

Recibido: 25 / 11 / 2009, aceptado en versión final: 10 / 12 / 2009

Análisis correlacional y caracterización geoquímica de la mineralización de las cuencas de los ríos Chilca, Mala, Omas. Departamento de Lima. Perú

Correlational analysis y geochemistry characterization of the mineralization from the basin of the rivers Chilca - Mala - Omas. Department of Lima. Peru

Hugo Rivera*, Jorge Chira*, Maritza Campián*, Raúl Huaytan**, Luís Ayala**

RESUMEN

El presente estudio geoquímico-estadístico involucra treinta y siete elementos químicos, catorce de ellos denominados metales pesados como As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, recolectados en sedimentos activos de los ríos Chilca, Mala y Omas en el departamento de Lima.

Las ocurrencias de mineralización filoniana de Cu, Pb, Zn, la abundancia de los elementos trazas y la correlación multivarial de los elementos en los tres ríos refleja la mineralización económica predominante, en el río Chilca Zn, Cd, Pb, en el río Mala Cu, Co, Cr y en río Omas Cu, Pb, Zn. Los demás elementos no constituyen indicadores de esta mineralización al no haber una buena correlación entre ellos, debido al, probable, diferente origen de procedencia, a la morfología de los yacimientos y al nivel de erosión del terreno.

Se ha determinado que el río Chilca sobrepasa los niveles permisibles en arsénico (As), y los niveles target en Cu, Cd, Zn. El río Mala sobrepasa los niveles en arsénico (As) y en los niveles target en Cu, Cd, Cr. El río Omas sobrepasa el nivel en cobre (Cu) y los niveles target en el As, Cd, Cr, Zn.

Palabras clave: Geoquímica, dispersión secundaria, metales pesados, contaminación.

ABSTRACT

The current geochemical-statistical study involves thirty-seven chemistry elements involving fourteen of these called heavy metals such As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn collected in active stream sediments from Chilca, Mala and Omas rivers located in the department of Lima, Peru.

The filonite mineralization occurrences of Cu, Pb, Zn, the abundance of trace elements and the correlation multivariable of the elements in the three rivers reflects the prevailing economic mineralization, in the Chilca river Zn, Cd, Pb in Mala river Cu, Co, Cr and in the Omas river Cu, Pb, Zn. The other elements are not pathfinder of this mineralizations because of the absence of good correlation between them, suggesting different source, at the morphology of the deposit and the erosion level of the surface.

It has been determined that Chilca River has exceeded permissible levels in As and target level in Cd-Cd-Zn. The Mala River exceeded permissible level in As and the target level in Cu-Cd-Cr. Omas River exceeded in Cu and target level in As-Cd-Cr-Zn.

Keywords: Geochemistry, secondary dispersion, heavy metals, contamination.

* Docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. E-mail hriveram@unmsm.edu.pe

**Estudiantes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

I. INTRODUCCIÓN

El alcance del presente trabajo de investigación involucra el tratamiento estadístico-geoquímico de los valores de 37 elementos químicos: 11 elementos denominados mayoritarios como Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na; P, Ti, S, seguido de 26 elementos trazas Ag, As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga; La, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Tl, V, W, Y, Zn, Zr, Au, Hg, para establecer o determinar la caracterización geoquímica de la mineralización principalmente de cobre y polimetálicos que existe en la región seleccionada y efectuar el análisis correlacional de todos los elementos tratados.

De estos elementos se ha dado énfasis a los denominados elementos pesados: As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, W, Zn, Hg cuya geodisponibilidad en los sedimentos pueden resultar tóxicos y provocar contaminación a la biota en los tres ríos Chilca, Mala, Omas.

El objetivo general es determinar el nivel de abundancia y dispersión de los 37 elementos químicos así como sus correlaciones entre los elementos para determinar grupos de elementos indicadores de mineralización o probables focos de contaminación.

II. ÁREA DE ESTUDIO Y MUESTREO

El área de estudio se encuentra entre las coordenadas UTM 3.20-4.00 y 86.8- 85.3 que comprende los cuadrángulos geológicos de Lurín y Mala en el departamento de Lima (Fig. N.º 1).

En esta área, INGEMMET recolectó 117 muestras de sedimentos activos de los ríos Chilca, Mala y Omas, con una densidad aproximada de una muestra por cada 10 km² y recolectadas en malla 200 y analizadas por espectrometría de masa (ICP-MS) por el método del plasma acoplado inductivamente con digestión de agua regia para todos los elementos.

Las muestras se distribuyen de la siguiente manera: río Chilca, 18 muestras; río Mala, 56 muestras y río Omas, 43 muestras de sedimentos. (Fig. N.º 2).

III. GEOLOGÍA ECONÓMICA

INGEMMET colectó información de 65 ocurrencias minerales entre anomalías, prospectos, minas, comprendiendo una en río Chilca, 39 ocurrencias en río Mala y 25 en río Omas. (Fig. N.º 3)

La franja de yacimientos de Cu, Pb, Zn se presentan en diversas morfologías de vetas a venillas, en las cuales se observan manifestaciones de cobre y oro así como esporádicas diseminaciones y stockwork (INGEMMET, 2003).

En la cuenca del río Chilca solo se ha determinado una ocurrencia de cobre con mineralización de cal-

copirita y ganga de piritita en morfología filoneana en rocas volcánicas del K-T.

Todas estas manifestaciones de mineralización mayormente filoneana de cobre hacia el oeste en rocas ígneas (Palacios *et al.* 1992) y de polimetálicos de Pb, Zn, Ag al este, en rocas sedimentarias (Salazar *et al.* 1993) nos indican que esta región estudiada se encuentra en la provincia metalogénica de cobre de la costa y de polimetálicos en la Cordillera Occidental. (Bellido y De Montriul, 1972).

IV. DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS

El resultado de las pruebas Kolmogorov-Smirnov-Liliefors nos indica que de los 37 elementos, 16 elementos Al, Ba, K, Mg, Mn, P, S, Ti, Co, Cu, La, Mo, Ni, Pb, Sc, Y, V, tienen una distribución normal en el río Chilca y los 18 restantes tienen distribución lognormal, y 3 elementos son constantes; en el río Mala 11 elementos tienen distribución normal y los 24 distribución lognormal y 2 elementos son constantes; y en el río Omas 8 elementos tienen distribución normal y los 27 distribución lognormal y 2 elementos son constantes. Los elementos Bi, Sn y W presentan valores constantes. La distribución lognormal implica que para calcular la media corregida se debe transformar sus valores de abundancia en logaritmos.



Figura N.º 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

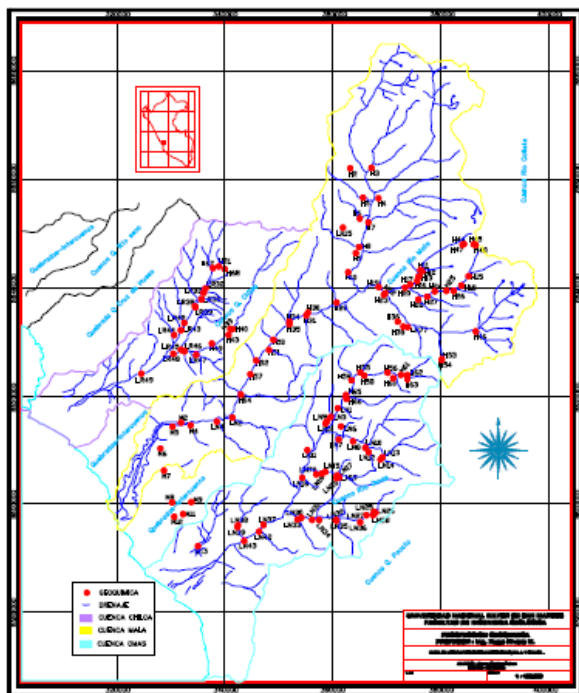


Figura N.º 2. Mapa de ubicación de muestras geoquímicas de las cuencas de los ríos Chilca, Mala y Omas.

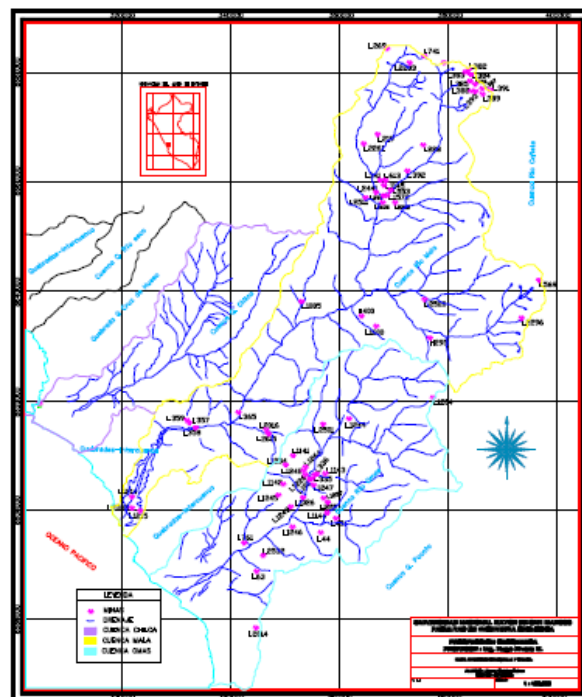


Figura N.º 3. Mapa minero de las cuencas de los ríos Chilca, Mala y Omas.

V. ABUNDANCIAS DE LOS ELEMENTOS

La abundancia del V, Zn Cu son las más altas y Ag, Hg y Au son las más bajas, esto indica que la mineralización en las tres cuencas es principalmente filoneana de cobre y zinc y la presencia del vanadio está asociada a rocas sedimentarias marinas y los demás metales varían de ubicación en las secuencias. Asimismo, las medias de los metales reflejan la abundancia de los mismos de acuerdo al contenido en los sedimentos se concluye que en el río Chilca se concentran la mayor abundancia de los metales, seguido por el río Mala y por último el río Omas que presenta un comportamiento geoquímico de pocos elementos abundantes.

Río Chilca:
V, Cu, As, Be, Cd, Co, Ga, Nb, Ni, Pb, Sb, Tl

Río Mala:
Cr, La, Sc, W, Zr, Au

Río Omas:
Ag, Mo, Sr, Zn

VI. AGRUPACIONES GEOQUÍMICAS

El análisis de correlación lineal de Pearson y el análisis de los componentes principales en los sedimentos se han realizado con el objetivo de establecer el grado de asociación entre las variables analizadas. (Tabla N.º 1).

Río Chilca

Los elementos económicos que se correlacionan positivamente en el río Chilca (Tabla N.º 1) son la Ag,

Tabla 1: Asociaciones Geoquímicas

Elemento	Río Chilca	Río Mala	Río Omas
Ag	Sb, Fe, Ga, Co, Nb, V	As, Cd, Pb	Mo
Cu	Sc	V	Sc
Pb	Sc	No hay	Zn, Sb
Zn	Sc, Mo, Ni, Be	No hay	Pb, Mo, Y, Co, Sc
Hg	Au, Zn	Pb	No hay
Co	Sc, Pb	Sc, Fe, La, Ga, Cu	Sc, Cu, Zn
Cd	Mo, Sr, Zn	No hay	Y, Mo, Ni

Cu, Pb, Zn, Hg, Co y Cr. La correlación positiva de la plata es con Sb, Fe, Ga, Co, Nb; V con un nivel de significación de $p < 0.01$, como así lo demuestra la fuerte dependencia lineal positiva con coeficientes de correlación $r > 0.5$. Las correlaciones del cobre y plomo son con el Sc, el zinc con Sc, Mo, Ni, Be; el mercurio con Au y Zn, el cobalto con el Sc y Sb y el cromo con el Mo, Sr, Zn. Las correlaciones de los metales nos informan que podría no tener el mismo origen de procedencia. Por otro lado, correlaciones menos acentuadas se dan con los demás elementos procesados.

Río Mala

Los mismos elementos económicos tienen otra asociación o no la tienen debido a su correlación menor $r > 0.5$, así la plata se asocia al As, Cd, Pb, el cobre al V, el plomo y zinc no tienen correlación alta con ningún elemento, el mercurio se asocia al Pb, el cobalto se asocia al Sc, Fe, La, Ga, Cu y el cadmio no tiene asociación (Tabla 1).

Río Omas

Los elementos económicos como la plata se asocian en buena correlación con el Mo, el cobre al Sc, el plomo al Zn, Sb, el zinc al Pb, Mo, Y, Co, Sc, el mercurio no tiene buena asociación con los demás elementos, el cobalto al Sc, Cu, Zn y el cadmio al Y, Mo, Ni. (Tabla N.º 1).

El líneas generales de acuerdo a las asociaciones geoquímicas, usando la matriz de correlación de Pearson (bivariada) de la mineralización en las tres cuencas de estos ríos difieren por lo que se pueden concluir que la mineralización no tienen el mismo origen de procedencia.

El componente principal 1 en los tres ríos refleja la mineralización económica predominante, en el río Chilca Zn, Cd, Pb (Y, Mo, (Cr), Ni La), en el río Mala Cu, Co, Cr (V, Sc y Nb) y en río Omas Cu, Pb, Zn (Mo, Co, Y, Sc). Los demás elementos no constituyen indicadores de esta mineralización al no haber una buena correlación entre ellos, debido probablemente al diferente origen de procedencia, a la morfología de los yacimientos y al nivel de erosión del terreno.

VII. DISPERSIÓN SECUNDARIA DE LOS ELEMENTOS

La conclusión resaltante de la dispersión de los elementos es que la mayor dispersión se concentra en el curso medio de los tres ríos y principalmente la mayoría de los metales pesados potencialmente tóxicos y en su curso inferior principalmente el mercurio en Mala y Omas.

Río Chilca

La mayor dispersión de los metales y que alcanzan mayor concentración en el curso inferior son Ba, Fe, Ga, Nb, Tl, en su curso medio destaca la presencia de la mayoría de los elementos en moderada concentración y el Cr, Ni, Ag, Sn, W, Hg tienen menor dispersión concentrándose en el curso superior. (Fig. N.º 4).

Río Mala

La mayor dispersión y concentración de los metales se ubican en su curso inferior tales como As, Ba, Be, Ca, Sb, Sc, Hg, V, con moderada dispersión llegando hasta el curso medio están la mayoría de los elementos As, Cd, Sn, Hg, W, Zn y el metal con menos dispersión es el Sb que se concentra en el curso superior.

Río Omas

En este río los metales de mayor dispersión y concentración en su curso inferior está representado por Cu, Cr, Mo, Ni, Zn; con moderada dispersión se encuentra el Sn en el curso medio y con menor dispersión pero baja concentración en su curso superior se encuentran los metales Sb, As, Cd, Fe, Hg, Pb, V, W.

VIII. METALES PESADOS POTENCIALMENTE TÓXICOS

Comparando los contenidos de metales pesados en su percentil 90 de los tres ríos con la Tabla Holandesa, los valores *target* indican el nivel que han logrado plenamente las propiedades funcionales de los suelos para la vida humana, plantas y animales y los “valores de intervención” indican cuando las propiedades funcionales del suelo para la vida están seriamente deteriorados o en peligro.

Se llega a la conclusión de que el río Chilca sobrepasa los niveles de intervención en lo que respecta al arsénico, y sobrepasa los niveles *target* el cobre, cadmio y zinc. El río Mala sobrepasa los niveles de intervención en arsénico y en los niveles *target* solo en cobre, cadmio, cromo, cobalto. El río Omas sobrepasa el nivel de intervención en el cobre y sobrepasa los niveles de *target* en el arsénico, cadmio, cromo, y zinc. (Tabla N.º 2)

Comparando con los contenidos de metales pesados con los ríos que pasan por Lima se llega a la conclusión de que el río Chillón sobrepasa los niveles de intervención en lo que respecta a los metales As, Sb, Hg y sobrepasa los niveles *target* el Cd, Cr, Cu, Mo, Ni y Zn. El río Rímac sobrepasa los niveles de intervención en los metales As, Cu, Hg, Zn y Sb, y en los niveles *target* en Cd, Cr, Pb y Mo. El río Lurín

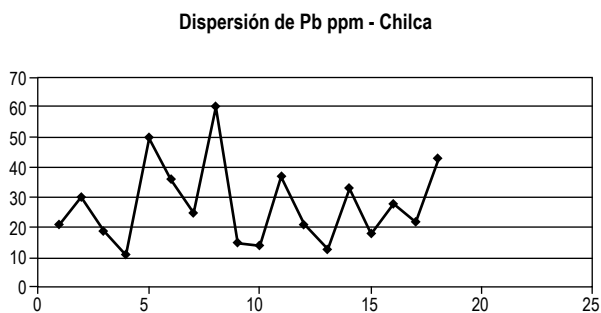


Figura N.º 4. Dispersión Pb. Río Chilca.

está sobrepasando el nivel de intervención con el As, Sb y los niveles de *target* en Cd, Cr, Cu, Mo y Zn, por lo que se concluye que los ríos al norte de Chilca se encuentran más contaminados (Rivera *et al.*, 2007).

Estos metales pesados han sido tratados en su análisis total existente en el sedimento, lo que hay que hacer en el futuro es determinar la proporción de estos metales en sus diversos compuestos químicos, ya que estos tienen diferentes reacciones con el agua, por lo que hay que determinar que facie química es la más propensa de ser más soluble.

IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Además no se pudo determinar una Línea Base Ambiental para sedimentos porque se requiere de mayor información de otros ríos. Sobre todo de información de ríos con menos presencia de poblaciones, de actividad minera, agrícola, para encontrar parámetros menos contaminados.

El comportamiento geoquímico de los elementos no ha permitido una caracterización geoquímica de la

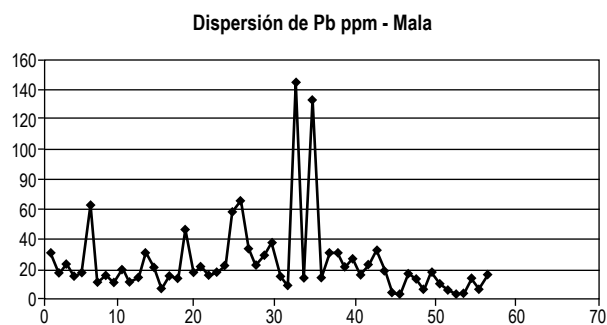


Figura N.º 5. Dispersión Pb. Río Mala.

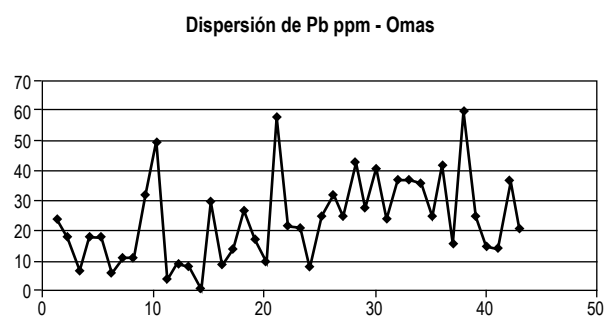


Figura N.º 6. Dispersión Pb. Río Omas.

mineralización existente, debido probablemente al ensamble mineralógico simple en cual predomina un solo elemento económico importante.

X. CONCLUSIONES

1. Todas las manifestaciones de mineralización de cobre se encuentran hacia el oeste y de polimetálicos de Pb, Zn, Ag al este, esto nos indica que esta región estudiada se encuentra en la provincia

Tabla N.º 2. Legislación holandesa y ríos peruanos

Metales	1983		2001		Ríos peruanos		
	Valor Target	Valor Intervención	Valor Target	Valor Intervención	Chilca	Mala	Omas
As	30	50	29	55	133,6	73,9	42,8
Cd	5	20	0,8	12	3	0,9	2,6
Cr	250	800	100	380	99,6	125,4	100,8
Cu	100	500	36	190	170,4	129	273,8
Pb	150	600	85	530	51	50,6	42,6
Hg	2	10	0,3	10	0,10	0,15	0,26
Mo	40	200	3	200	6,3	5,3	9
Ni	100	500	35	210	29,3	18,6	28,2
Sn	50	300	0	0	9	9	9
Zn	500	3000	140	720	273	131,9	207,6
Sb			3	15	10,2	6,3	6
V					329,5	215,1	176,8
W					9	9	9
Fe					8,52	5,14	6,76

- metalogénica de cobre de la costa y de polimetálicos en la Cordillera Occidental.
2. La abundancia de los elementos trazas se presenta de la siguiente manera. El V, Zn y Cu son las más altas y Ag, Hg y Au son las más bajas. Esto indica que la mineralización en las tres cuencas es mayormente filoneana de cobre y zinc y la presencia del vanadio está asociada a rocas sedimentarias marinas y los demás metales varían de ubicación en las secuencias.
 3. De acuerdo con las asociaciones geoquímicas, que caracterizan a la mineralización en las tres cuencas de estos ríos, difieren por lo que se pueden concluir que la mineralización no tienen el mismo origen de procedencia.
 4. El componente principal 1 en los tres ríos refleja la mineralización económica predominante, en el río Chilca Zn, Cd, y Pb, en el río Mala Cu, Co y Cr, y en río Omas Cu, Pb y Zn. Los demás elementos no constituyen indicadores de esta mineralización al no haber una buena correlación entre ellos, probablemente debido al diferente origen de procedencia, a la morfología de los yacimientos y al nivel de erosión del terreno

5. Que el río Chilca sobrepasa los niveles de intervención en lo que respecta al arsénico, y sobrepasa los niveles *target* el cobre, cadmio y zinc. El río Mala sobrepasa los niveles de intervención en arsénico y en los niveles *target* solo en cobre, cadmio, cromo y cobre. El río Omas está sobrepasando el nivel de intervención en cobre y los niveles de *target* en el arsénico, cadmio, cromo y zinc.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bellido E y De Montriul (1972). Aspectos generales de la metalogenia del Perú. Servicio de Geología y Minería. Boletín Serie B Geología.
2. Rivera H, Chira J. et al. (2007). Dispersión secundaria de los metales pesados en sedimentos de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. Departamento de Lima. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM. Vol. 10 N.º 20, Lima.
3. INGEMMET (2003). Estudio de recursos minerales del Perú Franja N.º 3. Boletín N.º 12 Serie B: Geología Económica.
4. Palacios, O et al. (1992). Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Boletín N.º 43 Serie A: Carta Geológica Nacional. INGEMMET.