis

Según la hipótesis propuesta, las características geogénicas y/o eventos de mineralización en la cuenca del río Condebamba determinan la distribución de los elementos traza que proporcionan áreas potenciales de mineralización de Au – Cu, para contrastar esta hipótesis es necesario evaluar el Factor de Enriquecimiento (F.E.) basándonos en las concentraciones promedio de los elementos en la corteza terrestre. El cálculo del F.E. se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$F.E = CM/CC$$

Dónde: CM: concentración del elemento en el sedimento y CC: concentración normal de elemento en la corteza terrestre.

Grafico N°4



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se observa que el cadmio, oro, teluro, plata, antimonio, plomo, arsénico, selenio, molibdeno y zinc muestran un elevado factor de enriquecimiento mayor a 1 en los sedimentos de la mayoría de poblaciones en especial los sedimentarios siliciclásticos del Cretáceo con lo cual se puede confirmar la importancia de estos elementos con relación a la mineralización económica de los yacimientos presentes en la zona de estudio. En esta cuenca también se aprecian elementos empobrecidos (F.E.<1); por lo tanto estos elementos no están relacionados a los yacimientos minerales de la zona, siendo mayormente de carácter litófilo, confirmando una distribución geogénica.

7. Conclusiones

- La distribución geoquímica en los sedimentos de la cuenca del río Condebamba expresa una marcada relación entre los elementos traza y la mineralogía económica propia de los yacimientos existentes en la zona.
- Se logró delimitar cinco ambientes geológicos, de los cuales solo el ambiente de “sedimentarios siliciclásticos del Cretáceo” fue estudiado debido a que es el único con el número óptimo de datos analizables.
- El tratamiento estadístico univariado, ha permitido caracterizar la distribución geoquímica. Determinando los máximos umbrales para elementos *pathfinders* de oro y cobre en el ambiente SSC.
- Según el análisis bivariado mediante el cálculo de coeficientes de correlación por el método de Pearson para SSC, se muestran correlaciones fuertes, moderadas y débiles entre los elementos traza.
- El tratamiento multivariado de datos es coincidente para los métodos de análisis de conglomerados (*cluster*) y análisis de componentes principales (ACP), mostrando dos asociaciones principales: la primera marca un carácter geogénico y la segunda muestra un carácter metálico.
- Mediante el análisis geoquímico – estadístico, se ha obtenido áreas anómalas relacionadas principalmente a la mineralización aurífera en asociación con As, Pb, Sb, W, Ag, Bi, Te, Cu, Cd y Hg

64

8. Recomendaciones

- Realizar una descripción detallada y cuidadosa de los litotipos finos (composición litológica del sedimento), pues estos constituyen la información principal para la investigación.
- Realizar análisis de laboratorio más específicos, que implique la detección de contenidos de óxidos de Fe y Mn, con el fin de conocer sus implicancias en las anomalías.
- Variar la elección de los criterios estadísticos considerando los métodos mejor aplicables en lo posible.
- Realizar un trabajo de prospección geoquímica de segunda fase, el cual involucre un espaciamiento de muestreo más al detalle con mayor número de muestras, muestreo de rocas y suelos con el fin de determinar posibles blancos de exploración.

9. Literatura Citada

Chira, J. et al. - *Prospección geoquímica regional al norte del paralelo 8°00', cuencas de la vertiente atlántica*. INGEMMET. Boletín n°31, serie B: Geología económica, 123p. 2012.

Viladevall, M. *La Prospección Geoquímica, Temas de Geología Económica*. Universidad de Barcelona, España, 274 p. 2008.

Rivera, H. - *Introducción a la Geoquímica General y Aplicada*. Segunda Edición, Lima-Perú, 475 pp. 2007.

Rankama, K. & Sahama, Th.G. – *Geoquímica*. Madrid: Aguilar. 862 p. 1954.

En el siguiente número de.....

REVISTA DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA



<http://www.ctscafe.pe>

Volumen II- N° 4 Marzo 2017

Nuevas secciones y comentarios.....

311

*Contáctenos en nuestro correo electrónico
revistactscafe@gmail.com*

Página Web:
www.ctscafe.pe

Blog:
<https://ctscafeparaciudadanos.blogspot.com/>

Facebook
<https://www.facebook.com/Revista-CTSCafe-1822923591364746/>