

# Geodisponibilidad de metales pesados en sedimentos de los ríos Supe y Pativilca, departamento de Lima

Geo-availability of heavy metals in sediments of Supe and Pativilca river, Lima department

Hugo Rivera\*, Jorge Chira, Ítalo Chacón\*, André Medina\*\* y Irwin Casallo\*\*

Recibido: 03/09/2011

Aprobado: 15/09/2011

## RESUMEN

El presente estudio consiste en el análisis geoquímico-estadístico de catorce metales pesados en sedimentos activos de los ríos Supe y Pativilca, en los cuales predominan las litologías del Volcánico Calipuy y Volcánico Casma y en menor porcentaje las litologías intrusivas del Batolito de la Costa. Asimismo, los metales que tienen una distribución normal son Fe en el río Pativilca y Fe-Cr-As-Cu-Hg-Ni-Pb-V-Zn en el río Supe. La abundancia media muestra que el Zn, V, son los metales más abundantes y el Mo, Cd y Hg se presenta en pequeñas cantidades.

En el análisis de correlación en el río Pativilca, los metales que mejor se correlacionan son el Cd con Mo, Ni, Pb, Zn, que nos indican que podría tener el mismo origen, mientras que en el río Supe los metales no tienen buena correlación lo que indicarían que no tienen un origen común, salvo el Cu con Mo y Fe con V y W. El Análisis de Componentes Principales determinó que de los tres componentes en el río Pativilca la asociación más importante es Cd-Zn-Mo-Ni-Pb-As y en río Supe Fe-V-W-Cu.

Comparando con los límites establecidos para suelos en la Tabla Holandesa, los metales pesados en los sedimentos en el río Pativilca solo sobrepasa los límites de intervención en arsénico. Comparando los valores de los ríos tanto al norte como al sur de la ciudad de Lima, el río Rímac sobrepasa los valores de intervención en As, Cu, Zn, Sb, le sigue el río Chillón en As, Hg, Sb, el río Lurín en As, Sb, el Río Mala, Chilca, Chancay y Huaura, Pativilca en As, el río Omas en Cu y el río Supe no hay contaminación en sus sedimentos activos en su cuenca.

**Palabras clave:** metales pesados, sedimentos de quebradas, estadística

## ABSTRACT

This study presents the geochemical-statistical analysis of fourteen heavy metals in active sedimentary of the rivers Supe and Pativilca in which ones prevails the Calipuy and Casma Volcanic lithologies, and in a lower percentage the intrusive lithology of the Cost Batholith. Also the metals that have a normal distribution are Fe in the Pativilca River and Fe-Cr-As-Cu-Hg-Ni-Pb-V-Zn in Supe River. The average abundance shows that Zn and V are the most abundant metals, and Mo, Cd and Hg are showed in small quantities.

In the correlation analysis for the Pativilca River, it is showed that the metals that are best correlated are Cd with Mo, Ni, Pb, Zn, which indicates that they all can have the same origin, while in the Supe River the metals have poor correlation which indicates that they do not have the same origin, with the exception of the Cu with Mo and Fe with V and W. The Principal Component Analysis acknowledged that for the three components of the Pativilca River, the most important association is Cd-Zn-Mo-Ni-Pb-As and for the Supe River is Fe-V-W-Cu.

Comparing with the established limits for soils of the Dutch Table, heavy metals in sediments of the Pativilca River only exceeds the limits of intervention in arsenic. Comparing the values of Lima Rivers, both north and south, Rimac River exceeds the intervention values in As, Cu, Zn, Sb; followed by Chillon River in As, Hg, Sb; Lurin River in As, Sb; Mala, Chilca, Chancay, Huara and Pativilca River in As; Omas River in Cu, while Supe River does not have any contamination in its active sediments.

**Key words:** heavy metals, stream sediments, statistic

\* Docentes de la EAP de Ingeniería Geológica - UNMSM. E-mail: hrivram@unmsm.edu.pe

\*\* Alumnos de la EAPIG - UNMSM

## I. INTRODUCCIÓN

El alcance del presente trabajo involucra el tratamiento estadístico de los valores geoquímicos de los metales pesados potencialmente tóxicos a la salud humana y la biota, en una región de la cordillera Occidental que abarca las cuencas de los ríos Supe y Pativilca al norte del departamento de Lima.

El objetivo general es determinar la abundancia de los metales pesados en los sedimentos de quebradas en la región seleccionada y su comparación con los aspectos geoquímicos con los demás ríos al sur de esta región que abarca los ríos Huaura, Chancay, Chillón, Rímac, Lurín, Mala, Chilca, Omas.

Mediante el uso del SOFTWARE IBM-SPSS-STATISTICS versión 19 y Excel nos proporcionarán la información para interpretar las interrogantes.

## II. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende los cuadrángulos geológicos de Supe (24-i), Huaral (23-i), Canta (23-j), Huacho (23-h), Barranca (22-h), Ambar (22-i), Oyón (22-j) en el departamento de Lima. (ver Figura N.º 1)



Figura N.º 1. Ubicación del Proyecto y de las muestras de sedimentos.

En esta área se colectó 47 muestras en el río Supe y 261 muestras en el río Pativilca de sedimentos activos de quebradas con una densidad de una muestra por cada 10 km<sup>2</sup> y recolectados en malla 200 y analizados por Espectrometría de masa (ICP-MS) por el método del Plasma Acoplado Inductivamente, con digestión de agua regia para los 14 elementos (INGEMMET).

Los análisis están dados en ppm (partes por millón) a excepción del Fe que está expresado en porcentaje (%).

## III. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

### 3.1. Río Pativilca

La cuenca del río Pativilca pertenece a la vertiente del Pacífico y drena un área total de 4 837 km<sup>2</sup>. Políticamente, se localiza en los departamentos de Ancash y Lima, comprendiendo las provincias de Recuay y Bolognesi en el Departamento de Ancash y Cajatambo y Barranca en el Departamento de Lima. Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la cordillera Occidental de los Andes, cuyos puntos más elevados están sobre los 4 000 msnm.

Esta cuenca que tiene sus orígenes en las alturas de los nevados de Cajatambo, discurriendo sus aguas por la quebrada Pischcaragra, la que da nacimiento al río en su confluencia con la quebrada de Gara, cerca de la localidad de Pachapaqui. Durante su recorrido, recibe el aporte de numerosos afluentes, entre los cuales cabe mencionar por la margen derecha, las quebradas de Picharagra (206 km<sup>2</sup>), Desagüe (60 km<sup>2</sup>). Quebrada de Mashcus (252 km<sup>2</sup>) y los ríos Llamac (288 km<sup>2</sup>), Rapay (729 km<sup>2</sup>) y Gorgor (566 km<sup>2</sup>).

El río Pativilca, que hace un recorrido de 164 km, presenta una pendiente promedio de 3%, la que se hace más pronunciada (14%) entre las nacientes, por la quebrada Llata y su confluencia con la quebrada Huanchay. El recurso hídrico se origina como consecuencia de las precipitaciones estacionales que ocurren en la falda occidental de la Cordillera de los Andes y de los deshielos de los nevados, localizadas, principalmente en su parte alta. El río Pativilca, al igual que la mayoría de los ríos de la Costa, es de régimen irregular y de carácter torrencioso (Figura N.º 2).



Figura N.º 2. Vista del Río Pativilca desde el pueblo de Chiquián.

### 3.2. Río Supe

El Supe es un río de régimen irregular, seco la mayor parte del año, situado en la parte central y occidental del Perú, en la provincia de Barranca al norte del Departamento de Lima. Forma el valle donde surgió la civilización Caral, cuna de la civilización andina.

La cuenca del río Supe se encuentra ubicada en el departamento de Lima, provincia de Supe. Limita por el norte con la cuenca del río Pativilca; por el sur, con la del río Huaura; por el este, con la del río Mantaro y, por el oeste, con el océano Pacífico. La forma general de la cuenca es semejante a la del río Fortaleza y Pativilca, así como el origen del escurrimiento superficial.

El río Supe nace en las lagunas Aguascocha y Jururcocha con el nombre de Jururcocha que mantiene hasta la localidad de Lascamayo, a partir de la cual toma el nombre de río Ambar. Posteriormente, a la altura de la confluencia con la quebrada Carrizal o Jaiva, recibe el nombre de río Supe. Este presenta una pendiente promedio de 5%, la misma que se incrementa hasta llegar a 11% en las partes altas, específicamente en el tramo comprendido entre las localidades de Mitupampa y Ambar. Su recorrido es bastante sinuoso (Figura N.º 3).



Figura 3. Vista del Río Supe en su curso inferior.

## IV. GEOLOGÍA REGIONAL

La geología regional de las dos cuencas comprende una secuencia de rocas volcánicas-sedimentarias, volcánicas e intrusivas cuyas edades varían desde el Jurásico superior hasta el Cretáceo-Terciario y sedimentos del Cuaternario reciente (Cobbings, 1973).

### 4.1. Rocas volcánicas

**Volcánico Calipuy.**-Las rocas volcánicas están constituidas por andesitas, piroclásticos y brechas de color gris verdoso, de textura porfírica, conforman el Volcánico Calipuy de edad KTi, estos depósitos

tienen su mayor distribución dentro de la cuenca alta y algunos sectores de las cuencas media y baja.

**Volcánico Casma.**- Serie volcánica con intercalaciones sedimentarias que se encuentra en la faja costanera al oeste del Batolito, consiste de volcánicos bien estratificados siendo en su mayor parte derrames delgados de andesitas masiva de grano fino, se determina de edad Jurásico superior a Cretáceo inferior.

### 4.2. Rocas ígneas

Las rocas intrusivas en la cuenca de Supe y Pativilca forman parte del Batolito de la Costa del KTi, sus afloramientos tienen gran amplitud de distribución. Estas rocas que varían en composición desde diorita a granodiorita, con variaciones a adamelita y tonalita, son de grano a grueso y su textura varía desde equigranular a porfíricas; existen afloramientos típicos de granodiorita en los alrededores del poblado de Paranday.

La naturaleza litológica de los clastos en los sedimentos arroja el siguiente porcentaje (Tabla N.º 1).

Tabla N.º 1. Porcentaje de clastos

Roca	Río Supe	Río Pativilca
Volcánico Calipuy	70	30
Intrusivos	20	30
Volcánico Casma	10	40

## V. ANÁLISIS DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES

### 5.1. Distribución de los metales pesados

Analizando los histogramas de frecuencia y antes de efectuar el procesamiento estadístico de las variables, y 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 los histogramas en todos los elementos aplicando las pruebas Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors para hallar su normalidad.

El resultado de estas pruebas en los sedimentos del río Supe nos indican que de los 14 elementos, ocho (8) tienen distribución normal: As, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V, Zn, solo tres (3) elementos, Mo, Sb y W tienen una distribución log-normal y tres (3) no se pudo calcular los estadísticos debido a que las muestras tenían un solo valor: Cd, Sn y Hg (Figura N.º 4).

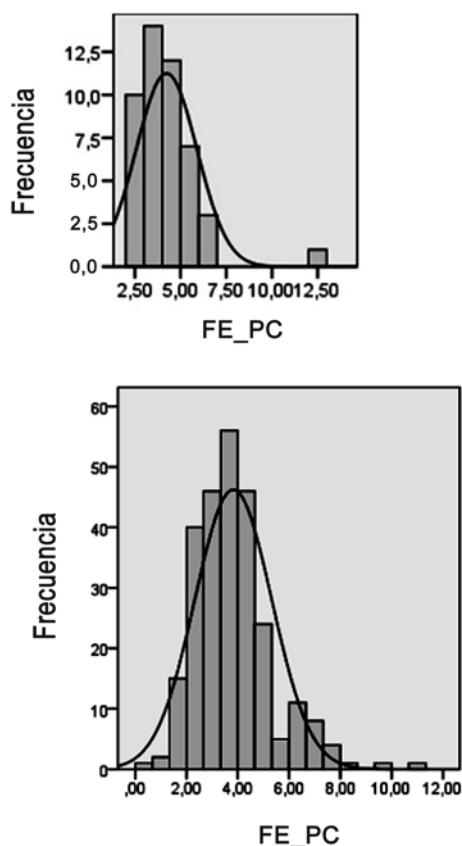


Figura 4. Distribución de Fe en el río Supe y río Pativilca.

Mientras que en los sedimentos del río Pativilca, de los 14 elementos, solo un (1) elemento el Fe tiene una distribución normal y los 13 restantes tienen distribución lognormal: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, W, Zn, implica que para calcular la media y los otros parámetros se debe transformar sus valores de abundancia en logaritmos.

## 5.2. Abundancia o background de los metales pesados

La abundancia media de los metales pesados (media) en los sedimentos de cada río presenta la siguiente secuencia en orden decreciente:

Río Supe:

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

Fe = 4.23%

Río Pativilca:

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

Fe = 3.84%

Basados en el análisis se concluye que en el río Supe predominan el V-Zn-Cu, y los menos abundantes Mo-Cd-Hg y el Fe alcanza una abundancia promedio de 4.23%. En el río Pativilca predomina Zn-V-Cr y los menos abundantes son el Mo-Cd-Hg y el Fe alcanza 3.84% menor que el río Supe. Asimismo, el V y el Zn son los metales que tiene la media más alta en los ríos respectivos, mientras que el Hg presenta la media más baja en los dos ríos.

## 5.3. Asociaciones geoquímicas de los metales pesados

El análisis de correlación lineal de Pearson en los sedimentos de los ríos Supe y Pativilca, 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 del río Pativilca son: **As** con Cu, Pb, Sb, Zn ( $r < 0.5$ ); **Cd** con Mo, Ni, Pb, Zn ( $r > 0.5$ ), el **Mo** con Cd, Ni, V ( $r > 0.5$ ) y el **Pb** con Cd, Zn ( $r > 0.5$ ).

Con respecto al Río Supe las correlaciones más resaltante son del **Cu** con el Mo ( $r > 0.5$ ), el **Fe** con V y W ( $r > 0.5$ ), el **Zn** con Pb ( $r > 0.5$ ).

Todas las correlaciones mencionadas tienen 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 entre los metales nos informan que podría tener el mismo origen de procedencia. Por otro lado, correlaciones menos acentuadas se dan en el río Supe y Pativilca entre los demás metales, indica que el origen de su abundancia no es común.

El tratamiento estadístico incluyó el Análisis de Componentes Principales (ACP) con el propósito de encontrar un patrón geoquímico regional determinándose tres componentes para cada cuenca:

En el río Supe:

Componente Principal 1: La asociación Fe-V-W-Cu con  $r > 0,5$  positivo asociado con una menor correlación al Hg-Ni.

Componente Principal 2: La asociación Zn-Pb-Mo con  $r > 0,5$  positivo y en menor correlación el Cu-As-Cr-Sb.

Componente Principal 3: La asociación Hg-Mo-Cu en baja correlación positiva asociado al As-Fe-V-W con correlación negativa (Figura N.º 5).

En el río Pativilca:

Componente Principal 1: Tiene una asociación Cd-Zn-Mo-Ni-Pb-As entre los cuales la correlación lineal es positiva ( $r > 0.5$ ) y una asociación de baja correlación de V-Sb-Cr-Cu.

Componente Principal 2: La asociación Sb-Pb con  $r > 0.5$  positiva alta asociada con menor correlación negativa Mo-Ni-Cr-V-Sn.

Componente Principal 3: La asociación V-Fe tiene correlación positiva  $r > 0.5$  y asociada al Cr-Sn-Zn-Pb con baja correlación negativa (Figura N.º 5).

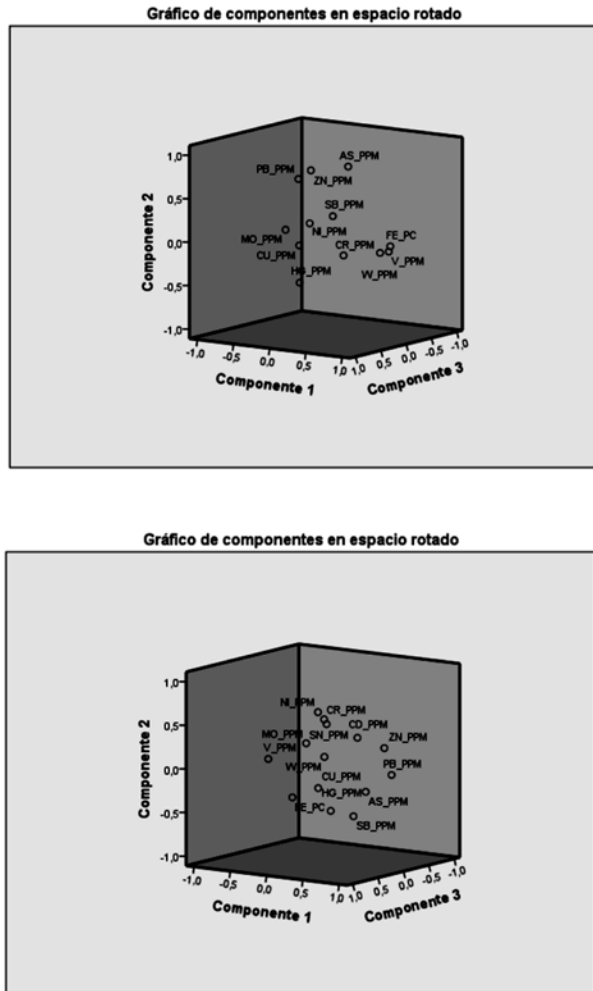


Figura 5. Componentes principales en el espacio en río Supe y Pativilca

#### 5.4. Dispersión y concentración geoquímica de los metales pesados

La dispersión geoquímica es la capacidad de migración de un elemento desde su origen hacia otro ambiente a través de diferentes procesos fisicoquímicos y mecánicos, en nuestra investigación se centra en el comportamiento de los metales pesados en ambiente geoquímico secundario.

Las figuras de las dispersiones nos muestran el comportamiento de los metales pesados en los ríos Pativilca y Supe teniendo en cuenta las coordenadas UTM (Este) de los puntos de muestreo.

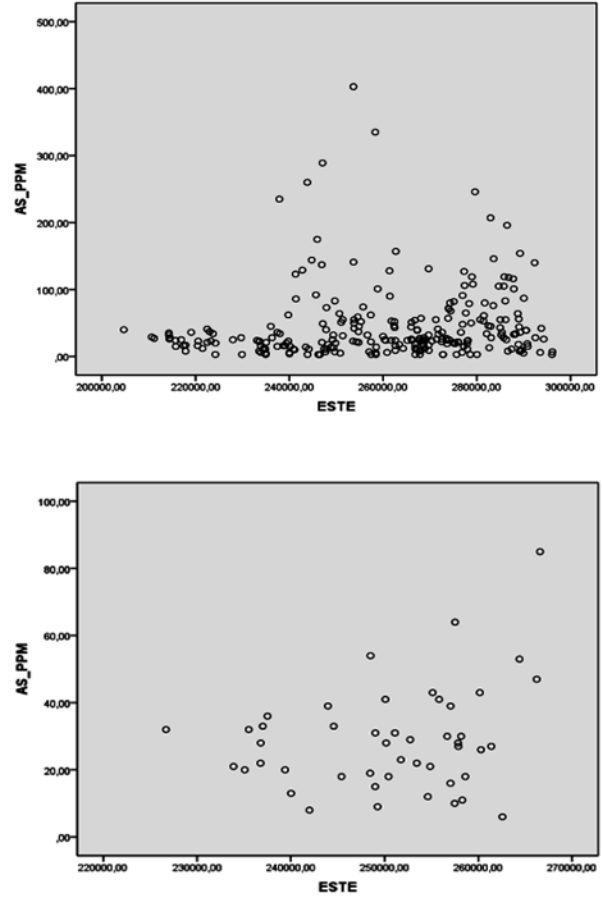


Figura 6. Dispersión del as en los ríos Pativilca y Supe.

En el río Pativilca los metales de alta dispersión son As-Cr-Fe-Sb-V, de mediana dispersión Cd-Cu-Ni-Pb-Zn y baja dispersión Mo-Sn-Mo-Sb.

En el río Supe los metales de alta dispersión son As-Cr-Cu-Fe-V-Zn, de mediana dispersión Ni-Mo-Pb-Sb y baja dispersión W y nula dispersión Hg-Cd-Sn por tener un mismo valor (Figura N.º 6).

#### 5.5. Comparaciones con Tabla Holandesa Ambiental

Los agentes de protección ambiental de los países desarrollados 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 presenta para comparar la tabla Holandesa de 1983 y 2001 con los valores de los ríos Pativilca y Supe en el contenido de metales en su percentil 90.

Los denominados Valores Target 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 están seriamente deterioradas o en peligro para la vida.

Comparando los contenidos de los metales en el Río Pativilca y Supe con la Tabla Holandesa se llega a la conclusión que el río Pativilca sobrepasa los niveles de intervención en lo que respecta al metal arsénico-As- (Tabla N.º 2). El Cu y Mo sobrepasan los niveles Target en ambos ríos.

### 5.6. Comparación ambiental con los ríos al norte y sur de la ciudad de Lima

Comparando los valores de los ríos tanto al norte como al sur de la ciudad de Lima se llega a la conclusión que el río **Rímac** sobrepasa los valores de intervención en As, Cu, Zn, Sb, le sigue el Río

Tabla N.º 2. Legislación Holandesa y ríos Pativilca y Supe

Metal	1983		2001		Percentil 90	
	Valor Target	Valor Intervención	Valor Target	Valor Intervención	Río Pativilca	Río Supe
As	30	50	29	55	107.6	48.2
Cd	5	20	0,8	12	2	1
Cr	250	800	100	380	76.6	81
Cu	100	500	36	190	90.56	84.16
Pb	150	600	85	530	72	44
Hg	2	10	0,3	10	0.24	0.05
Mo	40	200	3	200	10	7
Ni	100	500	35	210	48	22.2
Sn	50	300	0	0	10	10
Zn	500	3000	140	720	311.6	137
Sb			3	15	9	9
V					162.6	176
W					14	17.4
Fe					6	5.85

Tabla N.º 3. Comparación de los valores en los ríos del departamento de Lima con la Tabla Holandesa

Metal	Valor Interven. 2001	Percentil 90									
		Pativilca	Supe	Huaura	Chan-cay	Chillón	Rímac	Lurín	Chilca	Mala	Omas
As	55	107.6	48.2	80	136	68	231	63	133.6	74	43
Cd	12	2	1	2	2	2	3.4	0.9	0.9	0.9	2.6
Cr	380	76.6	81	94	117	107	106	154	100	125	101
Cu	190	90.56	84.16	99	96	105	209	98	170	129	274
Pb	530	72	44	100	128	69	356	57	51	51	43
Hg	10	0.24	0.05	0.43	0.44	22	59	9	0.1	0.15	0.26
Mo	200	10	7	10	9	7.6	9	7	6	5.3	9
Ni	210	48	22.2	39	36	38	26	19	29	19	28
Sn	0	10	10	20	15	9	16.4	15.5	9	9	9
Zn	720	311.6	137	261	513	269	786	199	273	132	207
Sb	15	9	9	10	14	69	356	57	10	6.3	6
V		162.6	176	231	187	317	274	167	330	215	177
W		14	17.4	10	14	9	20	14	9	9	9
Fe		6	5.85	6	6	6.6	7.2	5.8	8.5	5.14	6.76

**Chillón** en As, Hg, Sb; el Río **Lurín** en As, Sb; el Río **Mala, Chilca, Chancay, Huaura y Pativilca** en As, y el río **Omas** en Cu y el río **Supe** es el único río no contaminado en ningún metal (Rivera H., 2007, 2009 y 2010).

## 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 de los ríos Pativilca y Supe, además de la correlaciones entre los metales y las comparaciones de los contenidos de los metales pesados en diez ríos al norte y sur de la ciudad de Lima y comparando con los valores de intervención de la Tabla Holandesa del 2001.

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 investigación y hacer 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.

El problema en los estudios toxicológicos relacionados con la presencia de contaminantes en el medio es el siguiente: no todas las mismas formas de un determinado metal tienen los mismos efectos sobre el ecosistema. Por lo tanto, no es suficiente saber la geodisponibilidad de un metal pesado que contiene un sedimento o suelo o agua, sino que es necesario saber también en qué forma química se encuentra en el mismo. A este respecto resultan vitales los estudios de especiación del elemento en cuestión.

## VI. CONCLUSIONES

1. En los sedimentos del Río Supe, se indica que de los 14 elementos, solo 3 elementos, Mo, Sb y W tienen una distribución log-normal y 8 tienen distribución normal: As, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V, Zn, y 3 no se pudo calcular los estadísticos debido a que las muestras tenían un solo valor: Cd, Sn y Hg. Mientras que en los sedimentos del río Pativilca, de los 14 elementos, solo 1 elemento el Fe tiene una distribución normal y los 13 restantes tienen distribución lognormal.
- 2- Se concluye que en los dos ríos predominan el Zn-V, y los menos abundantes Mo-Cd-Hg. Asimismo, el Zn es el metal que tiene la abundancia media la más alta en el río Pativilca y el V en el río Supe, mientras que el Hg presenta la abundancia media más baja en los dos ríos.

3. Se determinó que en el río Pativilca la asociación que se correlacionan mejor es Cd-Zn-Mo-Ni-Pb-As y en el río Supe la asociación Fe-V-W-Cu, que se constituyen en los componentes principales.
4. En el río Pativilca los metales de alta dispersión son As-Cr-Fe-Sb-V, de mediana dispersión Cd-Cu-Ni-Pb-Sb y baja dispersión Mo-Sn-Sb-W y en el río Supe los metales de alta dispersión son As-Cr-Cu-Fe-V-Zn de mediana dispersión Ni-Mo-Pb-Sb y baja dispersión W y de nula dispersión Hg-Cd-Sn.
5. Con respecto a la contaminación en el río Pativilca sobrepasan los valores de intervención – peligro para la vida– en el metal arsénico y en el río Supe sobrepasa los niveles de target. El Cu y Mo sobrepasa los niveles de Target en ambos ríos y el Zn en el río Pativilca.
6. Comparando los valores de los ríos tanto al norte como al sur de la ciudad de Lima el río Rímac sobrepasa los valores de intervención en As, Cu, Zn, Sb, le sigue el río Chillón en As, Hg, Sb; el río Lurín en As, Sb; el río Mala, Chilca, Chancay, Huaura en As, en el río Omas en Cu, en Pativilca en As y en Supe no hay contaminación en los sedimentos activos de su cuenca.

## VII. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico- INGEMMET- por su colaboración en proporcionarnos la data geoquímica para nuestro análisis e investigación y a las Autoridades de nuestra Facultad y de la Universidad por su apoyo,

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COBBING, J. (1973) Geología de los cuadrángulos de Barranca (22-h), Ámbar (22-i), Oyón (22-j), Huacho (23-h), Huaral (23-i) y Canta (23-j). Boletín N.º 26 de la Serie A: Carta Geológica Nacional. INGEMMET.
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 Vol. 10 N.º 20 de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de UNMSM.
3. Rivera, H., Chira, J. *et al.* (2009). Análisis correlacional y caracterización geoquímica de la mineralización de las cuencas de los Ríos Chilca, Mala, Omas. Dpto. de Lima. Revista del Instituto de Investigación Vol. 12 N.º 24 de la Facultad

de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. UNMSM.

4. Rivera, H., Chira, J. *et al.* (2010). Geodisponibilidad de metales pesados en sedimentos de los

ríos Chancay y Huaura. Dpto. de Lima. Revista del Instituto de Investigación Vol. 13 N.º 26 de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica, y Geográfica. UNMSM.