

Recibido: 25 / 11 / 2007, aceptado en versión final: 19 / 12 / 2007

Análisis correlacional y evolutivo de los metales pesados en sedimentos del río Santa entre Huaraz – Carhuaz, departamento de Ancash

CORRELATIONAL AND EVOLUTIVE ANALYSIS OF HEAVY METALS IN STREAM SEDIMENTS FROM SANTA RIVER BETWEEN HUARAZ-CARHUAZ, DEPARTMENT OF ANCASH-PERU

Hugo Rivera*, Jorge Chira*, Maritza Campián*, Félix Cornelio**

RESUMEN

El presente estudio geoquímico-estadístico de catorce metales pesados en sedimentos de quebradas en un sector del río Santa, demostró que los metales que tienen una distribución normal son Cr-Cu-Mo-Pb-V y distribución lognormal As-Cd-Fe-Hg-Ni-Sb-Sn-W-Zn. La abundancia media muestra que el Zn es el metal más abundante y el Hg se presenta en pequeñas cantidades. En el batolito de la Cordillera Blanca predomina el As-Sb-W, en el volcánico Calipuy Cd-Cr-Cu-Hg-Mo-V y en el Grupo Goyllarisquizga Ni-Pb-Zn.

Con respecto a la evolución de estos metales se determinó que el As-Sb-W sus valores se incrementaron desde el Cretáceo Inferior al Neógeno, el Ni-Pb-Zn-Sn son altos en el Cretáceo, disminuyen en los volcánicos Paleógeno-Neógeno para incrementarse en los intrusivos Neógenos y Cd-Cr-Cu-Fe-Hg-Mo-V se incrementan en el Paleógeno-Neógeno con respecto al Cretáceo Inferior y disminuyen en el Neógeno.

El análisis de correlación de Pearson y el análisis de componentes principales determinaron cinco componentes: 1) Zn-Cd-Pb-As-Cu-Sb-Sn-Fe, 2) Ni-Mo-V-W-Fe, 3) W-Fe, 4) Cr-Hg-Fe, 5) Hg.

Comparando con los límites establecidos para suelos en la Tabla Holandesa, los metales pesados en los sedimentos en este sector del río Santa, que sobrepasan los límites de intervención son el arsénico, plomo y zinc.

Palabras clave: Metales pesados, sedimentos de quebradas, estadística.

ABSTRACT

The current geochemistry-statistical study of fourteen heavy metals on stream sediments in a sector of Rio Santa basin, showed that metals which have a normal distribution are Cr-Cu-Mo-Pb-V and metals with lognormal distribution are As-Cd-Fe-Hg-Ni-Sb-Sn-W-Zn. The abundance average demonstrated that the Zn is the most abundant metal and the Hg appears in small amounts. In the Batholith of the Cordillera Blanca predominates As-Sb-W, in the Volcanic Calipuy Cd-Cr-Cu-Hg-Mo-V and in the Group Goyllarisquizga Ni-Pb-Zn.

According to the evolution of the metals it was determined that the values of As-Sb-W, were incremented since the inferior Cretaceous to the Neogene, the Ni-Pb-Zn-Sn were higher in the Cretaceous, decreasing in the Volcanic Paleogene-Neogene for increasing in the intrusive Neogene and Cd-Cr-Cu-Fe-Hg-Mo-V increased in the Paleogene-Neogene according to the inferior Cretaceous and decreasing in the Neogene.

The analysis of correlation of Pearson and the Analysis of the Principal Components, determines five components: 1) Zn-Cd-Pb-As-Cu-Sb-Sn-Fe 2) Ni-Mo-V-W-Fe 3) W-Fe, 4) Cr-Hg-Fe, 5) Hg

Comparing with the established limits for the soils (Dutch Table) that surpasses the limits of intervention are arsenic, lead and zinc.

Keywords: Heavy metals, stream sediments, statistic

* Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

** Estudiante de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Email: eriveram@unmsm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

El alcance del presente trabajo involucra el tratamiento estadístico de los valores de los metales pesados potencialmente tóxicos a la salud humana y animal, en una región de la Cordillera Negra y Blanca entre las ciudades de Huaraz y Carhuaz en el departamento de Áncash.

El objetivo general es determinar la abundancia, dispersión, correlación uni- y multivariable de los metales pesados potencialmente tóxicos en los sedimentos de quebradas para cada material geológico en la región seleccionada y su evolución de su abundancia con respecto al tiempo geológico.

Mediante el uso del Software SPSS versión 15 nos proporcionará la información para interpretar las interrogantes.

II. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra entre las coordenadas UTM: 89.74-89.32 y 2.23-2.36 comprendiendo los cuadrángulos geológicos de Carhuaz, Huari, Huaraz y Recuay en el departamento de Áncash.

En esta área se colectó 57 muestras de sedimentos activos de quebradas con una densidad de una muestra por cada 10 km² y analizados en malla 200 por espectrometría de masa (ICP-MS) por el método del plasma acoplado inductivamente con digestión de agua regia para los 14 elementos (INGEMMET).

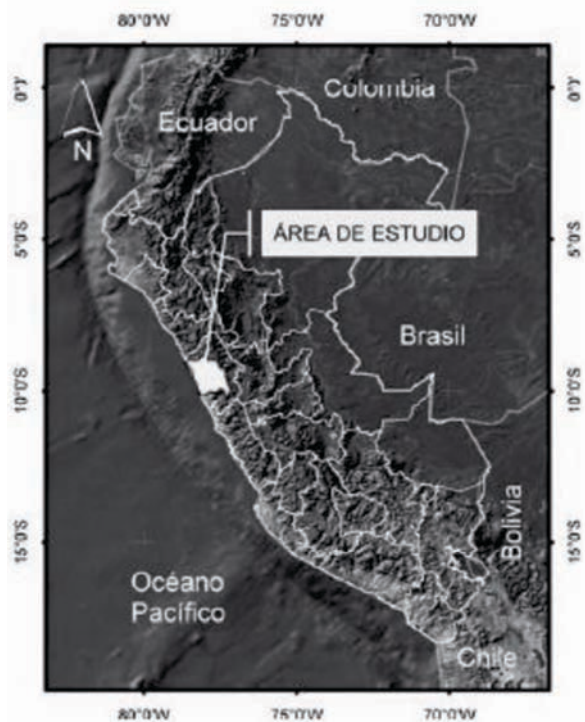


Figura N.º 1. Ubicación del área de estudio.

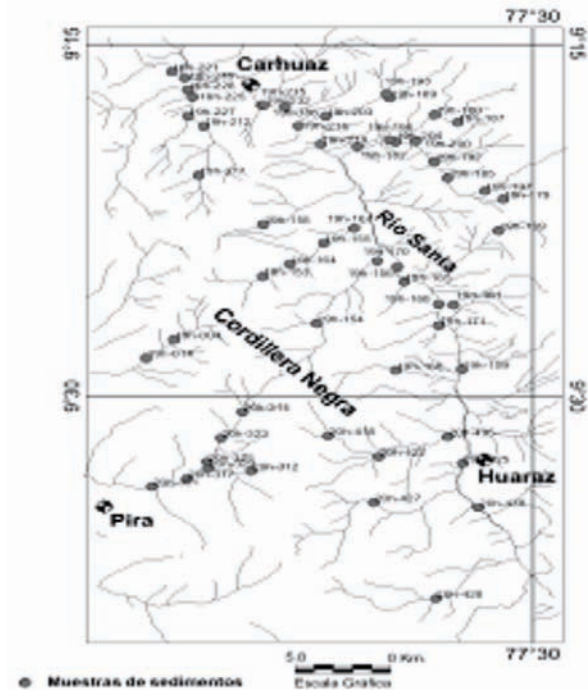


Figura N.º 2. Mapa de muestreo.

III. GEOLOGÍA REGIONAL

En el área afloran rocas del **batolito de la Cordillera Blanca** (Neógeno) caracterizado por rocas de carácter ácido (granitos- tonalita) y se considera este magmatismo que se encuentra emplazado paralelo a la zona de subducción. El **Grupo Calipuy** (Paleógeno-Neógeno) consiste de una serie de productos lávicos y piroclásticos emitidos por centros volcánicos de composición intermedia a ácida (andesitas basálticas a dacitas), dichas rocas son de naturaleza calcoalcalina a medianamente potásica. El **Grupo Goyllarisquizga** (Cretáceo Inferior) consistente de calizas, areniscas, cuarcitas y pelitas, asociadas a lentes de carbón. (Wilson, J, *et al.*, 1967 y Cobbing, J *et al.*, 1996).

A cada muestra se le asignó una unidad geológica predominante, como proveedora del sedimento de quebrada, dando como resultado, en esta área, tres unidades litológicas con sus correspondientes edades.

IV. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES

Análisis de histogramas

Antes de efectuar el procesamiento estadístico, por razones de seguridad en el cálculo, es necesario conocer si los datos presentan una distribución normal, de no ser así, se debe calcular con nuevas variables con valores logarítmicos. Para ello, se han efectuado

Cuadro N.º 1 Nombre de las poblaciones.

Población	Nombre de la litología	Composición y edad	Data
1	Batolito Cordillera Blanca	Intrusivo Neógeno	9
2	Grupo Calipuy	Tobas ácidas Paleógeno-Neógeno	16
		Andesita-dacita Paleógeno-Neógeno	8
3	Grupo Goyllarisquiza	Arenisca y cuarcita Cretáceo Inferior	15
		Calizas Cretáceo Inferior	6
		Pelitas Cretáceo Inferior	3

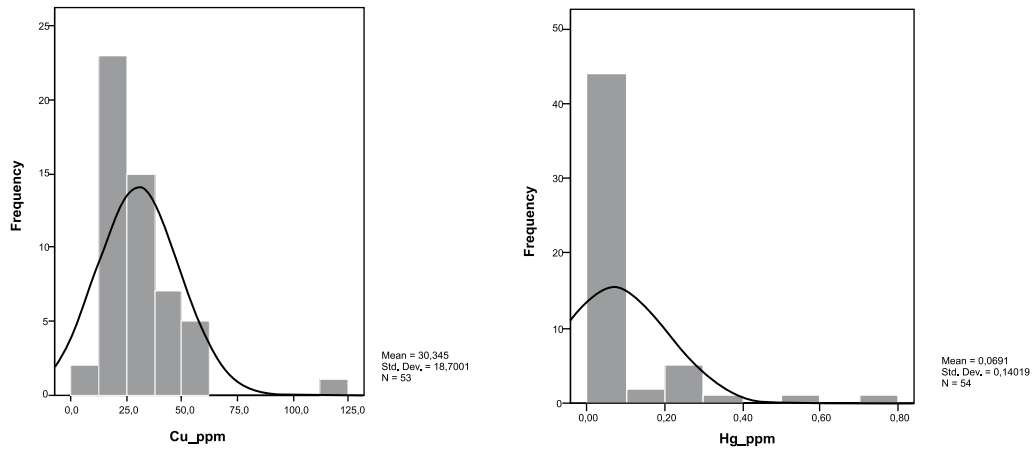


Figura N.º 3. Histograma de Cu (normal) y Hg (lognormal).

los histogramas en todos los elementos aplicando las pruebas chi-cuadrado, de Kolmogorov-Smirnov y Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors para hallar su normalidad.

El resultado de estas pruebas nos indican que de los 14 elementos, sólo 5 elementos Cr, Cu, Mo, Pb, V, tienen una distribución normal y los 9 restantes tienen distribución lognormal: As, Cd, Fe, Hg, Ni, Sb, Sn, W, Zn, implica para calcular la media se debe transformar sus valores de abundancia en logaritmos.

Neutralización de valores erráticos

Es muy conocida la influencia de que los valores altos o muy elevados pueden tener en los valores de fondo. Estos valores altos o robustos muy a menudo están cerca de la mineralización o zonas de contaminación.

Esta alta concentración puede falsear la información, de modo que los valores de los parámetros estadísticos resultan erróneos o con bajo nivel de confianza.

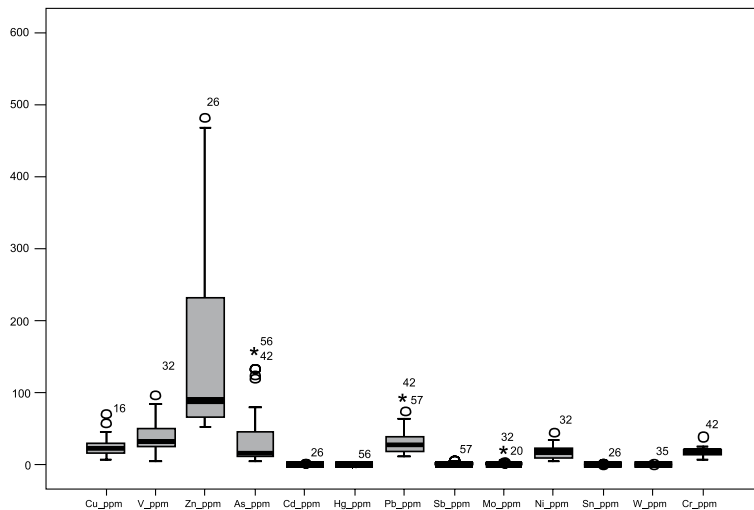


Figura N.º 4. Box Plot de los metales pesados.

Por lo tanto, no se puede detectar anomalías que se encuentran ocultas estadísticamente, es por esta razón que para obtener una mejor estimación de los valores de fondo (media o promedio), se deben separar del tratamiento estadístico o de alguna forma asignarle poco peso estadístico para que influya poco en los cálculos y de esta manera salgan a relucir las anomalías estadísticas ocultas. Para ello, se utiliza los Box Plot que nos indican que muestras con valores altos o bajos no deben ser procesados estadísticamente.

La media de los metales pesados

La media de los elementos tratados de acuerdo a las litologías predeterminadas y su abundancia desde el punto de vista regional se muestran en la Tabla N.º 2.

La media de los metales pesados en los sedimentos de cada litología presenta la siguiente secuencia:

Grupo Goyllarisquizga:

Zn>As>Pb>V>Cu>Ni>Cr>Fe>Sb>Mo>

Sn>Cd>W>Hg

Batolito Cordillera Blanca:

Zn>As>Pb>V>Cu>Ni>Cr>Fe>Sb>Mo>Sb>W>Sn>Cd>Hg

Grupo Calipuy:

Zn>V>As>Cu>Pb>Cr>Ni>Fe>Sb>Mo>Cd>Sn>W>Hg

Cuadro N.º 2. Abundancia media por cada litología.

Metal	Batolito Cordillera Blanca	Grupo Calipuy	Grupo Goyllarisquizga	Media Regional
As	64,06	44,79	44,97	47,55
Cd	0,78	1,46	1,26	1,23
Cr	17,78	18,88	18,04	18,35
Cu	25,69	33,84	28,75	30,34
Fe %	3,38	3,8	3,08	3,43
Hg	0,01	0,07	0,07	0,05
Mo	1,86	2,2	2,18	2,14
Ni	19,06	15,66	22,31	18,74
Pb	42,04	29,13	44,34	38,39
Sb	2,64	2,31	2,49	2,45
Sn	1,1	0,99	1,29	1,13
V	26,63	47,88	37,45	40,60
W	1,36	0,39	0,45	0,52
Zn	119,11	173,7	188,70	169,86

Análisis de correlación lineal de Pearson

El análisis de correlación lineal de Pearson en los sedimentos, se ha realizado con el objetivo de establecer el grado de asociación entre las variables analizadas. Los elementos que se correlacionan linealmente en el área (Tabla No.3) son: As con Pb y Sb; Cd con Cu, Pb, Sb y Zn; Cu con Ni, Pb, Sb y Zn; el Hg con Mo y el Mo con Ni con un nivel de significación de $p < 0.01$, como así lo demuestra la fuerte dependencia lineal positiva con coeficientes de correlación $r > 0.5$.

Tabla N.º 3. Coeficiente de correlación entre los metales pesados.

	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	V	W	Zn
As	1.00													
Cd	0.67	1.00												
Cr	0.09	0.23	1.00											
Cu	0.48	0.71	0.58	1.00										
Fe	0.26	0.27	0.64	0.54	1.00									
Hg	0.18	0.18	0.21	0.24	-0.18	1.00								
Mo	0.01	0.29	0.17	0.27	0.08	0.61	1.00							
Ni	0.22	0.51	0.35	0.63	0.40	0.47	0.74	1.00						
Pb	0.86	0.81	0.25	0.71	0.34	0.16	0.06	0.33	1.00					
Sb	0.82	0.66	0.15	0.62	0.51	-0.11	0.01	0.27	0.82	1.00				
Sn	0.08	0.36	-0.01	-0.01	0.04	0.23	0.40	0.27	0.13	0.12	1.00			
V	-0.24	-0.03	0.49	0.01	0.30	0.39	0.61	0.26	-0.24	-0.21	0.22	1.00		
W	0.07	0.08	-0.44	-0.24	-0.40	-0.21	0.04	-0.04	-0.03	0.02	-0.07	0.22	1.00	
Zn	0.52	0.95	0.23	0.71	0.33	0.02	0.24	0.54	0.69	0.58	0.32	-0.09	0.14	1.00

Las correlaciones entre los metales nos informan que podría tener el mismo origen de procedencia. Por otro lado, correlaciones menos acentuadas se dan para el Fe, Ni, Sb, Sn V, W con los demás metales

Análisis de componentes principales

El tratamiento estadístico incluyó el análisis de componentes principales con el propósito de encontrar un patrón geoquímico regional, determinándose cinco componentes:

Componente principal 1: Se tiene una asociación Zn-Cd-Pb-As-Cu-Sb-Sn-Fe entre los cuales la correlación lineal es positiva ($r > 0.5$).

Gráfico de componentes en espacio rotado

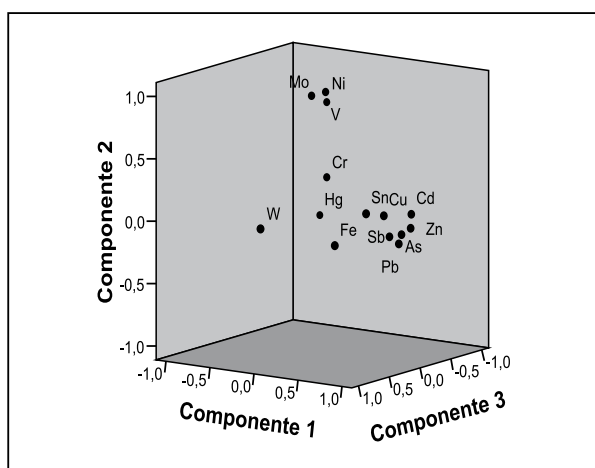


Figura N.º 5. Componentes principales.

Componente principal 2: La asociación Ni-Mo-V con $r > 0.5$ positiva alta, asociados con correlación menor al Cr.

Componente Principal 3: La asociación W-Fe tiene correlación positiva $r > 0.5$ y asociada al Cr con correlación baja y al Hg con correlación negativa.

Componente principal 4: La asociación Cr-Hg-Fe en correlación positiva, y asociados al Sn-Mo-W con correlación negativa baja.

Componente principal 5: El Hg actúa aislado con correlación positiva alta, asociado en correlación negativa con el Cr y con correlación positiva baja con el Hg (Guerra, K, 2006).

Evolución de los metales pesados

De la tabla No 2 se desprende que los metales pesados como el As-Sb y W sus valores se han incrementado con el tiempo, bajo en el Cretáceo Inferior hasta altos en el Neógeno. El Ni-Pb-Sn y Zn son altos en el Cretáceo, disminuye en volcánico Paleógeno-Neógeno

para aumentar en los intrusivos Neógenos. Mientras que Cd-Cr-Cu-Fe-Hg-Mo y V se incrementan en los volcánicos Paleógeno-Neógeno con respecto al Cretáceo inferior y disminuyen en los intrusivos Neógenos.

Dispersión y concentración geoquímica de los metales

Las figuras de las dispersiones nos muestran el comportamiento de los metales pesados en el río Santa entre Huaraz (Este) y Carhuaz (Oeste), teniendo en cuenta las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

Los metales de alta dispersión son Cr-Cu-Fe-Ni-Sb-Sn, de mediana dispersión Cd-W-Mo-Pb-Zn-V y de baja dispersión As-Hg.

Las concentraciones de los metales que se dan en todo el sector Huaraz-Carhuaz son Cr-Cu-Fe-Ni-Sb-Sn. En el sector de Huaraz son Mo-V, en el sector medio son As-Cd-W-Pb-Zn y en el sector de Carhuaz el Hg.

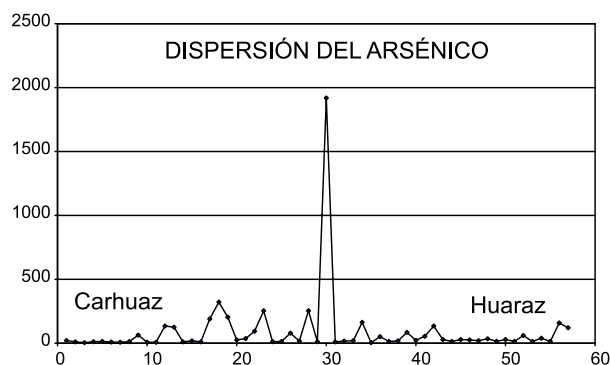
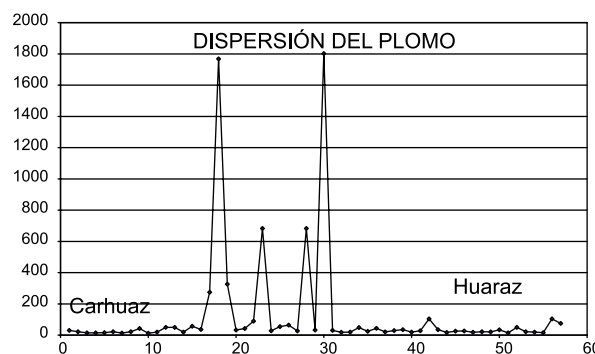


Figura N.º 6. Dispersión del zinc, arsénico y Plomo.

FOCOS DE CONTAMINACIÓN

Los agentes de protección ambiental de los países desarrollados de USA, Canadá, Australia y Europa (principalmente, Holanda) han determinado una serie de límites para las concentraciones de metales pesados en suelos y sedimentos, por encima de estos los metales causan estragos en los seres vivos, en la

presente investigación se muestra la tabla Holandesa de 1983 y 2001 con el río Santa en el contenido de metales en su percentil 95.

Los denominados valores Tarjet indican el nivel en el cual hay un sustento de la calidad del suelo, los valores de Intervención indican cuando las propiedades funcionales del suelo para la vida están seriamente deterioradas o en peligro.

Comparando los contenidos de los metales en el río Santa con la Tabla Holandesa se llega a la conclusión de que el río Santa, en el sector de Huaraz - Carhuaz, sobrepasa los niveles de intervención en lo que respecta a los metales As-Pb-Zn (Dionicio, E 2007). En cuanto a los metales que sobrepasan el valor Tarjet 2001 son: Cd-Cu-Hg-Mo-Ni-Sb.

V. Análisis y discusión

Las hipótesis de trabajo se confirmaron con los resultados del procesamiento estadístico y de las apreciaciones geológicas de campo, llegándose a determinar el comportamiento geoquímico-geológico de los metales pesados en los sedimentos del sector de Huaraz-Carhuaz en el río Santa, además de la correlaciones entre los metales y las diversas litologías aflorantes en el área.

La interrogante más resaltante es cómo el contenido de metales pesados en los sedimentos pasan al ciclo hidrológico, en qué proporción y en qué tiempo; para ello, se requiere hacer más investigaciones y un mayor análisis de nuevas muestras para determinar la biodisponibilidad de estos metales, que viene a ser el grado de disponibilidad por el cual un metal en una fuente potencial se halla libre para ser captado por un organismo (Rivera, H, Chira, J, 2007) y que está en función de la geodisponibilidad, dispersión,

movilidad, modo de exposición, especificación biológica.

Es por ello que se requiere determinar la geodisponibilidad que viene a ser la porción del contenido total del metal o compuesto de un material que puede ser liberado en el ambiente superficial, a través de procesos físicos, químicos y biológicos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COBBING, J, SÁNCHEZ, A, *et al.* (1996) *Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián, Yanahuanca*. Boletín N.º 76 Serie A Carta Geológica Nacional. INGEMMET
2. DIONICIO E. N. (2007) *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del río Santa: Tramo quebradas Pacchac - LLancash*. Tesis de maestría. FIGMMG_UNMSM.
3. GUERRA, K, RIVERA, R *et al.* (2006) *Dispersión secundaria y determinación de asociaciones geoquímicas en yacimientos polimetálicos emplazados en los Grupos Goyllarisquizga y Calipuy, Región Ancash*. XIII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú.
4. 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 Vol. 10 N.º 20 de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de UNMSM.
5. WILSON, J, REYES, L *et al.* (1967) *Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari*. Boletín N.º 16 Servicio de Geología y Minería.