APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA MULTIVARIAL EN DISPERSIÓN SECUNDARIA DE "TIERRAS RARAS" DE LOS VOLCÁNICOS HUAMBOS, CUENCA DEL RÍO CHANCAY –LAMBAYEQUE

Luis Enrique VARGAS RODRÍGUEZ, Jorge CHIRA FERNÁNDEZ, Dennis, CHERO INOQUIO

INGEMMET, Av. Canadá 1470, Lima 41
lvargasr@ingemmet.gob.pe, jchira@ingemmet.gob.pe, dchero@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es caracterizar la dispersión geoquímica secundaria de las principales "tierras raras" a partir de sedimentos activos de corriente, cuya unidad primaria de aporte son las tobas ácidas de los Volcánicos Huambos. Así mismo mostrar la utilidad de dicha metodología para los diferentes elementos de interés económico en los diferentes ambientes geológicos. Esta caracterización geoquímica se realiza a través del empleo de técnicas estadísticas multivariales (análisis de componentes principales), aplicando el software SPSS (v.15), permitiendo determinar el comportamiento geoquímico de las "tierras raras" y su relación con otros elementos traza.
La zona estudiada comprende parte de los departamentos de Lambayeque y Cajamarca, entre los 6º 21' - 6º 55' de Latitud Sur y 78º 37' - 79º 20' de longitud Oeste.
Se efectuó un muestreo de sedimentos durante los meses de mayo y julio de 2005 en toda la cuenca Chancay-Lambayeque (283 muestras), de los cuales 95 muestras provienen de los Volcánicos Huambos. Se tomaron lecturas de los parámetros físico-químicos del agua en cada estación de muestreo (Banks et al., 2004), así como la descripción de los diversos materiales presentes en el lecho de la corriente, además de la caracterización de las unidades geológicas que afloran en los alrededores.
Las muestras han sido tamizadas en campo a malla 30 y se analizó la fracción granulométrica menor a 74 µm (malla 200) por ICP-MS, previo ataque de agua regia.
El análisis de componentes principales (ACP) permite determinar asociaciones de elementos de acuerdo al ambiente geológico y la mineralización dominante; esto se logra con la aplicación del software SPSS (v.15). En este artículo se determinan los patrones de dispersión geoquímica secundaria de las principales "tierras raras", así como los elementos traza asociados.

CONTEXTO GEOLÓGICO

En la cuenca Chancay aforan rocas del Jurásico inferior representadas piroclastos y lavas andesíticas de los Volcánicos Oyotún y rocas volcánico-sedimentaras de la Formación Tinajones.
Están presentes también rocas sedimentarias del Cretáceo, pertenecientes al Grupo Goyllarisquizga, las formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Pulluicana, Cajamarca, Celendín, Chota y el Grupo Quillquiñán. El Cenozoico está representado por tobas y brechas ácidas de los Volcánicos Huambos así como lavas y rocas piroclásticas andesíticas del Grupo Calipuy (Fig. 1). Son importantes los depósitos cuaternarios recientes.
Las rocas intrusivas pertenecen al Batolito de la Costa del Cretáceo superior y a pequeños stocks ácidos de la franja intrusiva de la Cordillera Occidental (Wilson, 1984).

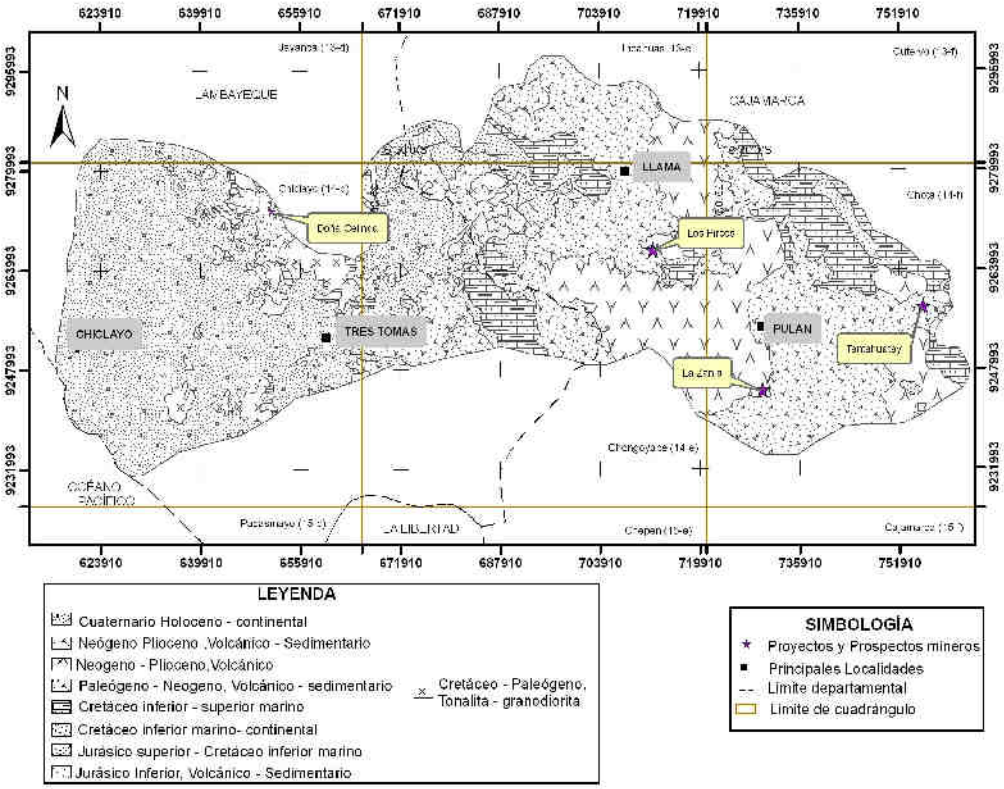

Figura 1 Mapa Litológico

APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA MULTIVARIAL

Debido al gran desarrollo de las técnicas multielementales en la caracterización analítica de muestras geoquímicas, sumado a la determinación de otros parámetros de campo como los físico-químicos y geológicos, nos vemos en la necesidad de integrar, procesar e interpretar una gran cantidad de datos, los que a la postre se convertirán en información valiosa.

El análisis multivarial puede considerarse como un conjunto de técnicas o métodos científicos que permiten tratar matrices de datos de gran dimensión.

El objetivo prioritario de un análisis multivarial es reducir la dimensión original de un conjunto de variables a un conjunto menor, para lograr una mejor interpretación de los datos. Se busca la reducción de las variables manteniendo el máximo de la información sin redundancias y explicando la máxima variabilidad total de las variables originales, en nuestro caso dichas variables serán las abundancias de las principales "tierras raras" y otros elementos traza presentes en sedimentos activos de corriente.

Al realizar el análisis de componentes principales se generan nuevas variables las que se denominan variables sintéticas, las que agrupan variables originales en subconjuntos de variables que están íntimamente relacionadas entre sí. Cada uno de los subconjuntos determinados explica una fracción de la varianza total de las variables originales.

El proceso matemático por el que se desarrolla la elección de las componentes principales de una muestra, se realiza a partir de una matriz de correlaciones, en la que mediante la aplicación del análisis factorial correspondiente, se extrae otra que se denomina matriz factorial (Harman, 1976).

DEFINICIÓN DE LA MATRIZ DE CORRELACIONES

Se parte de la matriz de variables originales X que recoge información inicial de la muestra de n casos (la que en nuestro estudio serían los puntos de muestreo) sobre p variables (abundancia de los elementos a tratar):

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{np} \end{pmatrix}$$

Asimismo, a partir de X se puede calcular la matriz de correlaciones muestral R. Esta matriz informa sobre la concomitancia en la variación observada entre pares de variables que se tratara de explicar con el menor número de factores (variables sintéticas). Las variables que muestran una muy baja correlación son eliminadas del análisis.

OBTENCIÓN Y SELECCIÓN DE LAS COMPONENTES PRINCIPALES

Los componentes principales son una nueva clase de variables independientes entre sí (ortogonales) y funciones lineales de las variables originales, con la propiedad de tener varianza máxima. Estos componentes están jerarquizados en base a la información que incorporan, medido por el porcentaje de varianza total explicada de la matriz de datos originales. La obtención de los componentes se realizó empleando el software SPPS 15.

A continuación se presenta el procedimiento de manera resumida para la determinación de los componentes principales (Uriel, 1995):

La primera componente principal Z_{1i} se expresa como combinación lineal de las p variables originales, donde u_{1j} son las ponderaciones:

$$\begin{pmatrix} Z_{11} \\ Z_{12} \\ \dots \\ Z_{1n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{11} & X_{21} & \dots & X_{p1} \\ X_{12} & X_{22} & \dots & X_{p2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{pn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{12} \\ \dots \\ u_{1p} \end{pmatrix}$$

De forma matricial resumida, el componente z_1 será:

$$z_1 = Xu_1$$

La primera componente se obtiene maximizando su varianza Var (z_1), sujeta a la restricción de que la suma de sus ponderaciones (u_{1j}) al cuadrado sea igual a la unidad:

$$\sum_{j=1}^{p} u_{1j}^2 = u_1' u_1 = 1$$

Para maximizar dicha función sujeta a la restricción, se conforma el langrangiano a maximizar:

$$L = u_1' V u_1 - \lambda(u_1' u_1 - 1)$$

Derivando respecto a u_1 e ig

$$\frac{\partial L}{\partial u_1} = 2Vu_1 - 2\lambda u_1 = 0 \ ; \ (V - \lambda I)u_1 = 0$$

Al resolver esta expresión se obtienen raíces características o autovalores ("eigenvalues"). El vector u_1 es el vector característico ("eigenvector") correspondiente a la raíz característica mayor (λ_1) de la matriz V. El resto de componentes se obtienen de forma análoga.

Para considerar la proporción de la varianza total explicada por cada componente, es necesario determinar la varianza de las componentes. Dada la condición impuesta de que $u'_h u_h = 1$, la varianza del componente Z_h es precisamente la raíz característica λ_h a la que va asociada:

$$Var(z_h) = u_h' V u_h = \lambda_h$$

La variabilidad total observada en las variables originales puede definirse como la suma de sus varianzas, las cuales aparecen en la diagonal principal de la matriz V. La traza, suma de los elementos de la diagonal principal, de la matriz V es precisamente esa varianza total:

$$Traza(V) = \sum_{h=1}^{p} \lambda_h$$

Para la selección del número de componentes a considerar se siguió el criterio de Kaiser, en la que se consideran las componentes cuyas raíces características son mayores a la unidad, con todo ello se construye la matriz factorial.
En base a las cargas factoriales de cada elemento según el componente principal (CP) podemos determinar las asociaciones más significativas entre los elementos traza, ver figura 2.

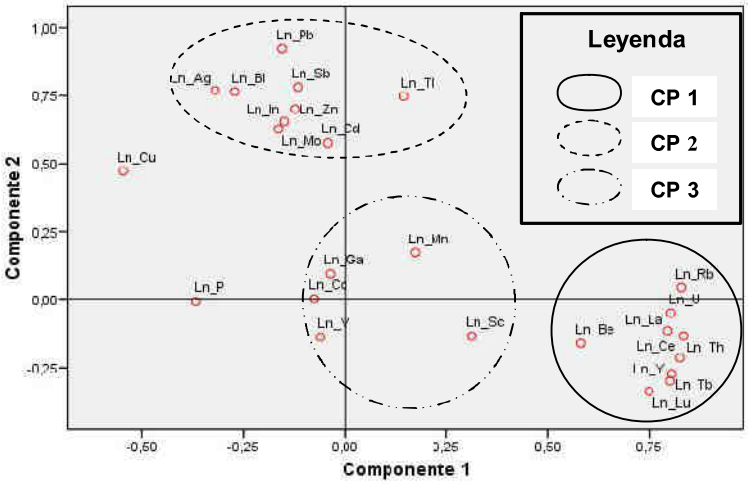

Figura 2 Asociaciones Factoriales

DISPERSIÓN GEOQUÍMICA SECUNDARIA

Las características de los patrones de dispersión geoquímica secundaria son consecuencias naturales de los procesos dinámicos de dispersión. Estudiaremos los patrones de dispersión geoquímica del tipo epigenético clástico, que según el fraccionamiento de los elementos corresponde a una dispersión mecánica, es el caso de las "tierras raras", que permanecen relativamente estables en condiciones supérgenas, quedando restringida la acción de la meteorización química.
Se determinaron los patrones de dispersión geoquímica secundaria a lo largo de las sub-cuencas más representativas, en la cual se analiza y compara la variabilidad de las abundancias de los elementos lantánidos (incluidos el Sc e Y) y los 46 elementos traza restantes determinados por ICP-MS.
La variabilidad de las abundancias se representó espacialmente según las concentraciones de los elementos siguiendo la dirección del drenaje. Uno de los sectores más representativos es el denominado La Zanja Este que sigue el recorrido a lo largo de todo el río Pisit, aguas abajo del distrito de Pulán toma el nombre de río Cañad; posteriormente confluye con el río Chancay hasta confluir con el río San Lorenzo. Todo este trayecto abarca una longitud aproximada de 22 km., en las cuales se controló la variabilidad de las concentraciones de los elementos lantánidos a través de 16 estaciones de muestreo.
A continuación se muestran los patrones de dispersión de los principales elementos lantánidos y otros elementos traza, enfatizando aquellos que muestran patrones de dispersión similares y los que presentan contrastes geoquímicos notables en sus patrones de dispersión.

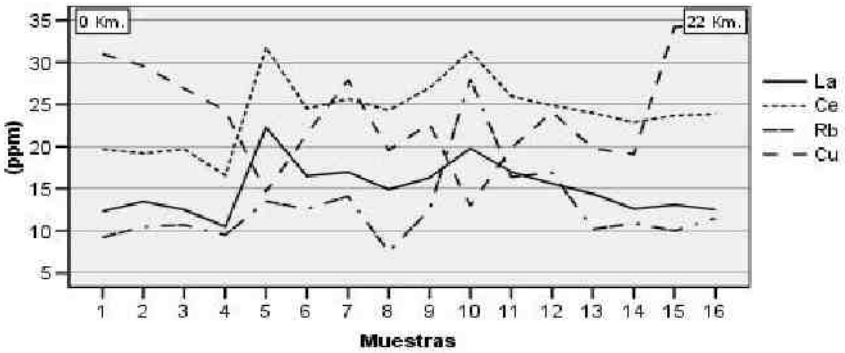

Figura. 3 Variabilidad La-Ce-Rb-Cu

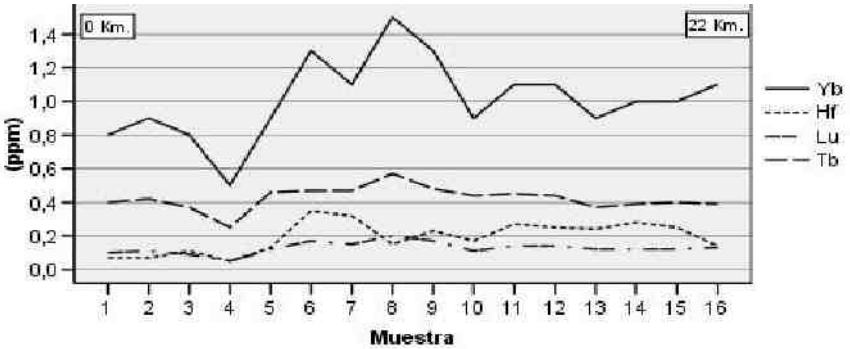

Figura 4 Variabilidad Yb-Hf-Lu-Tb

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De la aplicación del análisis de componentes principales se determinó que el Y, Yb, Tb, Lu, U, Ce, Be, Th, La y Rb muestran una relación muy marcada, la cual es descrita por el componente 1, mientras que el cobre presenta un comportamiento disímil. En lo que se refiere al componente 2, este denota una asociación polimetálica conformada por Pb, As, Sb, Tl, Ag, Bi, Zn, Mo, In y Cd.
El Sc muestra cierta afinidad con el V, Co, Ga y Mn tal como se describe en el componente 3, mas no con las "tierras raras".
En el sector denominado La Zanja Este, según la variabilidad de las concentraciones a lo largo del drenaje principal, se observan dos patrones de dispersión bien definidos, el primero representado por La, Ce y Rb, los que muestran una variabilidad de concentraciones similar, donde el Ce resulta ser el elemento más abundante, en tanto que el cobre presenta un patrón de dispersión disímil (figura 3).
El segundo patrón de dispersión geoquímica es representado por la variabilidad de las concentraciones del Yb, Tb y Lu a lo largo del drenaje principal del sector La Zanja Este, mientras que para el caso del Hf, este muestra un patrón similar. Siendo el Yb el elemento más abundante (figura 4).

CONCLUSIONES

La correcta aplicación de la estadística multivarial en la caracterización de la dispersión geoquímica secundaria resulta útil, específicamente en la definición de elementos químicos que muestran una estrecha relación, por ello esta metodología se convierte en una buena alternativa para caracterizar patrones de dispersión secundaria debido a su gran consistencia matemática la cual radica en la exploración simultánea de múltiples variables.
Las cargas factoriales presentes en el componente 1, evidencian una fuerte afinidad geoquímica entre el La, Ce, Tb, Yb, Lu e Y acompañados del Be, Rb, Th y U. Esto es muy bien reflejado específicamente en los patrones de dispersión secundaria de las "tierras raras".
Las denominadas "tierras raras", presentaron dos patrones de dispersión característicos (bajo condiciones de pH ligeramente alcalino), el primero de ellos definido por el La y Ce las cuales se explican por ser las más ligeras del grupo, acompañadas del Rb. El segundo patrón de dispersión caracterizado está definido por el Tb, Yb y Lu acompañados por el Hf, este último suele presentarse en las principales ocurrencias minerales de las "tierras raras" pesadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banks, D., Markland H., Smith P., Mendez C., Rodríguez J., Huerta A., Seather O. (2004): "Distribution, salinity and pH dependence of elements in surface waters of the catchment areas of the Salars of Coipasa and Uyuni, Bolivian Altiplano". Journal of Geochemical Exploration 84. p. 141-166.
Harman, H. 1967. Modern Factor Analysis. Universidad de Chicago Press. Segunda edición. p. 474.
Uriel, E. 1995. Análisis de datos: Series temporales y análisis mutivariante. Editorial AC. Madrid. p. 343.
Wilson J. 1984. Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén. INGEMMET. Boletín N° 38, Serie A. p. 23-67.