

# Contribución al conocimiento de la geología del depósito de Au-Cu de "La Pava" (Península de Azuero, Panamá)

*Contribution to the knowledge of the geology of the «La Pava» Au-Cu deposit (Azuero Peninsula, Panama)*

Isaac Corral <sup>(1)</sup>, Esteve Cardellach <sup>(1)</sup>, David Gómez-Gras <sup>(1)</sup> y Àngels Canals <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Unitat de Cristal·lografia i Mineralogia. Facultat de Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Barcelona), España. isaac.corral@uab.cat; esteve.cardellach@uab.es; david.gomez@uab.es

<sup>(2)</sup> Departament de Cristal·lografia, mineralogia i dipòsits minerals. Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, c/Martí i Franquès, s/n, 08028, Barcelona, España. angelscanals@ub.edu

## ABSTRACT

The «La Pava» Au-Cu deposit is hosted by a volcanosedimentary sequence, named Ocú Formation, developed in an island arc environment that resulted from the subduction of the Nazca Plate beneath the Caribbean Plate during the Cretaceous times. The deposit consists of disseminations and stockworks of pyrite and chalcopyrite accompanied by barite, quartz and carbonates. Three hydrothermal alteration zones have been recognized: silicic, argillic and propylitic, typical of gold-related high sulfidation systems. A supergenic alteration overprints the hydrothermal alterations developing a cap rich in silica and Fe-oxides. The detailed study of the Ocú Fm. indicates that the sulfides and the accompanying gold was formed in a submarine environment. Therefore we suggest that «La Pava» represents an Au-Cu hybrid deposit between high sulphidation epithermal and VMS types, which are found in volcanogenic massive sulphide environments.

**Key words:** Alteration, Cretaceous, Epithermal, Cu-Au mineralization, Panama

Geogaceta, 46 (2009), 59-62  
ISSN: 0213683X

## Introducción

Centroamérica es una región con importantes recursos minerales metálicos entre los que destacan oro, plata, cobre, plomo, zinc, níquel, cobalto, antimonio, tungsteno y aluminio. De todos ellos, son los metales preciosos (Au y Ag) y el cobre, los que actualmente atraen el mayor interés por parte de las compañías mineras.

En la región centroamericana, Au y Ag están principalmente asociados a depósitos de tipo epitermal, mientras que los de Cu corresponden a depósitos de tipo porfídico. Si bien la geología y metalogenia de la zona NW de Centroamérica (Honduras, Guatemala, Costa Rica y Nicaragua) se conocen razonablemente bien, no pasa lo mismo en Panamá. Aunque las estructuras y ambientes geológicos donde se emplazan los depósitos de cobre y oro en los países citados tienen una continuación natural hacia Panamá, el nivel de conocimiento de los recursos minerales en este país son todavía limitados.

Una parte importante de la investigación en sistemas magmático-

hidrotermales en arcos volcano-plutónicos se ha centrado en la potencial relación genética entre depósitos de tipo porfídico de Cu-(Au) y depósitos de tipo epitermal de alta sulfuración (Hedenquist y Lowenstern, 1994). El entorno geológico del depósito de «La Pava» parece ser favorable para investigar la posible existencia de dicha relación. En el presente trabajo y como paso previo al objetivo más general, se ha llevado a cabo el estudio geológico detallado de la zona de «La Pava», el cual ha permitido realizar la primera columna estratigráfica contextualizada dentro del marco geológico regional de la Formación Ocú. Este estudio se ha completado con la caracterización mineralógica del depósito con el fin de determinar su tipología y posible ambiente de formación.

## Situación geográfica y geológica

La península de Azuero forma un saliente pronunciado en la costa pacífica de Panamá (Fig. 1A). Desde el punto de vista geológico está mayoritariamente constituida por materiales volcánicos y volcanosedimentarios que abarcan un

rango de edades desde el Cretácico Superior hasta el Oligoceno Superior (Giudice y Recchi, 1969) pertenecientes al arco volcánico generado por la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa del Caribe. La característica estructural más sobresaliente de la Península de Azuero es la presencia de la falla de Soná-Azuero, de escala regional, de dirección NW-SE y de tipo «strike-slip» que pone en contacto materiales del complejo Soná-Azuero (basaltos de fondo oceánico) con los materiales del arco-isla cretácico. Estos últimos están afectados por otras estructuras, tales como fallas regionales de orientación E-W, fallas subparalelas a la falla de Soná-Azuero (NW-SE) y por los intrusivos cuarzdioríticos de «El Montuoso» al NW de la zona estudiada y de «Vallerico» situado al NE. Paleogeográficamente las características geológicas de la Península de Azuero se han interpretado como correspondientes a un arco volcánico de composición calcoalcalina desarrollado sobre una corteza oceánica o plató oceánico de edad Cretácico Superior-Cenozoica (Bowland y Rosencrantz, 1988).

El área estudiada está situada en el centro de la península de Azuero, a unos 80 km. al sur de Chitré, en una área conocida como Cerro Quema y que forma una franja de 12 por 1,5 km. de dirección E-W (Fig. 1A) de materiales volcánicos y sedimentarios de edad cretácica superior (Formación Ocú). La Formación Ocú está constituida por turbiditas, calizas pelágicas, lavas porfídicas de composición andesítica y domos dacíticos emplazados en un ambiente submarino. En el área de Cerro Quema estos materiales están afectados por una alteración hidrotermal a la que se le superpone una alteración supergénica (Fig. 1B).

En el área de Cerro Quema se han identificado tres cuerpos mineralizados, que de Este a Oeste son: Cerro Quema, Cerro Quemita y La Pava, este último, objeto del presente estudio. Las reservas estimadas en el distrito son de  $1 \times 10^6$  t con una ley media de 1,26 g/t de oro (Torrey y Keenan, 1994).

### Estratigrafía

En el sector de «La Pava» está representada la totalidad de la serie estratigráfica de la Formación Ocú. La sucesión estratigráfica se ha obtenido a partir de secciones realizadas en las dos zonas que presentan la mejor accesibilidad. La Formación Ocú se dispone discordantemente sobre el Complejo de Soná-Azuero, de edad Cretácico Superior y discordantemente por debajo de la Formación Lutítico-Arenácea, de edad Eoceno-Oligoceno. Estructuralmente de norte a sur la serie estratigráfica tiene un buzamiento generalizado hacia el sur, hasta llegar al núcleo de un sinclinal, donde el buzamiento de la serie cambia hacia el norte. Poco después de este sinclinal, la serie está afectada por varias fallas inversas y direccionales que afectan a la disposición y estructura principal de las capas, dando lugar a un buzamiento hacia el sur.

La serie en su conjunto y las unidades que se describen, aparecen representadas en la columna de síntesis (Fig. 1C), cuyas características resumidas, de base a techo, son las siguientes:

**Unidad Caliza.** Está constituida por calizas micríticas pelágicas laminadas, de potencia decimétrica. Presentan microfósiles, concretamente el foraminífero planctónico *Globotruncana sp.* que de acuerdo con Weyl (1980) corresponde a una edad Cretácico Superior (Maestrichtiense), y representan la sedimentación pelágica de la cuenca de arco isla.

**Unidad Vulcanosedimentaria Inferior.** Se caracteriza por ser una secuencia turbidítica constituida por una alternancia de capas lutíticas y areniscas de grano fino a grueso de potencia decimétrica y composición litoarenítica (rica en fragmentos volcánicos), entre las que se encuentran interestratificadas capas de andesitas. Presenta intercalaciones de conglomerados volcánicos de potencia métrica, matriz arenosa, con cantos de andesítica y dacítica. Localmente la serie es atravesada por diques basálticos. Los depósitos conglomeráticos podrían ser producto de la erosión del domo dacítico que aflora en la zona superior de «La Pava».

**Unidad Andesítica.** Está formada por andesitas equigranulares de grano fino a medio con plagioclasa, hornblenda, augita y cuarzo. Se presentan en capas de potencia métrica, generalmente masivas, isótropas, sin estructuras internas. No obstante localmente se observan estructuras de flujo laminar.

**Unidad Vulcanosedimentaria superior.** Esta unidad situada por encima de la unidad andesítica, presenta unas características petrográficas y mineralógicas similares a la unidad vulcanosedimentaria inferior y representa un episodio detrítico producto del retrabajamiento de depósitos volcánicos previos.

**Unidad Turbidítica Carbonática.** Situada a techo de la formación, se caracteriza por ser una secuencia turbidítica con una alternancia de calizas micríticas pelágicas de potencia decimétrica y areniscas de grano fino de composición litoarenítica (rica en fragmentos volcánicos). En estas calizas encontramos también el foraminífero planctónico *Globotruncana sp.*

### Mineralización

La mineralización primaria de La Pava está constituida por una disseminación de pirita y calcopirita y por un stockwork poco desarrollado de barita, cuarzo, pirita, calcopirita con trazas de galena y esfalerita. La mineralización se encuentra encajada en los domos volcánicos de composición dacítica de la Formación Ocú. La mineralización de oro se concentra especialmente en la zona con alteración silícica (*vuggy silica*) que posteriormente ha sufrido el efecto de la alteración supergénica. Por debajo de la zona de oxidación generada por el proceso supergénico existe una zona con un enriquecimiento en cobre debido a la precipitación de sulfuros secundarios de cobre (calcosina y digenita) en filones y fractu-

ras. El Au se encuentra en forma de granos disseminados, submicroscópicos.

### Alteraciones

El depósito de La Pava se caracteriza por la presencia de dos tipos de alteración de diferente origen. La más importante es de origen hidrotermal, desarrollada especialmente sobre las dacitas y andesitas de la Formación Ocú. La alteración ha dado lugar al desarrollo de tres zonas mineralógicamente distintas, denominadas silícica, arcillítica y propilítica. Se disponen de forma concéntrica respecto del centro del cuerpo alterado (Fig. 1B), y presentan las siguientes características:

**Silícica.** Constituye el núcleo de la zona alterada y ocupa la parte superior y central del cerro de La Pava. Se trata de una silicificación desarrollada sobre dacitas y andesitas que en la parte superior presenta una textura porosa (*vuggy silica*) mientras que en profundidad es masiva. Los minerales representativos de esta alteración son: cuarzo (mineral principal), barita, alunita, pirita, rutilo y pirofilita.

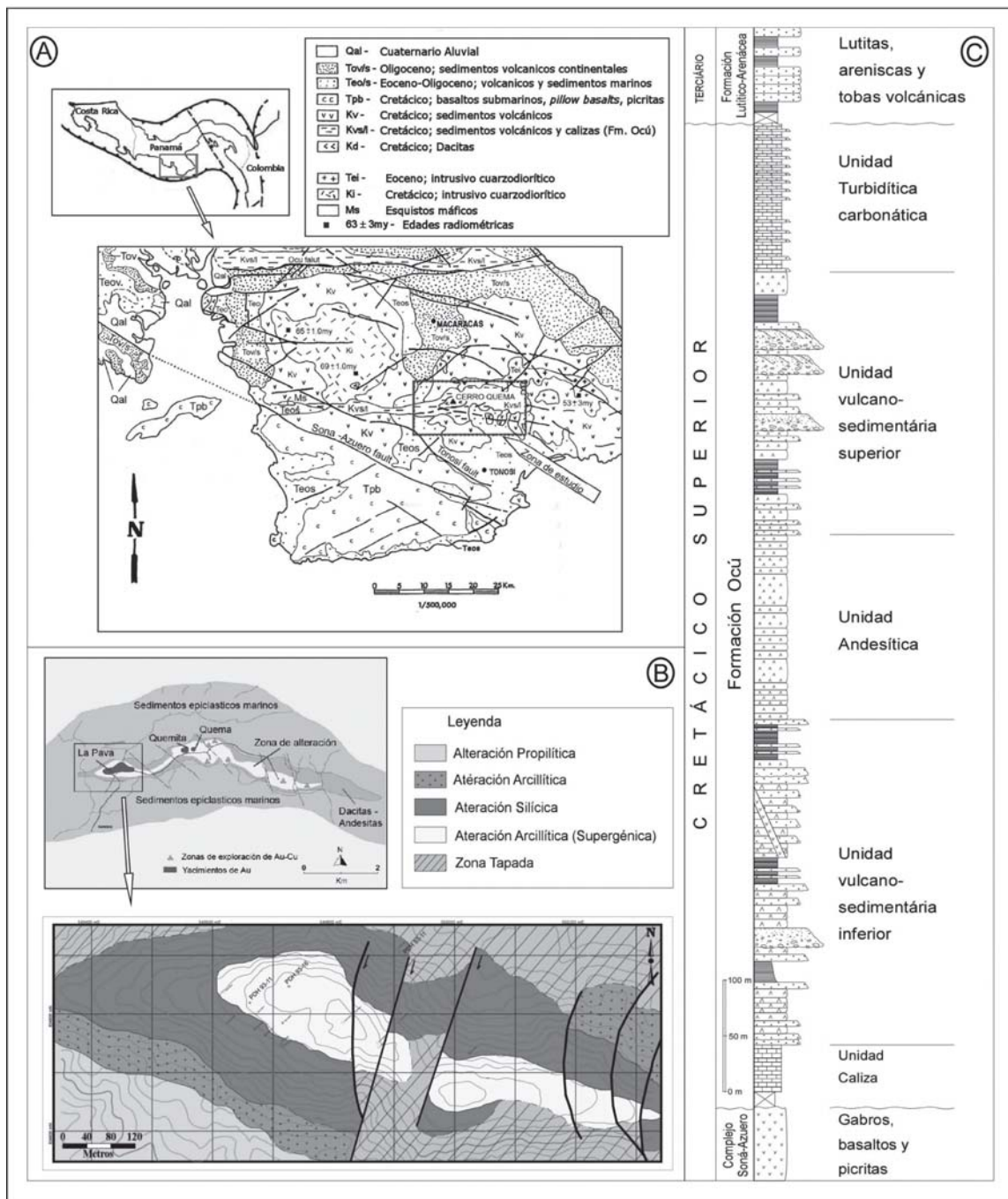
**Arcillítica.** Forma un anillo externo alrededor de la alteración silícica, con la que no presenta un límite claro y frecuentemente se encuentra mezclada con ella. De naturaleza arcillosa y poco consistente, la coloración varía de blanco a marrón-rojizo. Afecta también a dacitas y andesitas. Los minerales característicos son: caolinita, dickita, montmorillonita, illita-smectita y en menor cantidad cuarzo y pirita.

**Propilítica.** Constituye la zona más externa de la alteración hidrotermal y se desarrolla limitando con la alteración arcillítica. Afecta a dacitas, conglomerados volcánicos, andesitas y areniscas. La roca propilitizada presenta un aspecto verdoso y los minerales que definen esta alteración son: clorita, pirita y calcita, con presencia minoritaria de albita, siderita, halloisita, hematites e illita.

El otro tipo de alteración es de origen supergénico y se superpone a la alteración hidrotermal, dando lugar a una zona superior rica en óxidos de hierro con una ley elevada de oro (hasta 3,1 g/t) y a una zona inferior enriquecida en cobre. La zona con óxidos de hierro se localiza en la parte superior de La Pava, y en algún punto alcanza los 150 m de profundidad. Los minerales que la caracterizan son hematites, goethita y limonita. La zona enriquecida en Cu se sitúa por debajo de la interfase oxidación-reducción y se caracteriza por la presencia de sulfuros de cobre secundarios como calcosina y

Fig. 1.- A) Localización de la Península de Azuero y situación del área de Cerro Quema en el contexto geológico regional (DGRM, 1976). B) Localización de La Pava en el cinturón volcánico de la Formación Ocu y mapa de alteración de La Pava. C) columna litoestratigráfica sintética de la Formación Ocu en el área de Cerro Quema.

Fig. 1.- A) Location of the Azuero Peninsula and situation of the Cerro Quema area in the regional geologic context (DGRM, 1976). B) Location of La Pava in the Ocu formation volcanic belt and alteration map of La Pava. C) Synthetic lithostratigraphic section of the Ocu formation in the Cerro Quema area.



digenita, acompañados de una diseminación de pirita y calcopirita.

En la parte superior de La Pava la alteración supergénica ha dado lugar también a una zona de alteración arcillítica con las mismas características mineralógicas que la alteración arcillítica hidrotermal. Esta alteración arcillítica secundaria parece haberse desarrollado sobre las rocas que han sido afectadas previamente por la alteración silícica.

**Discusión**

La Formación Ocu está compuesta por sedimentos epiclásticos marinos, ta-

les como turbiditas, calizas fosilíferas, lutitas y conglomerados volcánicos, interestratificados con andesitas e intruidos por domos volcánicos de composición dacítica, que denotan un ambiente de deposición marino somero, y que de acuerdo con Escalante (1990) podría corresponder a un ambiente de deposición de cuenca de retroarco. Los sedimentos de la formación Ocu se depositan discordantemente sobre los basaltos de fondo oceánico del Complejo de Soná-Azuero y discordantemente también por debajo de la serie terciaria (Giudice y Recchi, 1969).

La mineralización en el depósito de La Pava consiste en una diseminación de

sulfuros primarios, pirita y calcopirita, en materiales con una importante alteración hidrotermal, y en un «stockwork» poco desarrollado, con pirita, calcopirita, barita, cuarzo y trazas esfalerita y galena. La mineralización parece estar asociada a un fluido hidrotermal ácido que alteró el encajante, dando lugar a una zonación mineralógica que se dispone concéntricamente tanto en superficie como en profundidad alrededor de un hipotético conducto por donde circuló el fluido hidrotermal.

La mineralogía y distribución espacial de la alteración hidrotermal observada en La Pava coincide con la esperada



en un sistema epitelmal de alta sulfuración, donde el fluido ha evolucionado en el tiempo hacia temperaturas decrecientes y pH crecientes (Corbett y Leach, 1998). Los modelos clásicos propuestos para depósitos epitermales de alta sulfuración (Hedenquist, 1987; Berger y Henley, 1989; Sillitoe, 1989 y 1995; White, 1991; Gingenbach, 1992; Rye 1993; Hedenquist et al., 1994b; Arribas, 1995) relacionan su formación con la circulación de fluidos ácidos de origen magmático y con la presencia de pórfidos cupríferos en profundidad, en un contexto de arco volcánico calcoalcalino, en estructuras volcánicas que implican condiciones de formación subaéreas.

Si bien las alteraciones observadas (silícica, arcillítica y propilítica) coinciden con el modelo de depósito epitelmal de alta sulfuración, el ambiente volcánico y el tipo de sedimentos presentes en La Pava son diferentes respecto el modelo teórico. En efecto, el emplazamiento en domos dacíticos intruídos en una secuencia de sedimentos marinos apunta a una formación de la mineralización en ambiente submarino. Se trata de una diferencia importante respecto el modelo teórico de depósitos epitermales de alta sulfuración.

Hannington (1997) describe varios tipos de mineralizaciones (pórfidos cupríferos, sulfuros masivos volcanogénicos, skarns y epitermales de alta sulfuración) en un mismo contexto tectónico, asociados a un arco volcánico, en la zona de Iskut River (BC, Canadá). Una de ellas es el depósito de Treaty Glacier (Macdonald et al., 1996) que presenta la alteración típica de un depósito de alta sulfuración, depositado en un ambiente submarino, en un arco volcánico, próximo a un pórfido cuprífero y con una zona rica en óxidos desarrollada en la parte superior, características similares a las que presenta el depósito de La Pava.

Sillitoe et al. (1996) proponen un modelo donde se sugiere la posible existencia de depósitos epitermales de alta sulfuración en un ambiente de formación de sulfuros masivos volcanogénicos, es decir, en condiciones submarinas. La mineralización estaría asociada a domos volcánicos en ambiente de fondo marino, con mineralogías y alteraciones correspondientes a depósitos epitermales de alta sulfuración. Un ejemplo sería el depósito

de Pueblo Viejo (República Dominicana), el mayor depósito explotable de tipo epitelmal de alta sulfuración de Au-Ag del mundo (Kesler, 1981; Nelson, 2000; Kesler et al., 2005 y Sillitoe et al., 2006).

Teniendo en cuenta que las características mineralógicas y texturales de la mineralización y de las alteraciones asociadas así como el contexto geológico son similares a la de los depósitos de Treaty Glacier (BC, Canadá) y Pueblo Viejo (República Dominicana), sugerimos la hipótesis que el depósito de La Pava pertenece al grupo de depósitos epitermales de alta sulfuración asociado a la formación de sulfuros masivos volcanogénicos. De ser así, sería más probable la existencia en profundidad de un pórfido cuprífero en la zona de Cerro Quema. En cualquier caso, este trabajo representa solamente una primera contribución al conocimiento de la geología y metalogenia de esta zona por lo que los aspectos definitivos relacionados con el origen, edad y evolución del depósito deberán confirmarse a partir de los nuevos datos que se obtendrán de los estudios en curso.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado a través del Proyecto MEC (Ministerio de Ciencia y Tecnología) CGL2007-62690/BTE y una beca predoctoral del «Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació» de la Generalitat de Catalunya.

#### Referencias

- Arribas, A. (1995). En: *Mineralogical Association of Canada, Short Course Series* 23: 419-454.
- Berger, B.R. y Henley, R.W. (1989). *Economic Geology Monographs* 6: 405-423.
- Bowland, C.L. y Rosencrantz, E. (1988). *GSA Bulletin* 100: 534-546.
- Corbett, G.J. y Leach, T.M. (1998). *Special Publication (Society of Economic Geologists (U. S.))* 6. 237 p.
- D.G.R.M. (1976). *Mapa Geológico de Panamá*. Escala 1:500,000. Panamá.
- Escalante, G. (1990). En: *The Caribbean Region* (G.Dengo y J. E. Case, Eds.). Geol. Soc. Am. H, 201-230.
- Gingenbach, W.F. (1992). *Economic Geology*. 87, 1927-1944.
- Giudice, D.D. y Recchi, G. (1969). *Informe técnico preparado para el gobierno de la República de Panamá por las Naciones Unidas*.
- Hannington, M.D. (1997). *SEG Newsletter*, 29, 12-13.
- Hedenquist, J.W. (1987). *Transactions of the Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, 4, 513-524.
- Hedenquist, J.W. y Lowenstern, J.B. (1994). *Nature*, 370, 519-527.
- Hedenquist, J.W., Matsuhisa, Y., Izawa, E., White, N.C., Gingenbach, W.F. y Aoki, M. (1994b). *Economic Geology*, 89, 1-30.
- Horlacher, C.F. y Lehmann, J.H. (1993). *Regional Geology, Geochemistry and Exploration potential of the central Cerro Quema concession, Panamá*.
- Kesler, S.E., Campbell, I.H., Smith, C.N., Hall, C.M. y Allen, C.M. (2005). *Economic Geology*, 100, 253-272.
- Kesler, S.E., Russell, N., Seaward, M., Rivera, J., McCurdy, K., Cumming, G.L. y Sutter, J.F. (1981). *Economic Geology*, 76, 1096-1117.
- Macdonald, A.J., Lewis, P.D., Thompson, J.F.H., Nadaraju, G., Bartsch, R., Bridge, D.J., Rhys, D.A., Roth, T., Kaip, A., Godwin, C.I. y Sinclair, A.J. (1996). *Economic Geology*, 91, 1098-1114.
- Nelson, C.E. (2000). *Mineralium Deposita*, 35, 511-525.
- Rye, R.O. (1993). *Economic Geology*, 88, 733-752.
- Sillitoe, R.H. (1989). *Economic Geology Monographs*, 6, 274-291.
- Sillitoe, R.H. (1995). *Publication Series - Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, 9/95, 527-532.
- Sillitoe, R.H., Hall, D.J., Redwood, S.D. y Waddell, A.H. (2006). *Economic Geology*, 101, 1427-1435.
- Sillitoe, R.H., Hannington, M.D. y Thompson, J.F.H. (1996). *Economic Geology* 91, 204-212.
- Torrey, C. y Keenan, J. (1994). *Prospecting in tropical and arid terrains. Guide book*. Toronto, Ontario, Canada, 23 p.
- Weyl, R. (1980). En: *Geology of Central America* (2nd Ed). Gebrueder Borntraeger, Berlin, 150-173.
- White, N.C. (1991). *Chishitsu Chosajo Hokoku, Report*. Geological Survey of Japan, 9-20.