

Identificación mediante interpretación geofísica del control estructural metalogénico en la zona aurífera La Unión-La Botija, provincias de Camagüey y Las Tunas

Identification by geophysical interpretation of metallogenic structural control in La Unión-La Botija gold zone, Camagüey and Las Tunas provinces

Julio Cesar Batista-García^{1*}, Marina Beatriz Vega-Carreño¹,
Carbeny Ramiro Capote-Marrero²

¹Universidad Tecnológica de La Habana, La Habana, Cuba

²Instituto de Geología y Paleontología, La Habana, Cuba

*Autor para la correspondencia: jcbatistag93@gmail.com

Resumen

Con el objetivo de identificar las estructuras que representan el control estructural metalogénico de la zona favorable aurífera y proponer nuevas zonas con posible mineralización de oro en el sector La Unión-La Botija, provincias Camagüey-Las Tunas, se realizó una interpretación integrada de métodos geofísicos y morfométricos. Se procesaron datos de los campos gravimétrico y magnético para determinar los gradientes horizontales en las diferentes direcciones, indicadores de fallas. El procesamiento de datos radiométricos permitió evaluar el factor de mineralización y la creación de mapas ternarios. A partir de los datos del modelo digital de elevaciones se obtuvo la red de drenaje y los mapas de acumulación de flujo. Se interpretó cada uno de los mapas generados y posteriormente se realizó la interpretación integrada, lo que permitió identificar gran número de estructuras y zonas con alteraciones hidrotermales. Se identificaron seis posibles zonas de mineralización aurífera, con criterios geológicos, geofísicos y del drenaje. Estos resultados han revelado la presencia de nuevos sectores favorables para el reconocimiento de mineralización aurífera, lo cual resulta

de actualidad ya que se enmarcan dentro del Programa Nacional del Oro que ejecuta el Servicio Geológico Nacional de Cuba.

Palabras clave: yacimientos epitermales; mineralización aurífera; métodos geofísicos integrados; alteración hidrotermal; control estructural.

Abstract

With the objective to identify the structures that represent the metallogenic structural control of auriferous zone, and to propose new zones with possible auriferous mineralization, in La Union – La Botija, provinces Camagüey - Las Tunas, Cuba it was carry out an integraed interpretation of come geophysical methods and the relief. The processing of the gravimetric and magnetic data was made to determine horizontal gradients in the different directions that suggest fault presence. The processing of the radiometric allows the evaluation of the mineralization factor and the creation of ternary maps. From the digital elevation model data it was obtained the drainage system and the maps of flow accumulation. It was accomplished the interpretation of every one of the generated maps and the integrated interpretation of them; that allowed identifying a large number of structures, and zones with hydrothermal. It was identified six possible zones of auriferous mineralization, according to geology geophysical and relief criteria. These results show the presence of new appropriate sectors for the recognition of auriferous mineralization which proves to be at the present time because they are in the frame of the National Program of gold that the Geological National Service execute.

Keywords: epithermal deposits; gold mineralization; integrated geophysical methods; hydrothermal alteration; and structural control.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha hecho un progreso significativo en la clasificación, definición y comprensión de los principales tipos de depósitos de oro (Robert *et al.* 2007). Una porción significativa del oro en el mundo proviene de menas hidrotermales (Frimmel 2008). De esta génesis son los depósitos clasificados como epitermales, que hoy en día presentan interés científico y económico por la mineralización de oro y plata (Camprubí y Albinson 2006).

Los depósitos epitermales se caracterizan por formarse a escasa profundidad, entre 1-2 km con referencia a la superficie terrestre; en ellos se localizan depósitos de Au, Ag y metales base como Hg, Sb, S, así como de caolinita, y

alunita, entre otros (Hedenquist, Arribas y González 2000). Se forman en ambientes de volcanismo subaéreo, alrededor de los márgenes activos de continentes o arcos de islas (White y Hedenquist 1995; García y Uribe 2003).

Además de la mineralización de metales preciosos (Au, Ag), estos depósitos pueden contener cantidades variables de Cu, Pb, Zn, entre otros elementos de valor económico. El oro+plata se encuentra normalmente como oro nativo o como aleación con la plata; la morfología de los cuerpos es variada, desde venas delgadas de cuarzo hasta depósitos con mineralización diseminada (Irvine y Smith 1990; Gülyüz *et al.* 2018). Es común la presencia de variedad de alteraciones asociadas.

Una característica esencial de los depósitos epitermales de oro es el control estructural de la mineralización (Micklethwaite 2009; Yuningsih, Matsueda y Fukuchi 2013). Este último rasgo propicia el empleo de los métodos geofísicos en las investigaciones de depósitos epitermales de oro porque aunque es casi imposible obtener una respuesta geofísica directa del oro, estos métodos pueden dar una indicación indirecta a través de la cartografía de fallas con las cuales el oro está asociado (Doyle 1990; García 2013; Brown 2014; Ercan, Seren y Elmas 2014; Gaafar 2015; Moreira *et al.* 2016). Particularmente, los métodos gravimétricos, magnéticos y eléctricos son útiles en este sentido (Cantwell 2003).

A nivel mundial países como Canadá, Indonesia, Estados Unidos, Brasil, Japón, Chile, República Dominicana y Australia explotan depósitos epitermales de oro con efecto económico notable. En Cuba se reconoce la presencia de mineralización aurífera por los trabajos de Rodríguez y Díaz (2001), Ramayo (2001) y Díaz (2010). Los trabajos geofísicos han revelado anomalías de mineralización sulfurosa frecuentemente coincidentes con anomalías de oro y cobre en suelos (Pimentel *et al.* 2019).

Se han realizado prospecciones de Au y Ag, y localizado depósitos de génesis hidrotermal, constituyendo uno de los territorios más favorables el de Camagüey-Las Tunas (Rodríguez y Velázquez 2019), donde se han identificado los prospectos Florencia y Jacinto en la zona La Unión-La Botija. No obstante, se considera que este territorio tiene aún perspectivas para encontrar depósitos de metales preciosos, pero no se han identificado todavía debido a que, aunque se conocen estructuras tectónicas en la zona, que representan el control estructural (Pérez *et al.* 1998), el conocimiento es aún insuficiente.

Capote, López y Santa Cruz (2017) exponen que las evaluaciones del potencial de oro y metales base a escalas medias sustentadas en el análisis del control estructural han delimitado desde hace más de una década áreas

favorables para el reconocimiento geológico o evaluación del potencial a mayor escala. Es por ello que el objetivo de la presente investigación fue cartografiar las estructuras tectónicas que puedan representar el control estructural metalogénico de la zona favorable aurífera La Unión-La Botija, en las provincias cubanas Camagüey-Las Tunas, mediante la interpretación integrada de los datos geológicos con los métodos geofísicos magnéticos, gravimétricos, radiométricos y morfométricos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio ocupa parte de los territorios de los municipios de Guáimaro, Najasa y Sibanicú en la provincia de Camagüey; y de los municipios de Colombia, Amancio, Las Tunas y Jobabo de la provincia de Las Tunas. Comprende un área total de 1 880 km², con la forma de un polígono rectangular alargado de este a oeste (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de la zona La Unión-La Botija.

2.1. Geología y metalogenia

La zona investigada está constituida fundamentalmente por las rocas del arco volcánico cretácico (AVC), que comprende las rocas volcanógeno-sedimentarias cretácicas, los intrusivos granitoides y la cobertura sedimentaria del Cretácico superior Campaniense al Maestrichiense (Figura 2).

Las rocas propias del arco aportan más de 16 000 m de potencia con una amplia gama de variedades litológicas, desde basaltos olivínicos hasta riolitas, pertenecientes a las series calcoalcalina, subalcalina y alcalina, lo que atestigua la diversidad de procesos formadores de dichas rocas, que se desarrollaron en dirección preferencial WNW-ESE; hecho predeterminado por

la orientación de la zona de subducción, catalizadora a su vez de las zonas de fallas profundas, principales conductoras del magma.

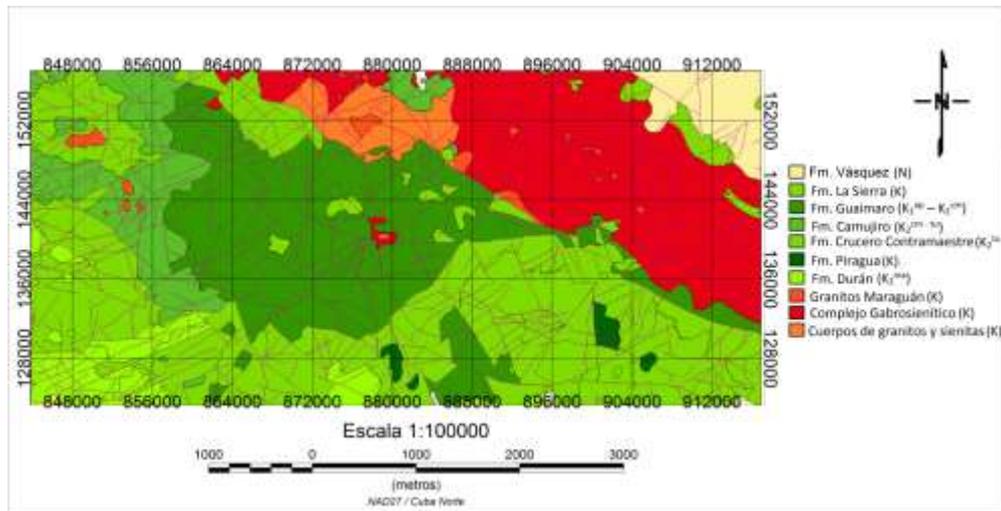


Figura 2. Mapa geológico de la zona investigada a escala 1:100 000. (Modificado de Instituto de Geología y Paleontología 2005).

Las principales ocurrencias minerales de arco conocidas en esta región son debido a la mineralización hidrotermal asociada a la formación del AVC tardío y, por tanto, su edad no es más joven que Campaniense inferior. Aquí, la mineralización de oro y plata de naturaleza epitermal es conocida por toda la extensión del área. Se han encontrado depósitos de Au/Ag epitermales, con metales base, así como manifestaciones de Cu con Mo y skarn de hierro (Fe); todos típicos de ambiente de subducción y relacionados con magmas de composiciones ácida y media (Capote *et al.* 2002).

De forma general, el control estructural de la mineralización del territorio puede ser clasificado como tectónico-litológico. En la región se pueden apreciar fundamentalmente fallas corticales, supracorticales distensivas; además de destacarse cuerpos hipabisales y subvolcánicos y aparatos volcánicos de composición ácida y media.

2.2. Datos geológicos, geofísicos y morfométricos

La base geológica para la investigación la constituyó el mapa del Instituto de Geología y Paleontología (IGP 2005). Los datos gravimétricos fueron recuperados de 67 fuentes diferentes, y almacenados en una base de datos denominada GRAV (IGP 2011), de los cuales se obtuvieron mapas gravimétricos a distintas escalas (1:2 000 000 a 1:50 000).

Para la elaboración de los mapas magnéticos y radiométricos se utilizaron mayormente los datos adquiridos en el levantamiento aerogamma-

espectrométrico y magnético (LAGEM) a escala 1:50 000. En el caso del levantamiento aeromagnético la altura de vuelo varió entre 80 m y 200 m con una precisión ± 50 nT y para el levantamiento aerogamma-espectrométrico varió de 50 m a 100 m aproximadamente.

Los datos fueron almacenados en las bases de datos MAG (IGP Servicio Geológico de Cuba 2011) y SPEC-IGP-2011, siendo así disponibles los mapas magnéticos ΔT , IGT y de U , Th y K . Las líneas de vuelo fueron norte-sur, la distancia entre ellas fue de 500 m para el mapa 1:50 000, así como también la distancia entre registros por línea. Asimismo, hubo áreas levantadas a escala 1: 25 000, pero que no fueron aún generalizadas para la base de datos disponible.

Los datos del modelo digital de elevaciones (MDE) fueron proporcionados por el IGP. Cada uno de estos archivos cuenta con una matriz de elevación, con valores verticales espaciados a intervalos horizontales regulares, todos ellos medidos en unidades de longitud y latitud geográficas, posibilitando una resolución de 30 m.

Todo este procesamiento de la información geológico-geofísica tuvo como objetivo fundamental realizar las diferentes transformaciones de los campos físicos medidos con vistas a detectar las estructuras controladoras en la zona investigada, recordando siempre que estas pueden ser tectónicas o primarias y que en este caso de estudio ambos tipos controlan.

El procesamiento realizado a los campos potenciales consistió fundamentalmente en la determinación de los gradientes horizontales en las diferentes direcciones, así como la separación regional-residual de estos; también se determinó la señal analítica y para el caso del campo magnético igualmente se desarrolló la deconvolución de Euler. El procesamiento de los datos radiométricos estuvo dado por la determinación del factor de mineralización y la creación de mapas ternarios que apoyaron la investigación; a su vez, a partir de los datos del MDE se obtuvo la red de drenaje y los mapas de acumulación de drenaje. Una vez interpretados todos los métodos, estos se integraron para realizar la interpretación conjunta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Cartografía de las principales estructuras tectónicas presentes en el área

La cartografía de las estructuras tectónicas presentes en el área se obtuvo como resultado de la interpretación integrada de los métodos potenciales (magnético y gravimétrico), y de la morfometría.

En el caso de los métodos potenciales, los gradientes horizontales de cada campo tuvieron un mejor resultado en la detección de zonas de falla en la región, con diferentes características en cuanto a su extensión. La red de drenaje también permitió detectar estructuras alargadas en el MDE que pudieran tener un origen tectónico. Las coincidencias entre estos métodos fueron utilizadas para realizar la interpretación estructural en la zona. Además de las fallas fueron establecidas a su vez estructuras circulares, las cuales se incluyen dentro de las estructuras controladoras en el área.

La interpretación integrada de los métodos pudo revelar una gran cantidad de posibles zonas de falla en el área investigada. Las coincidencias entre las interpretaciones de los diferentes métodos se tomaron para identificar las estructuras controladoras en la región. A esto se le agregó también las estructuras circulares reveladas a partir de la interpretación del campo de anomalías magnéticas las cuales están integradas como estructuras controladoras metalogénicas en la zona (Figura 3).

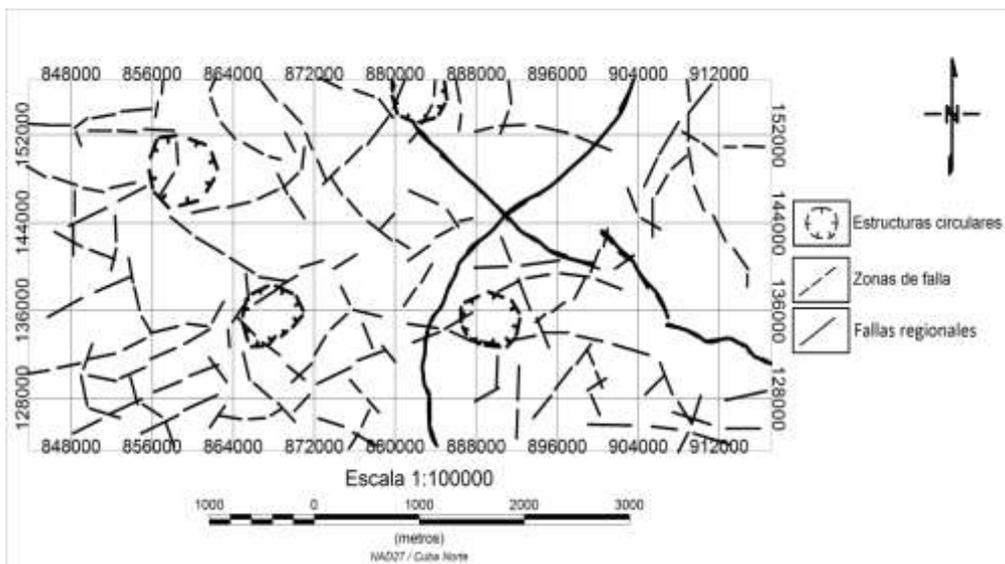


Figura 3. Interpretación estructural a partir de los métodos potenciales y la red de drenaje.

Las estructuras circulares no se visualizan en el mapa geológico; están relacionadas con estructuras profundas producto del vulcanismo que existió en el área. Las estructuras determinadas en la región, como las más confiables se definieron teniendo en cuenta si estas eran regionales o no, si representaban estructuras sinarco o posarco. Asimismo se caracterizó cada una de ellas de acuerdo con las condiciones geológicas en las que se encuentran, su reflejo en la red de drenaje y en los campos físicos (Figura 4).

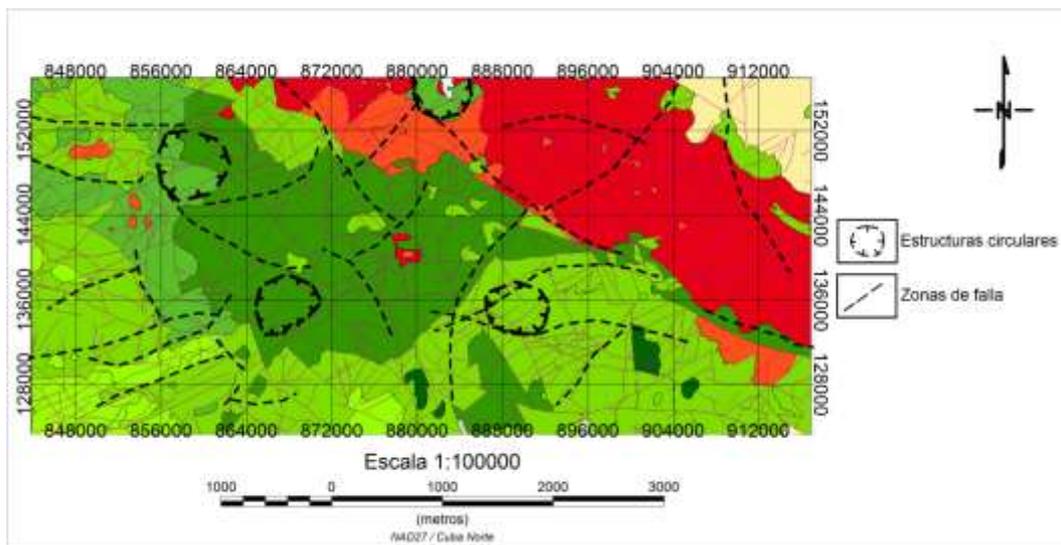


Figura 4. Zonas de fallas relacionadas con el control estructural metalogénico.

Las estructuras alargadas fueron interpretadas a partir de valores anómalos en los mapas de gradiente gravimétrico y magnético, así como su expresión en la red de drenaje; las estructuras circulares fueron interpretadas, a su vez, a partir de anomalías mínimas del campo magnético rodeadas de valores máximos de este. La amplia distribución de estructuras sobre las rocas de las formaciones Camujiro y Guáimaro las hace perspectivas para la búsqueda de mineralización aurífera en el área.

3.2. Cartografía de las zonas favorables para el reconocimiento de mineralización aurífera

La metodología que se utilizó se basó en el cumplimiento de los criterios siguientes:

- Zonas con valores anómalos de los radioelementos.
- Zonas con valores por encima de la media del factor de mineralización.
- Zonas con presencia de todos los radioelementos en el mapa ternario.

Las áreas donde se cumplían los tres criterios fueron las seleccionadas como zonas de alteraciones hidrotermales.

Las alteraciones en la formación Camujiro están representadas por la cloritización, carbonatización, epidotización, desarrollo de minerales arcilloso-hidromicaceos y en algunas zonas la zeolitización; la formación Guáimaro presenta por su parte alteraciones de cloritización, carbonatización, epidotización, anfibolización, silicificación, biotitización y zeolitización (Torres y Figueroa 2015).

Una vez establecidas las zonas de alteración hidrotermal se cotejaron las coincidencias de esta con las estructuras controladoras interpretadas en el área, determinándose así las posibles zonas de mineralización aurífera.

Muchas de las zonas de alteración coinciden con las estructuras controladoras presentes en el área por lo que estas se consideran favorables para ubicar zonas de mineralización aurífera. De dichas coincidencias se seleccionaron las áreas más perspectivas para el reconocimiento de dicha mineralización de acuerdo con las características geológicas y los criterios interpretativos utilizados para definir las. Como resultado final se interpretaron seis zonas:

- *Zona 1.* Mineralización asociada a las formaciones Camujiro y Guáimaro. Sector asociado a La Unión, que es una ocurrencia mineral cercana conocida.
- *Zona 2.* Mineralización asociada a la formación Camujiro y en contacto con la formación Durán. Sector Las Pulgas, propuesta nueva.
- *Zona 3.* Mineralización asociada a las formaciones Camujiro y Guáimaro. Sector La Gloria, propuesta nueva.
- *Zona 4.* Mineralización asociada a la formación Guáimaro. Sector Florencia, ocurrencia mineral conocida.
- *Zona 5.* Mineralización asociada a la formación Camujiro. Sector Golden Hill, ocurrencia mineral conocida.
- *Zona 6.* Mineralización asociada a la formación Guáimaro, en contacto con la formación Camujiro. Sector La Botija, ocurrencia mineral conocida.

Se considera que se confirma la validez del procedimiento empleado para determinar las estructuras tectónicas que puedan representar el control estructural metalogénico de la zona investigada al corroborar ocurrencias de mineral conocidas y revelar otras nuevas. De esta manera se ratifica, además, lo expresado por Capote, López y Santa Cruz (2017) referido al análisis del control estructural como una estrategia de búsqueda de oro en el país. En el mapa geológico de la Figura 5 se ubican las diferentes zonas interpretadas.

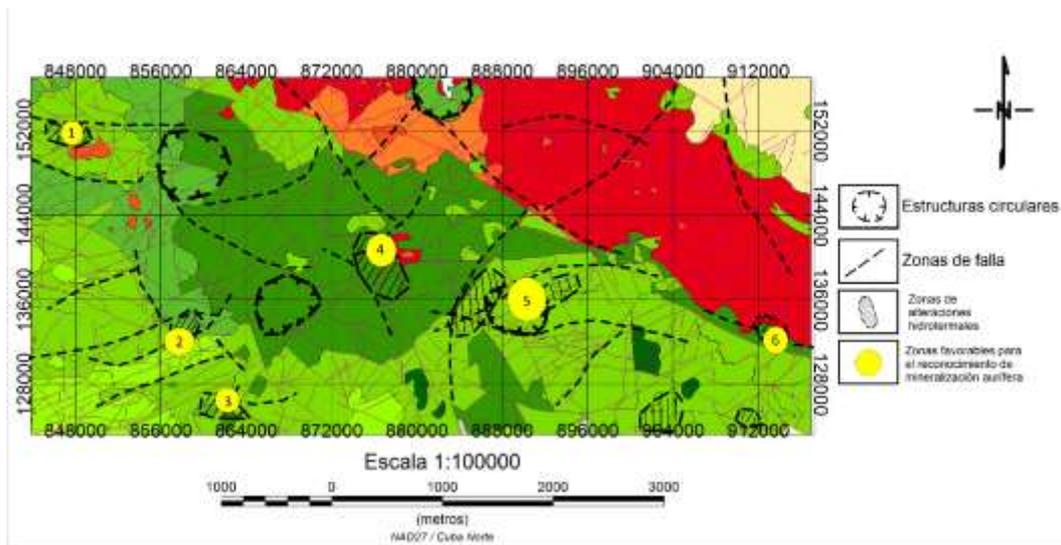


Figura 5. Zonas con posible mineralización aurífera sobre la geología, la interpretación estructural y las zonas de alteraciones hidrotermales.

4. CONCLUSIONES

- A partir de la interpretación integrada de los métodos geofísicos y la morfometría se interpretan 23 estructuras controladoras metalogénicas en el área investigada, así como nueve zonas de alteraciones hidrotermales asociadas a estas, con lo cual se aumentó el conocimiento sobre el control estructural de la mineralización de la zona.
- Teniendo en cuenta las coincidencias entre las estructuras controladoras y las zonas de alteraciones interpretadas, se identifican seis sectores favorables para la mineralización aurífera, siendo tres de estas ya conocidas de investigaciones anteriores, lo cual valida la metodología empleada en la investigación, y tres son el resultado de la presente investigación.
- La amplia distribución de estructuras interpretadas sobre las formaciones Camujiro y Guáimaro, que representan la roca de caja de la mineralización en la zona investigada, orientan la búsqueda de los sectores más perspectivas para localizar la mineralización aurífera en el área.

5. REFERENCIAS

- Brown, L. 2014: Critical analysis of successful gold exploration methods, Applied Earth Science. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section B* 123(1).

- Camprubí, A. y Albinson, T. 2006: Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 58(1): 27-81.
- Cantwell, N. 2003: High resolution geophysical methods for gold Exploration under regolith cover, Songvang Prospect, Agnew, western Australia. En: Roach, I. C. (editor) *Advances in Regolith*. Adelaida, Australia: CRC LEME.
- Capote, C.; López, J. y Santa Cruz, M. 2017: Una nueva estrategia de búsqueda de oro en Cuba sustentada en el análisis del control estructural. En: VII Convención de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS 2017. Memorias. La Habana, Cuba, 3-7 de abril.
- Capote, C.; Pacheco, M.; González, D.; Altarriba, I.; Bravo, F.; Colón, D.; Carrillo, D. y Casañas, X. 2002: Informe geológico. Evaluación del potencial de metales preciosos y base del arco cretácico en el territorio Ciego-Camagüey-Tunas. La Habana.
- Díaz, R. 2010: La pequeña minería del oro en Cuba: historia, metalogenia y perspectiva. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(1): 187-198.
- Doyle, H. 1990: Geophysical exploration for gold. A review. *Geophysics*, 55(2): 134-146.
- Ercan, Ö.; Seren, A. y Elmas, A. 2014: Gold and Silver Prospection Using Magnetic, Radiometry and Microgravity Methods in the Kisladağ Province of Western Turkey. *Resource Geology*, 64(1): 25-34.
- Frimmel, H. E. 2008: Earth's continental crustal gold endowment. *Earth and Planetary Science Letters*, 267(1-2): 45-55.
- Gaafar, I. 2015: Integration of geophysical and geological data for delimitation of mineralized zones in Um Naggatara, Central Eastern Desert, Egypt. *Journal of Astronomy and Geophysics*, 4(1): 86-99.
- García, C. y Uribe, E. 2003: Los Delirios: un yacimiento hidrotermal de oro y plata en la región de vetas, Santander, Colombia. *Boletín de Geología*, 25(40).
- García, E. 2013: Aplicación de la geofísica en la exploración y búsqueda de depósitos y estructuras favorables para la mineralización de oro en la parcela minera Choco 10. En: X Congreso Cubano de Geología, Geología. Memorias. La Habana, Cuba, 1-5 abril.
- Gülyüz, N.; Shipton, Z. K.; Kuşcu, I.; Lord, R. A.; Kaymakç, N.; Gülyüz, E. y Gladwell, D. R. 2018: Repeated reactivation of clogged permeable pathways in epithermal gold deposits: Kestanelik epithermal vein system, NW Turkey. *Journal of the Geological Society*, 175(3): 509-524.
- Hedenquist, J.; Arribas, A. y González, E. 2000: Exploration for Epithermal Gold Deposits. *SEG Reviews*, 13: 245-277.
- Instituto de Geología y Paleontología (IGP). 2005: *Mapa Geológico de la República de Cuba*. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología.

- Instituto de Geología y Paleontología (IGP). 2011: *Base de datos gravimétricos*. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología.
- Irvine, R. J. y Smith, M. J. 1990: Geophysical exploration for epithermal gold deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 36(3): 375-412.
- Micklethwaite, S. 2009: Mechanisms of faulting and permeability enhancement during epithermal mineralisation: Cracow goldfield: Australia. *Journal of Structural Geology*, 31(3): 288-300.
- Moreira, C.; Borssatto, K.; Melo, L.; Fernandes, S. y Telles, F. 2016: Geophysical modeling in gold deposit through DC Resistivity and Induced Polarization methods. *Int. Eng. J.*, 69(3): 293-299.
- Pimentel, H.; Pérez, E.; Viltres, R.; Donet, P.; Eymil, E.; Moya, R.; Álvarez, A.; Cabrera, I. y Toledo, C. 2019: Nuevo prospecto para oro y otros metales al sur de Canagüey. En: VII Convención de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS 2019. Memorias. La Habana, Cuba, 1-5 de abril.
- Pérez, E.; Pimentel, H.; Pardo, M. y Lugo, R. 1998: Interpretación tectono-estructural de los datos geofísicos en la región Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas. Empresa Geominera Camagüey. 136 p.
- Ramayo, L. 2001: La manifestación mineral Quesigua. Evidencias de un estilo de mineralización epitermal. *Minería y Geología*, 18(3-4): 3-9.
- Robert, F.; Brommecker, R.; Bourne, B.; Dobak, P.; McEwan, C.; Rowe, R. y Zhou, X. 2007: Models and exploration for major gold deposit types. En: Fifth decennial International Conference on mineral exploration. Proceedings. Toronto, Canadá, 691-711.
- Rodríguez, A. y Velázquez, D. 2019: Problemática actual sobre el grado de estudio para oro, región Guáimaro-Las Tunas. En: VII Convención de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS 2019. Memorias. La Habana, Cuba, 1-5 de abril.
- Rodríguez, A. y Díaz, R. 2001: La mineralización aurífera en Cuba: clasificación y rasgos geológico geoquímicos para la prospección. *Minería y Geología*, 18(1):3-20.
- Torres, M. y Figueroa, D. 2015: Geología y petrología de las rocas ígneas de la región Guáimaro-Sibanicú asociada a la mineralización aurífera. La Habana. 69 p.
- White, N. C. y Hedenquist, J. W. 1995: Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. *SEG Newsletter*, 23: 9-13.
- Yuningsih, E.; Matsueda, H. y Fukuchi, N. 2013: Ore Mineralogy and Formation Condition of Epithermal Gold Silver Deposits in the Southwestern Hokkaido, Japan. *International Symposium on Earth Science and Technology CINEST*, 6(1): 97-104.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

JCBG: Diseño de la investigación; procesamiento de los datos; análisis e interpretación de los datos; conclusiones de la investigación y redacción del informe final. MBVC: Asesoramiento y contribución al análisis e interpretación de los datos; redacción y revisión de la versión final. CRCM: Asesoramiento de la interpretación de los datos; revisión y aprobación de la versión final.

ORCID

JCBG, <https://orcid.org/0000-0002-3332-0436>

MBVC, <https://orcid.org/0000-0001-6745-5382>

CRCM, <https://orcid.org/0000-0002-6093-0416>

Recibido: 30/06/2020

Aceptado: 06/10/2020