

GEOQUÍMICA Y SISTEMAS CO-MAGMÁTICOS DEL CARBONÍFERO: ARCO MAGMÁTICO PATÁZ (350-300 Ma)

Wilson Gomez, Mirian Mamani, Sandra Choquehuanca, Lourdes Cacya
INGEMMET, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú. wgomez@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Al norte de la Cordillera Oriental de los Andes, desde Buldibuyo (La Libertad) hasta Santo Tomás (Amazonas), afloran rocas plutónicas en forma discontinua y de gran extensión conformadas por diferentes unidades de rocas intrusivas con un alineamiento NO-SE que reportan edades del Carbonífero entre 350 a 300 Ma (Sánchez et al., 2006; Miskovic et al., 2009). Estos intrusivos intruyen a las rocas metamórficas del Complejo Metamórfico del Marañón, y hospedan abundantes vetas de Au. En las zonas de Bolívar, Patáz y Huaylillas los intrusivos son cubiertos por ignimbritas. La edad de las ignimbritas está en discusión porque algunos trabajos le asignan al Neógeno (Haeberlin, 2002 y referencias allí mencionadas) y otros trabajos le atribuyen al Carbonífero (Sánchez, 2006 y referencias allí mencionadas).

El presente trabajo propone que las ignimbritas de la Formación Lavasen son co-magmáticas con los granitos del Carbonífero, tal como lo surgió Sánchez (2006), además explica la relación de las vetas de Au y los granitos. Estos resultados están basados en el mapeo geológico, dataciones radiométricas y geoquímica de roca total. Estos avances son el resultado de la integración de mapas realizados dentro del proyecto GR5 “Geología del Batolito de Patáz” de la dirección de Geología Regional del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

CONTEXTO GEOLÓGICO

A lo largo de ambos márgenes del Río Marañón afloran rocas del Complejo Metamórfico del Marañón (CMM, Wilson & Reyes, 1964). El CMM está conformado por rocas de las Formaciones Contaya (esquistos y metavolcánicos) del Ordovícico y Tres Lagunas (metavolcánicos) del Silúrico-Devónico, y algunos granitoides del Batolito de Patáz (gneises) afectados por el metamorfismo de 300 Ma (Cardona et al., 2009). Las esquistosidades de las rocas del Complejo Metamórfico del Marañón son generalmente paralelas al Sistema de Fallas del Marañón (Fig. 1, SFM). EL SFM coincide espacialmente con la zona de mayor debilidad y está relacionada a la margen oeste antigua del cratón Amazónico (Miskovic et al., 2009).

En el Carbonífero a lo largo del SFM se emplazaron los granitoides del Batolito de Patáz y también en este periodo se generó gran volumen de ignimbritas (Formación Lavasen).

Las unidades Meso-Cenozoicas yacen en discordancia angular suave a las rocas del Paleozoico y estas unidades corresponden a: Gpo. Mitu, Gpo. Pucará, Gpo. Goyllarisquizga, Fm. Chulec-Pariatambo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Geoquímica de elementos mayores, traza y tierras raras

Para el desarrollo de esta sección se ha procesado una base de datos de geoquímica de roca total (427 muestras), los datos fueron compilados de los trabajos de Haeberlin (2002), Sánchez (2006), Cardona (2006) y Miskovic (2009). En los diagramas de discriminación para rocas ígneas nos muestra que las rocas de la Formación Contaya son andesitas, las lavas de la Formación Tres Lagunas tienen composición de basalto a basalto-andesita, las unidades graníticas del Batolito de Patáz muestran un amplio rango de composición y varían desde gabros a granitos ($\text{SiO}_2=45-80\%$, Fig. 2A) y las ignimbritas de la Formación Lavasen varían entre dacitas y riolitas. Estas rocas corresponden a la serie magmática calco-alcalina con contenido medio a alto de K_2O (Fig. 2B).

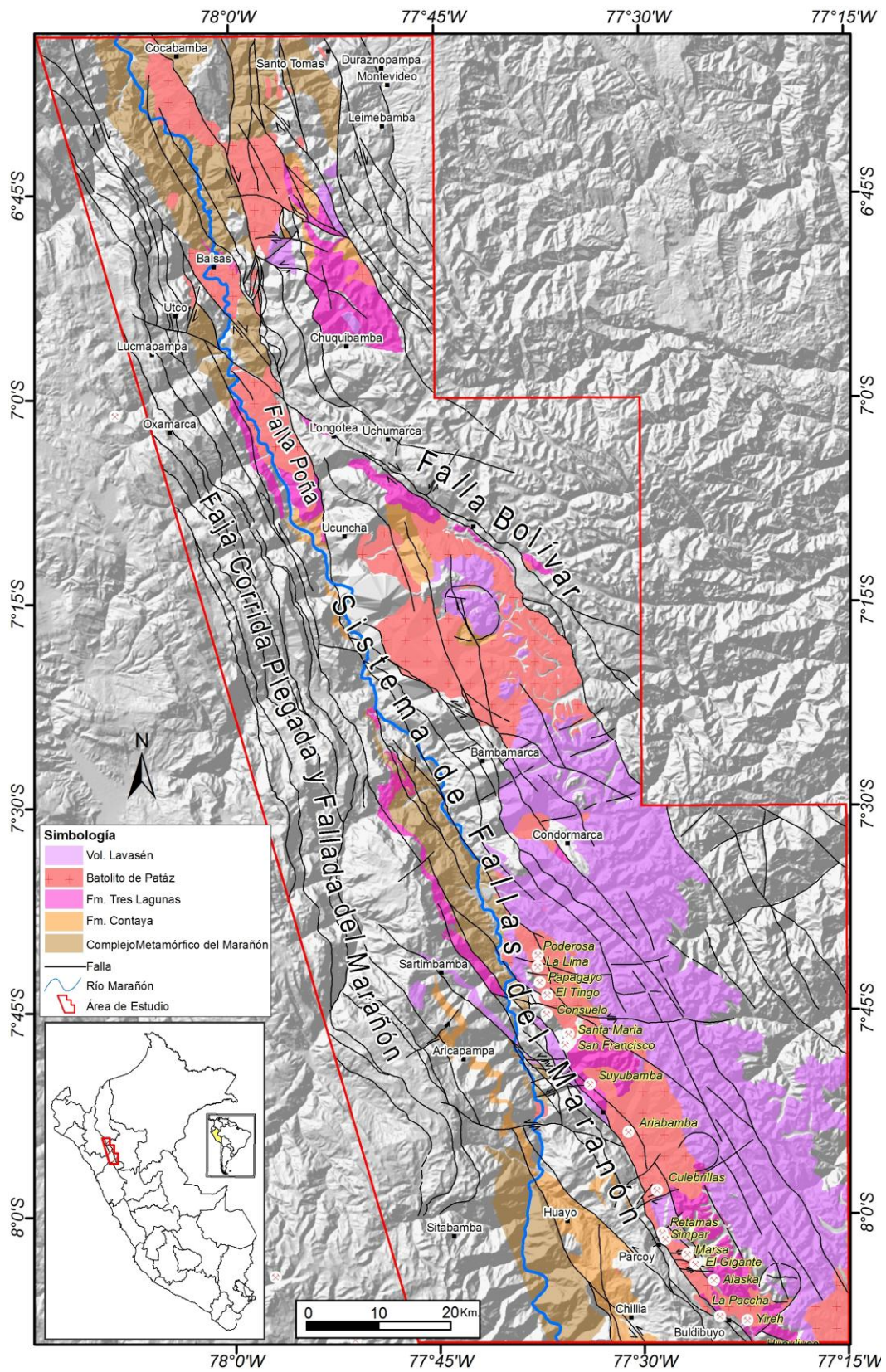


Figura 1: Mapa geológico con las principales unidades mencionadas en este trabajo.

Con respecto a la saturación de alúmina (Fig. 2C), todas las muestras corresponden al grupo de rocas metalumínicas a peraluminicas. Las ignimbritas de la Formación Lavasen pertenecen al grupo de rocas peraluminicas esto se debe al incremento de agua en la fusión de los magmas. En el diagrama de SiO₂ versus FeO total (Fig. 2D) se muestra una negativa correlación, las ignimbritas de la Formación Lavasen presentan bajo contenido de FeO total y las muestras del Batolito de Patáz con bajo a alto contenido de FeO total (0.5 a 12), las lavas de Tres Lagunas presenta alto contenido de FeO total (9 a 12.5), la Formación Contaya alto contenido de FeO total (13.7).

Los perfiles de las concentraciones normalizadas al Manto Primitivo (Fig. 2E, McDonough y Sun, 1995), la baja concentración de Nb y Ta son típicos de magmas formados en zonas de subducción. Los perfiles de las concentraciones de los elementos de tierras raras pesadas de los intrusivos del Batolito de Patáz y las ignimbritas Lavasen son paralelas y se superponen. El empobrecimiento de Sr y Eu indican cristalización de las plagioclasas. El enriquecimiento de los elementos radioactivos de Th-U-K se debe a que estos magmas se contaminaron con más del 10% con rocas de la corteza superior. El enriquecimiento ligero de tierras raras ligeras (La, Ce, Pr, Nd, Hf) está controlado por la estabilidad en la cristalización de las plagioclasas. No se observa empobrecimiento de los elementos de tierras raras pesadas (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Y), por lo tanto, se descarta el mineral residual de granate.

En el diagrama de discriminación de la signature de Adakita (Fig. 3A), las rocas ígneas caen fuera del campo de adakitas y las razones Sr/Y son bajas. Para determinar el tipo de corteza que contaminó los magmas se usa el diagrama de Ce/Y versus Ce (Fig. 3B), donde se observa que algunos granitoides, ignimbritas y los metavolcánicos de la Formación Contaya derivan de la fusión parcial de la anfibolita; y gran parte de las rocas de la Formación Contaya y las lavas de Tres Lagunas son magmas juveniles y/o están poco contaminados.

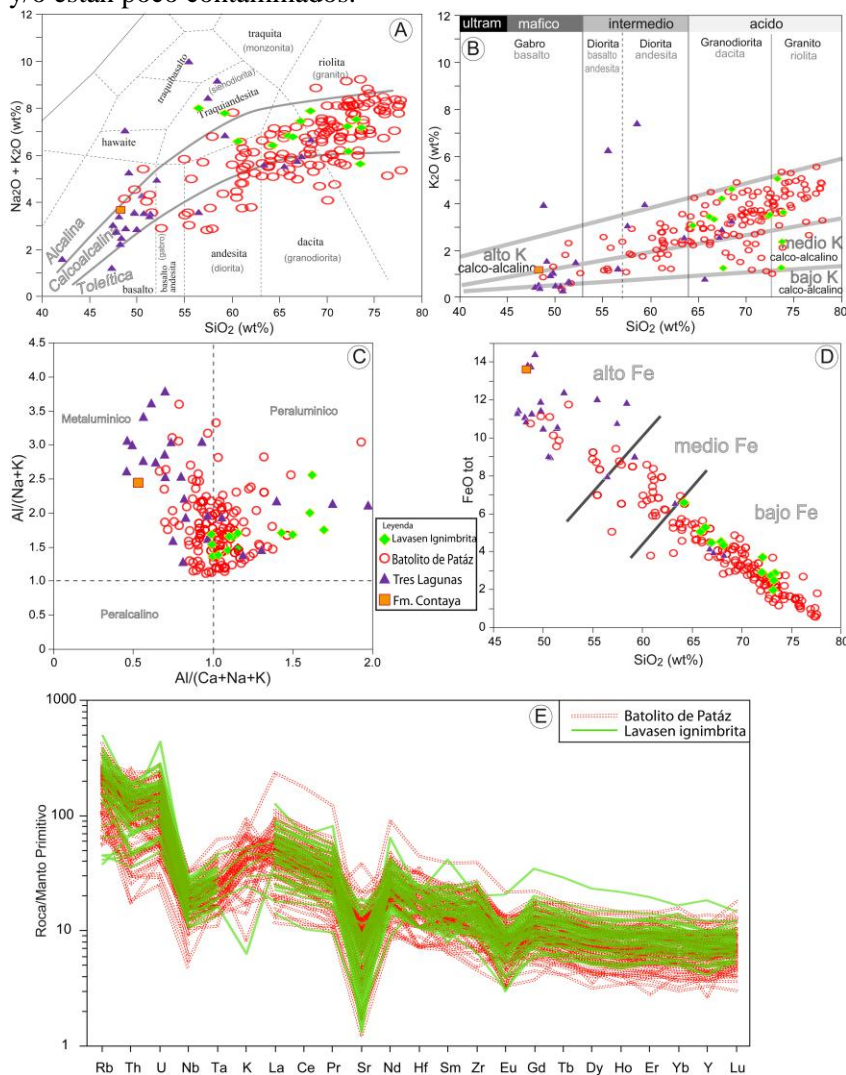


Figura 2:

A) Diagrama de SiO₂ versus Na₂O+K₂O para la clasificación de la serie magmática.

B) Diagrama de SiO₂ versus K₂O para la clasificar las rocas calco-alkalinas.

C) Diagrama para determinar el índice de saturación de alúmina.

D) Diagramas de FeO total versus SiO₂ para determinar el contenido de FeO total.

E) Perfiles de tierras raras, valores que fueron normalizados a los valores del Manto Primitivo (McDonough y Sun, 1995).

La relación genética (Fig. 3C) entre las rocas ígneas y las ocurrencias metálicas puede ser determinadas a través del estado de oxidación (FeO total) versus la fugacidad de oxígeno representado por las anomalías de Eu/Eu* de los magmas. En el diagrama se observa que los granitoides del Batolito de Patáz presentan valores de FeO total (0.7 a 9) y Eu/Eu* (0.4 a 1.10), y las ignimbritas de la Formación Lavasén con valores de FeO total (3 a 5.6) y Eu/Eu* (0.53 a 0.62), las lavas de la formación Tres Lagunas con FeO total (4 a 10.5) y Eu/Eu* (0.75 a 1.08). Estas relaciones indican que los granitoides están relacionados a ocurrencias de Cu-Mo, Pb-Zn (Ag). Las lavas de Tres Lagunas debido a su alto contenido de FeO total están relacionadas a ocurrencias de Cu-Au y Fe-Cu-Au.

Entonces ahora toca plantearse las siguientes preguntas:

¿Porque las vetas de Au se alojan en los granitoides si genéticamente estos están relacionadas a Cu-Mo y Pb-Zn (Ag)? Las rocas relacionadas a ocurrencias de Au son las rocas de la Formación Tres Lagunas, por lo tanto, la formación Tres Lagunas ha tenido que ser un contaminante de los magmas fuente de los granitoides. Esta contaminación se habría dado principalmente al contacto con la roca caja, posteriormente debido a la actividad de la falla Marañón y a alta concentración de los elementos radiactivos del granitoide se favorece la circulación de fluidos principalmente en las zonas débiles y así se forman las vetas de Au acompañadas por ocurrencias de Cu-Pb-Zn.

¿Si los granitoides están relacionados a ocurrencias de Cu-Mo y Pb-Zn (Ag), porque no se tiene grandes depósitos de esas ocurrencias relacionados a los granitoides?

Los granitoides de Patáz se formaron a poca profundidad (Fig. 4) y por ser someros los fluidos se exsolucionan por descompresión rápida y este proceso empieza a fracturar la roca en el techo de la intrusión y así favorece la formación de vetas de Au-Cu-Pb-Zn, y cuando la fugacidad de oxígeno incrementa bruscamente se forman las ignimbritas. Si los intrusivos se hubieran dado a más profundidad los fluidos exsolucionados hubieran formado stocks porfiríticos y la producción de ignimbritas hubiera sido menor.

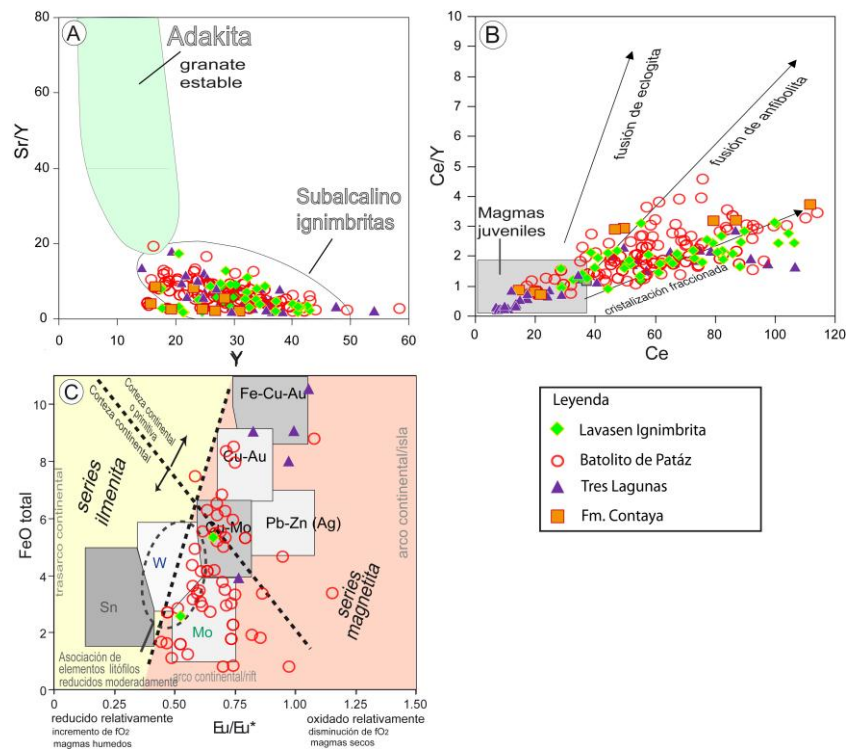


Figura 3. A) Diagrama para distinguir Adakitas en base a las razones de Sr/Y versus concentraciones de Y, B) Razones de Ce/Y versus concentraciones Ce, C) Diagrama mostrando el estado de oxidación versus anomalías de Eu/Eu*. Los campos de distribución de las ocurrencias fueron elaborados en base a Lang & Baker (2001).

RELACIÓN ENTRE EL PLUTONISMO Y VULCANISMO

Las rocas intrusivas del Batolito de Patáz afloran de manera discontinua y tienen un alineamiento NO-SE. Para explicar la conexión de los granitos del Batolito de Patáz y las ignimbritas de la Formación

Lavasen se debe entender la relación plutonismo-vulcanismo, según Bachmann (2007) la emisión de grandes volúmenes de ignimbritas a profundidad tiene que estar acompañada por actividad plutónica significativa (con mucho más volumen que lo emitido). El desarrollo espacial y temporal de las ignimbritas emitidas dan una información importante del desarrollo de los batolitos. De Silva (2008) en base al estudio de volúmenes de ignimbritas emitidas por calderas, propone dos modelos de sistemas magmáticos para generar ignimbritas 1) estacionario y 2) explosivo. Basado en los modelos de De Silva (2008), las ignimbritas Lavasen y los intrusivos de Patáz se formaron dentro del sistema magmático explosivo y/o Flare-up y este consiste en que son sistemas de supervolcanes con un Índice Volcánico de Explosividad ≥ 8 y se calcula que requieren abundante flujo basáltico proveniente del manto para que proporcione un medio térmico y mecánico de apoyo a la producción y almacenamiento de grandes volúmenes de magmas silíceos (batolitos) en la corteza. Las características de este tipo de batolitos (conocidos también como batolitos cordilleranos) es que estos deberán estar compuestos por cuerpos que incrementaran el desarrollo de su volumen con el tiempo y que quizás estarán sonados espacialmente, es decir al borde compuestos por rocas máficas y hacia el centro compuesto por rocas intermedias y félsicas, tal como se observa en los afloramientos de intrusivos del Batolito de Patáz (Ver figura 4).

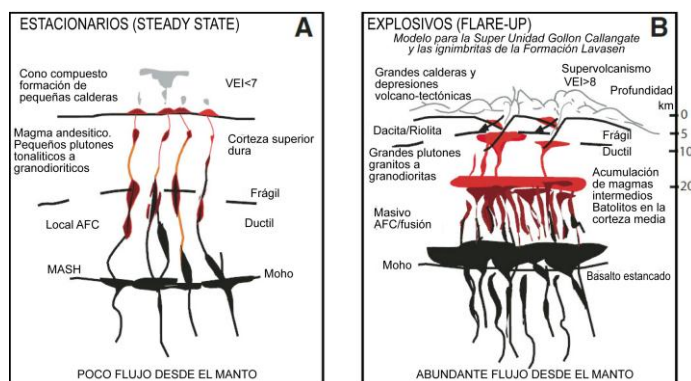


Figura 4. Ilustración para contrastar el comportamiento de sistemas magmáticos de arco del tipo estacionario (A, Steady State) y explosivo (B, Flare-Up) y el resultado de la formación de calderas (tomado de De Silva, 2008).

CONCLUSIONES

Los granitoides del Batolito de Patáz tienen composición metalumínica y peralumínica, mientras que las ignimbritas de Lavasen son más peralumínicas. Estas unidades de rocas ígneas son co-magmáticas, es decir que las ignimbritas de la Formación Lavasen se formaron durante la actividad magmática de arco de Patáz. La formación de las vetas de Au, Cu-Pb-Zn en los granitoides de Patáz está relacionada a la contaminación con las rocas máficas de la Formación Tres Lagunas. Las vetas se formaron por procesos de exsolución generados por descompresión rápida de los magmas someros de donde derivan los granitoides.

REFERENCIAS

- Bachmann, O.; Miller, C.F.; De Silva, S.L. (2007) - The volcanic-plutonic connection as a stage for understanding crustal magmatism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 167, p. 1-23.
- Cardona A. (2006). Reconocimiento da Evaluao Tectonica da Proto-Margen Andina do Centro-Norte Peruano, Baseado em Dados Geoquímicos e Isotopos do Emabasamento da Cordilheira Oriental na Regiao de Huánuco-La Unión. Tese Doutorado. Universidade de Sao Paulo Institute De Geociencias. 198p.
- de Silva, S.L. (2008) - Arc magmatism, calderas, and supervolcanoes. *Geology*, v.36, no.8., p.671-672.
- Haeberlin Y. (2002). Carboniferous Orogenic Gold Deposits at Pataz, Eastern Andean Cordillere, Peru: Geological and Structural Framework, Paragenesis, Alteration, And 40Ar/39Ar Geology. ©2004 by Economic Geology. Vol. 99, pp. 73-112.
- Lang, J.,R & Baker, T., 2001 Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. *Mineral Deposita* 36:477-489.
- Miskovic, A. (2009). Tectonomagmatic Evolution of Western Amazonia: Geochemical Characterization and Zircon U-Pb Geochronologic Constraints from the Paruvian Eastern Cordilleran Granitoids. *Geological Society of America Bulletin*; 121; 1298-1324.
- Sánchez A. (2006). La Rocas Graníticas y la Mineralización Aurífera Asociada, en la Cordillera Oriental del Norte del Perú, 6°30' - 7°30' s. Tesis de Maestría. Master Internacional Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales. Red DESIR. 143p.