

Influencia de la tectónica en la disposición espacial de los horizontes meníferos del yacimiento San Felipe

Tectonic influence on the spatial arrangement of ore-bearing horizons from San Felipe deposit

Alfredo Rodríguez-Catalá^{1*}, Alina Rodríguez-Infante²

¹Empresa Geominera Camagüey, Cuba

²Universidad de Moa, Holguín, Cuba

*Autor para la correspondencia: alfredorc@geocmg.minem.cu

Resumen

El propósito del estudio fue revelar la influencia de la estructura tectónica en la disposición espacial y la variabilidad de la mineralización de los horizontes meníferos del yacimiento de corteza laterítica ferroniquelífera San Felipe. A partir del procesamiento de datos de los registros de pozos se elaboraron mapas de contenido y distribución espacial de la mineralización y se confeccionaron secciones transversales para visualizar en profundidad los desplazamientos producidos a ambos lados del vector de movimiento de las fallas y establecer relaciones entre la geometría estructural de la corteza y la mineralización. Se concluye que en este yacimiento la conservación del horizonte menífero está condicionada por la disposición y altimetría del sustrato rocoso dislocado como consecuencia de la afectación tectónica y que en las zonas de fracturas el enriquecimiento supergénico con altos contenidos de la mineralización niquelífera está relacionado con la amplitud de los desplazamientos tectónicos en las serpentinitas alteradas del basamento.

Palabras clave: yacimiento San Felipe; tectónica; fallas; corteza laterítica niquelífera; horizonte menífero; mineralización niquelífera.

Abstract

The purpose of the study is to show the influence of tectonic structure on the spatial arrangement and mineralization variability of ore-bearing horizons from San Felipe ferro-nickel laterite crust deposit. Mineral maps content and

spatial distribution were prepared from the well log data, and cross sections were made to visualize in depth the displacements produced on both sides of the fault movement vector, and to establish relationships between mineralization and the structural geometry of crust. It is concluded that in this deposit the preservation of ore-bearing horizon is conditioned by the disposition and altimetry of the dislocated rocky substrate because of the tectonic affectation. In the fracture zones, the supergene enrichment with high contents of nickeliferous mineralization is related to the amplitude of tectonic displacements in the altered serpentine from the basement.

Keywords: San Felipe deposit; tectonics; faulting; nickel-bearing laterite crust; ore-bearing horizon; nickel-bearing mineralization.

1. INTRODUCCIÓN

En la región centroriental de Cuba se localiza el yacimiento laterítico San Felipe, ubicado al noroeste de la provincia de Camagüey, a unos 30 km al norte-noroeste de su ciudad capital. Este yacimiento es afectado por estructuras tectónicas que han ocasionado variabilidad en la mineralización de los horizontes de la corteza meteorizada.

Las contribuciones que relacionan los parámetros estructurales con la mineralización en los depósitos lateríticos son escasas. Mayormente los estudios se orientan a caracterizar el marco geoestructural y morfoestructural a escala regional (Drapper & Lewis 1983; Fonseca, Zelepuguin y Heredia 1984; González *et al.* 1986; Tavlan *et al.* 2011). Otros estudios analizan factores tectónicos en los depósitos lateríticos (Ariosa *et al.* 2003; Formell 2003; Lavaut 2004; Almaguer 2005; Vargas y Rodríguez 2009; Cobas, Formell y Leyva 2017) pero no describen relaciones entre la geometría de las estructuras y la mineralización.

En la interpretación geológica de los yacimientos lateríticos, según Martínez y Pérez (2000) "existe una marcada tendencia a la simplificación de la morfología de los yacimientos cubanos, no se tienen en cuenta variaciones espaciales y no existen zonaciones geológicas eficientes, ni descripciones precisas de carácter local de los fenómenos geológicos que rigen la mineralización". Sin embargo, el estudio mediante métodos geológicos de las estructuras en los procesos de mineralización da solución a problemas prácticos de la actividad económica y productiva de la minería, ya que las estructuras crean el espacio para el depósito de menas y controlan la forma del yacimiento.

Macharé (2016) señala que "cuando las estructuras son post-depósito modifican la geometría original dando como resultado yacimientos deformados". El yacimiento laterítico San Felipe es un ejemplo en el que la deformación de la corteza ha sido ocasionada por afectación tectónica.

Las investigaciones relativas a este yacimiento han tratado aspectos como la evolución geológica tectónica, los rasgos estructurales y los procesos morfogénicos, pero no se ha evaluado el comportamiento menífero del yacimiento a partir del análisis de esas variables, lo cual constituye el objetivo de esta investigación a partir del análisis de la distribución y conservación de las menas, elementos condicionados por la disposición y altimetría de la corteza y del sustrato rocoso dislocado, como consecuencia de las estructuras tectónicas.

En San Felipe la corteza laterítica niquelífera, desde la superficie hasta el sustrato rocoso, está constituida por los horizontes limonítico, saprolítico, serpentinita lixiviada y peridotitas serpentinizadas, identificándose en ella la presencia de litotipos (Rodríguez-Catalá 2016; Rodríguez-Catalá y Velázquez 2018) que han sido detalladamente descritos en los testigos de perforación a partir de la información disponible en investigaciones geológicas (Rodríguez-Catalá *et al.* 2001; Chang-Rodríguez y Rojas-Purón 2018). Los litotipos que conforman los horizontes manifiestan cambios mineralógicos progresivos hasta los productos intensamente lixiviados de las rocas peridotíticas, y del proceso de meteorización laterítica desde el basamento hasta el tope del perfil, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Perfil de la corteza laterítica níquelífera del yacimiento San Felipe.

Prof Med (m)	Zonality Geoquim. (Tipo gO)	Zonality geológica (Descripción)	Corteza	Minerales principales	Propiedades físicas	Minerales secundarios	
0	Sin MgO (0 -1.9 %)	Bloques de coraza ocre no texturales	Escombro	Limonitas	> goethita > hematita Óxidos e hidróxidos de Mn. Arcillas ricas en alúmina.	Concreciones ferruginosas silicificadas Rocas ocras, friables color amarillo, marrón, rojo oscuro Textura terrosa	Ópalo en láminas, fragmentos y cristales de cuarzo de grano fino en relleno de grietas
7	Bajo MgO (2- 8 %)	Ocre texturales limonítico	ZT	Saprolitas	limonita óxidos mn < nontronita	Rocas arcillosas muy plásticas Color amarillo, rojo, negro Textura relicta	MnO en bandas, ópalo y cuarzo en agregado nodular, ópalo en nódulos
9		Ocre textural nontronítico	Zona Mineral		>> nontronita > cloritas > talco > micas < MnO	Rocas friables, cerosas, blandas, untuosas al tacto. Color rojo oscuro, verdes Textura relicta	cuarzo en relleno de grietas
16	Serpentina nontronítica	Medio MgO (8- 24%)			>> nontronita > cloritas talco micas	Rocas friables Coloración verde, amarillo. Textura relicta, aparecen bloques y fragmentos de serpentina poco alterados	Ópalo y cuarzo en vetillas y relleno de grietas
19	Alto MgO (> 24 %)	Serpentina lixiviada	ZT	Serp. Lixiviada	>> serpent < cloritas < nontronita	Rocas friables, ligeras, agrietadas	Cuarzo en vetillas
21		Peridotita Serpentinizada	Sustrato	Sustrato	olivino con serpentina, piroxenos alterados, plagioclasas alteradas	Serpentinitas agrietadas. Coloración verde oscuro, gris Textura masiva grietas rellenas por serpentina	Magnetita y cromita
24							

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Procesamiento de los datos

Para la caracterización química-mineralógica que permitió determinar los sectores de alteración o desplazamiento de los horizontes se utilizó la información disponible en formato Excel del proyecto de exploración del yacimiento, a partir de la cual se conformó una base de datos con el programa Rock Works 16. El conjunto de datos que conforman la muestra representada por los registros de pozos se procesó por el método de interpolación mediante un diseño asistido por computadora.

2.2. Confección de las secciones transversales

El reconocimiento de estructuras es fundamental en la caracterización de la geometría de los horizontes y de la corteza integralmente, donde pueden observarse desplazamientos asociados al movimiento relativo de los bloques tectónicos en lados opuestos del plano de falla medido en cualquier dirección (Bates & Jackson 1987). A partir de este criterio se confeccionaron secciones transversales para representar, a distintos niveles de profundidad, los desplazamientos producidos a ambos lados del vector de movimiento en una falla y visualizar las relaciones entre la geometría estructural de la corteza y la mineralización níquelífera. La ubicación en el plano de las secciones transversales se representa mediante tres perfiles sobre el mapa del sistema de fallas San Felipe (Figura 1).

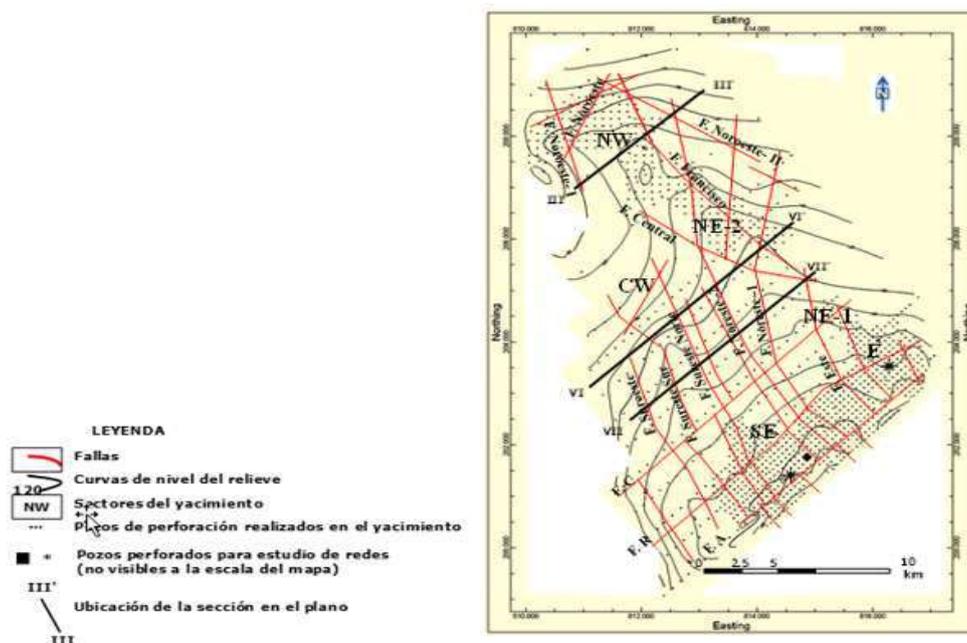


Figura 1. Ubicación de las secciones sobre el mapa del sistema de fallas San Felipe.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución de la mineralización níquelífera en el yacimiento indica que el horizonte saprolítico es el de mayor espesor y contenido (horizonte menífero). El contacto superior del horizonte que hospeda la mineralización se define teniendo en cuenta la morfología del área y criterios geológicos-geoquímicos; el contacto inferior está representado por las peridotitas serpentinizadas que poseen contenidos de níquel menores que 0,4 % y de MgO superiores al 34 %.

El horizonte saprolítico muestra una profundidad de penetración de la meteorización entre 15-20 m, con niveles más profundos hasta más de 35 m

en solo algunos sectores asociados a zonas muy permeables debido a la intensa fracturación asociada a los planos de falla.

En el yacimiento, el sustrato rocoso dislocado desempeñó un rol importante en la distribución de la mineralización níquelífera, lo que es visible con gran nivel de detalle en las zonas de fractura caracterizadas y expuestas en los perfiles tomados como referencia para ilustrar este comportamiento.

3.1. Caracterización geoquímica del horizonte menífero en el contexto estructural

La distribución del contenido (Figura 2 a, b, c y d) de los elementos y componentes útiles y nocivos en el yacimiento (Ni, Co, Fe, MgO, SiO₂, Al₂O₃) guarda relación espacial con las estructuras tectónicas que causaron las rupturas, dislocaciones y desplazamientos en la corteza de meteorización laterítica.

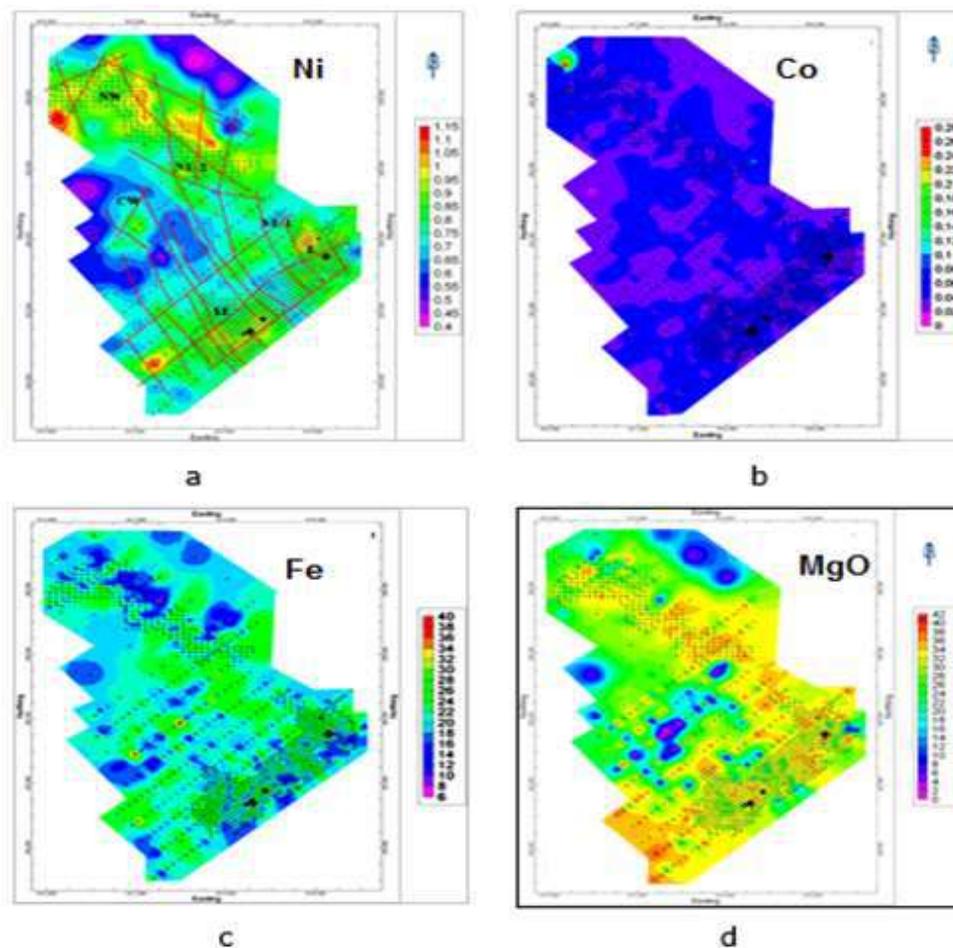


Figura 2. Distribución del contenido promedio -en %- de: a) níquel, b) cobalto, c) hierro; d) contenido máximo de óxido de magnesio.

Las arcillas esmectíticas y la serpentinita son los principales minerales portadores de níquel. En algunos sectores aparecen altos contenidos de Ni en una fase de óxido de manganeso-cobalto, principalmente en los hidróxidos de Mn y Fe; los óxidos de Mn se presentan como recubrimientos delgados o dendritas en planos de fractura, o como impregnaciones estrechamente asociadas con la sílice libre, en algunos sectores forma pátinas en relleno de grietas (Figura 3). En las zonas con concentraciones elevadas de Mn los contenidos de Co son más altos que lo normal en el mineral asbolana (Herrington 1998), esto explica la errática distribución del Co en el yacimiento.



Figura 3. Fracturas con pátinas de relleno de MnO, en la zona saprolítica, sector NE-1. Foto cortesía de la A.E.I Geominera S.A.-San Felipe Mining Ltd.

En zonas de fractura se reportó la oxidación intensa con contenidos de Fe entre 35-40 % y altos contenidos de la mineralización níquelífera. El espesor promedio de la zona de cizalla oscila entre uno y tres metros; está compuesta por materiales oxidados arcillosos plásticos con fragmentos de cuarzo opalino y calcedonia. La Figura 4 muestra una estrecha zona oxidada. En épocas de lluvias se observó en excavaciones realizadas, que estas zonas funcionan como canales de drenaje de las aguas meteóricas, este comportamiento también se observó en los bordes escarpados del yacimiento.



Figura 4. Grieta rellena con óxidos de Fe en la zona saprolítica. Sector E, profundidad 11 m. Foto cortesía de la A.E.I Geominera S.A.-San Felipe Mining Ltd.

Los contenidos de MgO en las rocas peridotíticas del sustrato rocoso presentan valores superiores al 34 %. La continuidad lateral del valor máximo del MgO se interrumpe debido a que el horizonte marcador del fondo de la corteza, representado por el sustrato peridotítico, no siempre se alcanzó durante los trabajos de perforación, y también a la presencia de fallas que provocaron desplazamientos verticales en la corteza.

En cuanto a la sílice (Figura 5), los contenidos en general son altos no sólo porque el silicio forma parte de la composición sustancial de los compuestos de la corteza, sino también por la presencia de sílice en forma de ópalo, calcedonia y cuarzo de grano fino. La suma del contenido total de SiO_2 se incrementa hacia el noroeste y sureste coincidiendo con los sectores del depósito más enriquecidos con mineralización niquelífera y en donde tienen mayor influencia los factores tectónicos estudiados. La sílice libre presenta varias formas de ocurrencia en el yacimiento (Figura 6).

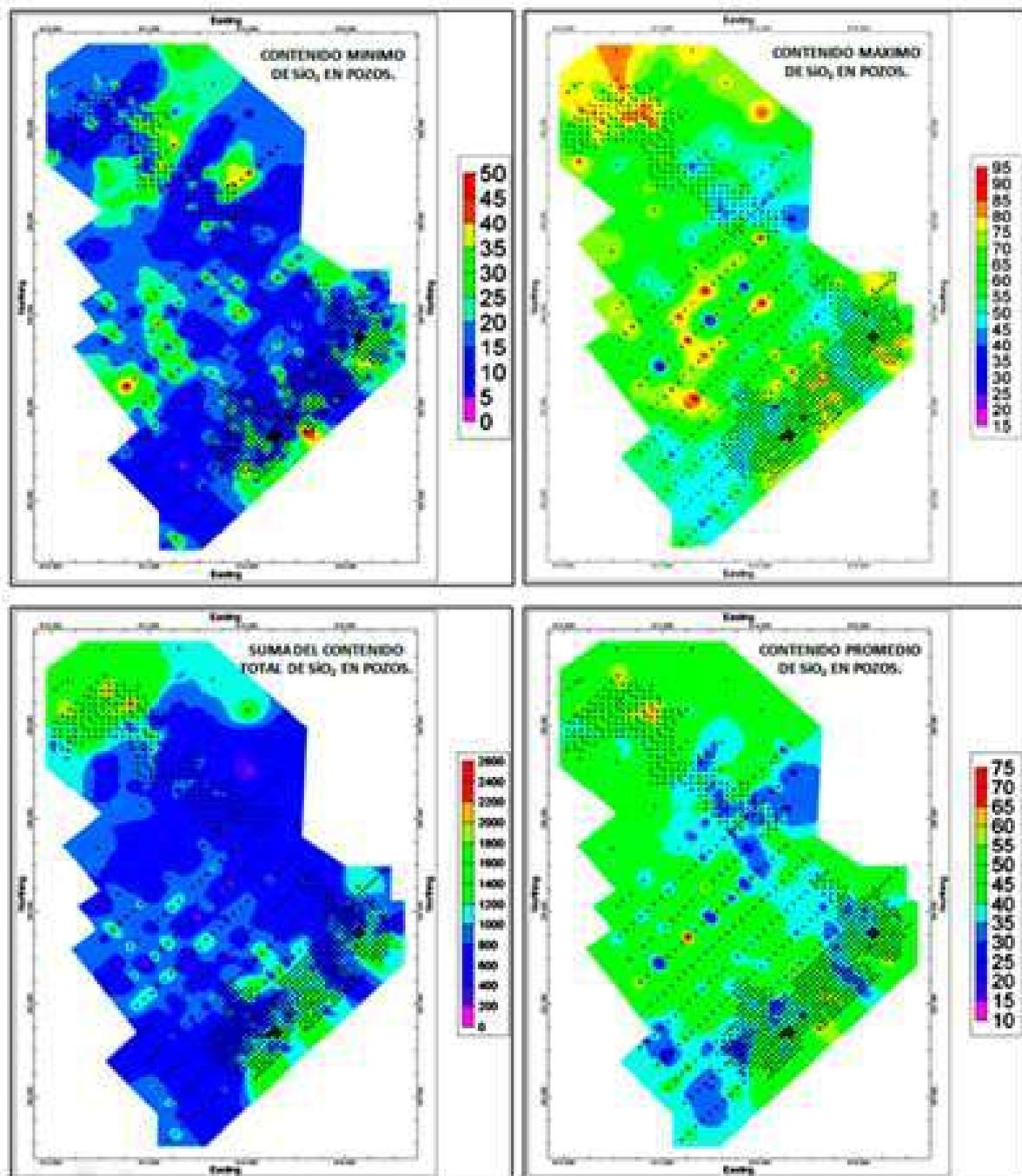


Figura 5. Distribución del contenido de SiO₂ (en %) en los pozos de exploración del yacimiento San Felipe.

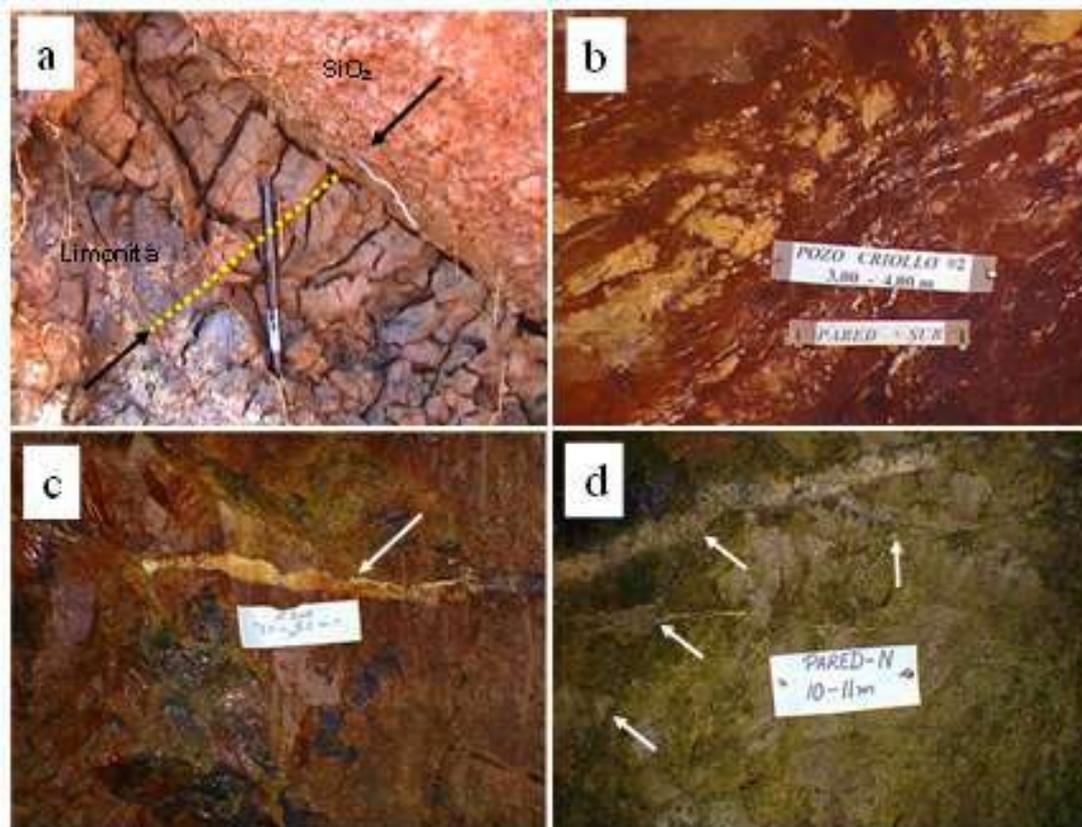


Figura 6. Formas de ocurrencia de sílice libre en los diferentes horizontes del yacimiento San Felipe. a) Zona de diacnasa en el contacto de un bloque silicificado y limonitas en el sector NE-1; b) Cuarzo opalino en zona de circulación de fluidos (horizonte limonítico), sector NE-1; c) Grietas rellenas con cuarzo de grano fino en la zona saprolítica, sector SE; d) Grietas rellenas con material silíceo en el horizonte de serpentinitas alteradas, sector NE-1. Fotos cortesía de la A.E.I Geominera S.A.-San Felipe Mining Ltd.

El contenido de alúmina en el yacimiento se relaciona con la presencia de minerales portadores de aluminio como la gibbsita, la halloysita y la alumogoethita, de gran desarrollo en las limonitas. En general se observa una distribución irregular de la alúmina, con incremento en las áreas noroeste, oeste y suroeste.

Los datos geológicos de las zonas identificadas como posibles diques o cuerpos gabroides (Rodríguez-Catalá 2005) reportan espesores de hasta tres metros como promedio dentro de la corteza, estas zonas no pueden correlacionarse y no se advierte control estructural, generalmente se disponen en forma de bandas, manchas y vetillas o zonas de alteración con límites de contacto generalmente poco definidos. La Figura 7 representa la distribución de los contenidos de alúmina, que muestran bajo contraste posiblemente reflejo de la complejidad geológica de sus concentraciones en el depósito.

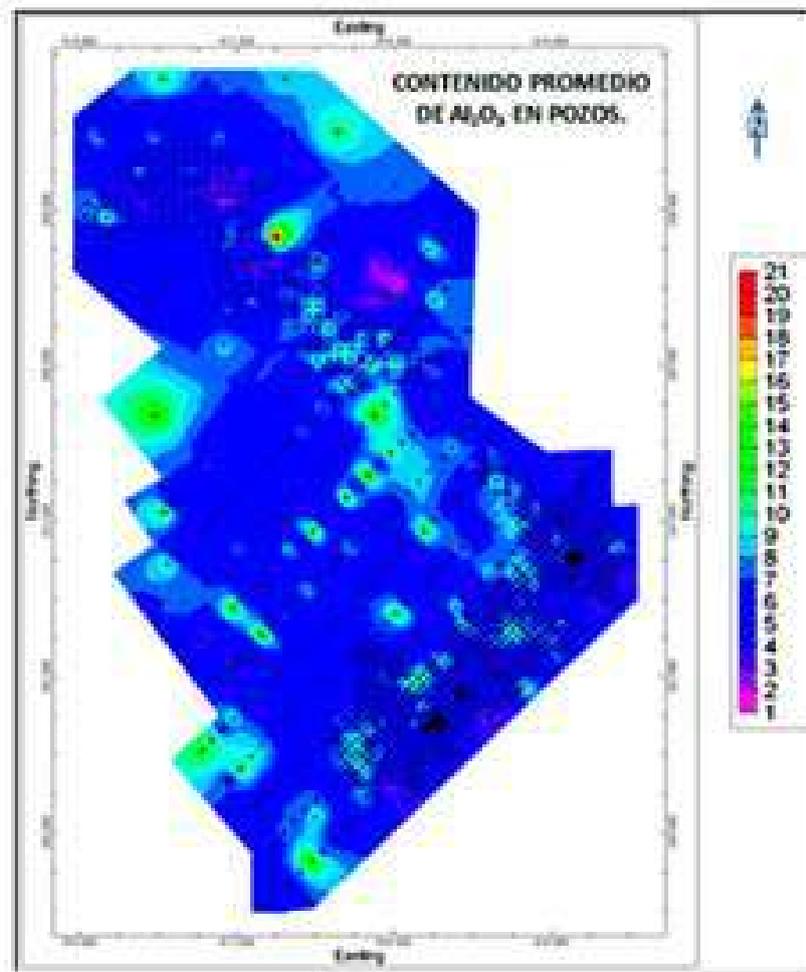


Figura 7. Distribución del contenido promedio de Al_2O_3 (en %) en los pozos de exploración del yacimiento San Felipe.

3.2. Caracterización geológica-geoquímica de las zonas de fractura

En las secciones transversales se hace evidente no solo la influencia de las fallas y fracturas en el comportamiento variable de la geometría de la corteza, sino también de la concentración de los principales elementos meníferos. La sección III-III' (Figura 8) muestra elementos geológicos y estructurales que caracterizan la geometría del yacimiento e inciden directamente sobre la mineralización niquelífera.

En las perforaciones se reportó alta variabilidad del espesor de la corteza a causa de la variación de los niveles hipsométricos de yacencia de los horizontes del sustrato peridotítico, dislocado y desplazado por las estructuras de fallas. Para esta sección se documentaron rasgos geológicos que se relacionan con las zonas de fracturación cartografiadas, tales como: descripción del agrietamiento, tipo de mineralización en el relleno de grietas, grado de oxidación, bandeamiento de los minerales ferromagnesianos y tamaño de los monolitos, fragmentos de calcedonia y cuarzo opalino, que

caracterizan cada sondeo con resultados químicos del contenido de Ni y de otros elementos y compuestos químicos como Fe, Co, MgO, SiO₂ y Al₂O₃. Entre los pozos N68.5E40 y N70.5E40 (los dos primeros en el esquema) la estructura produjo diferencias en el espesor de la corteza.

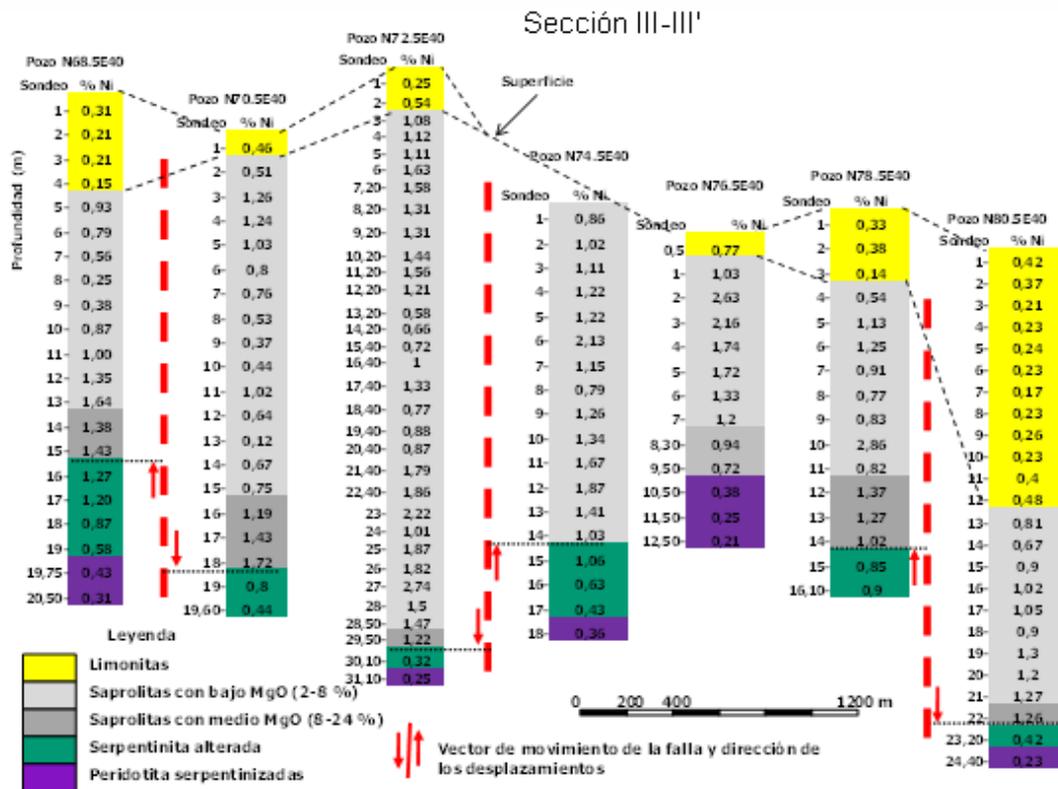


Figura 8. Perfil esquemático en línea de pozos equidistantes a 200 m donde se observa que los espesores de la corteza laterítica níquelífera están en función de los desplazamientos del vector de movimiento en ambos lados del plano de falla.

El tercer pozo (N72.5E40) reportó una zona de 28 m de espesor con altos contenidos de Ni. La caracterización geológica a través del plano de fractura de la estructura en los sondeos de la perforación permitió documentar una amplia gama de minerales y procesos de alteración supergénica: oxidación ligera, películas de MnO en planos de fractura, fragmentos de calcedonia (5 mm), láminas de calcedonia en relleno de grietas de un milímetro de espesor, serpentinita nontronitizada, fragmentos de hasta tres centímetros de peridotita serpentinizadas con cristales de piroxenos bastitizados y láminas de calcedonia (4 mm de espesor). La descripción geológica no presenta el patrón característico del horizonte menífero saprolítico que es típicamente arcilloso esmectítico de textura relíctica, y el comportamiento del contenido medio de los elementos y compuestos mayoritarios es inferior a la media del perfil laterítico con los valores siguientes: Fe 12,71 %, SiO₂ 51 % y MgO 5,6 %, lo que denota fuerte proceso

de lixiviación a través de la zona de fracturación y a su vez se reporta contenido medio de Ni de 1,34 % en un intervalo de 28 m.

La amplitud del desplazamiento por el plano de fracturación entre el sexto y séptimo pozos (N78.5E40 y N80.5E40) muestra una diferencia significativa en los niveles hipsométricos de yacencia de los horizontes meníferos saprolíticos.

En la sección VI-VI' (Figura 9) puede apreciarse cómo entre los pozos 1(N40E70) y 2(N44E70) la zona de falla rompe la continuidad lateral de la mineralización niquelífera.

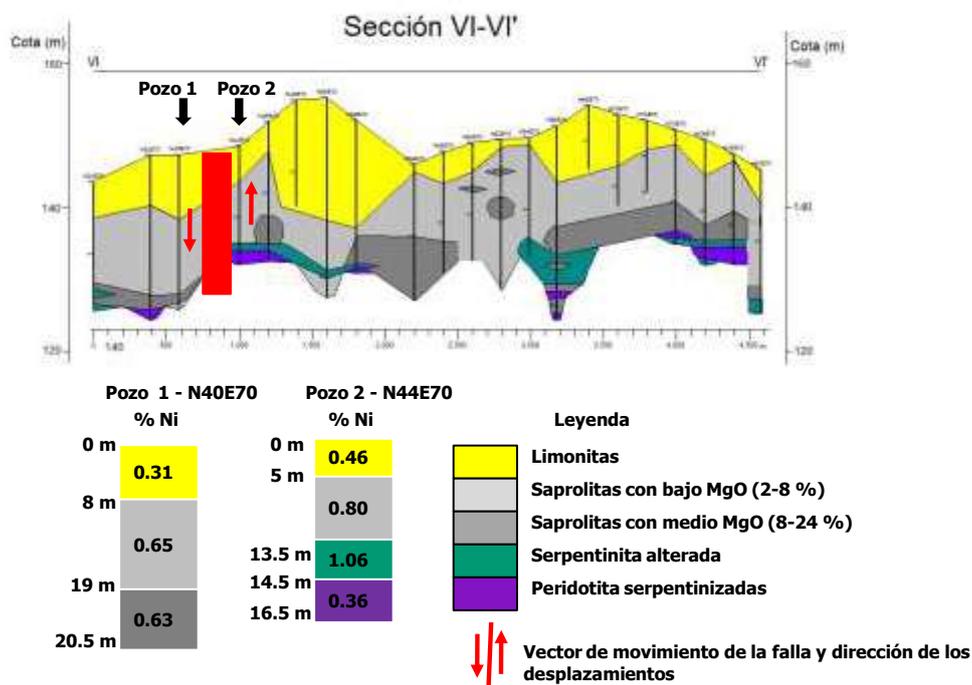


Figura 9. Comportamiento del perfil mineralizado en lados opuestos de la zona de falla.

En el pozo 1(N40E70) la zona saprolítica presenta fuerte lixiviación, expresada entre otros factores por la disminución sensible del promedio de MgO hasta 3,3 %, muy inferior a la media para el horizonte saprolítico (8 %-24 %). Se reportó la presencia de fragmentos gruesos (1 cm - 4 cm), angulosos y subredondeados de calcedonia que indican la rotación de fragmentos en la zona de cizalla del plano de fracturación. Estos fragmentos están mezclados con minerales arcillosos clorítico-esmectíticos que representan el 10 % de la masa total del horizonte en esta zona.

En el pozo 2(N44E70) la zona saprolítica contiene 8,79 % de MgO, valor dentro del rango de contenido promedio para las zonas meníferas, y el contenido medio de níquel es de 0,8 %. En esta zona del perfil se reportaron

en el horizonte saprolítico minerales esmectíticos con 5 % de cuarzo en agregado de grano fino en grietas finas intercaladas (< 1 mm); en las serpentinitas predominaron los monolitos (1 cm - 15 cm de diámetro) pero están presentes, en bandas finas (1 mm - 3 mm) intercaladas, minerales esmectíticos-nontroníticos.

La sección VII-VII' se representa en la Figura 10. El pozo N46E80 se ubica en una zona de alto cizallamiento donde se produce la ruptura de la continuidad de la secuencia geológica, lo que permitió realizar la caracterización de una zona de falla típica en el yacimiento San Felipe.

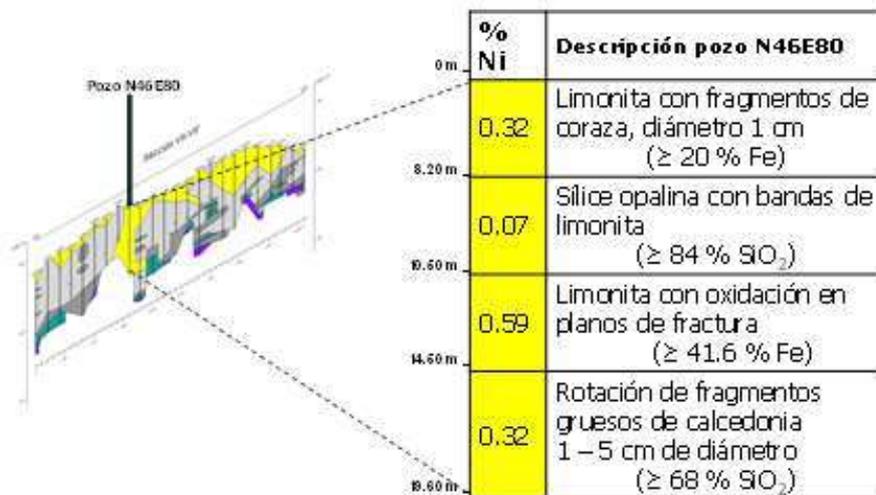


Figura 10. Caracterización geológica de una zona de falla típica en el yacimiento laterítico niquelífero San Felipe.

La continuidad de la secuencia geológica en los pozos situados en lados opuestos y la conservación de la mineralización niquelífera indican que la zona de ruptura está limitada a la región del pozo N46E80 (Figura 11).

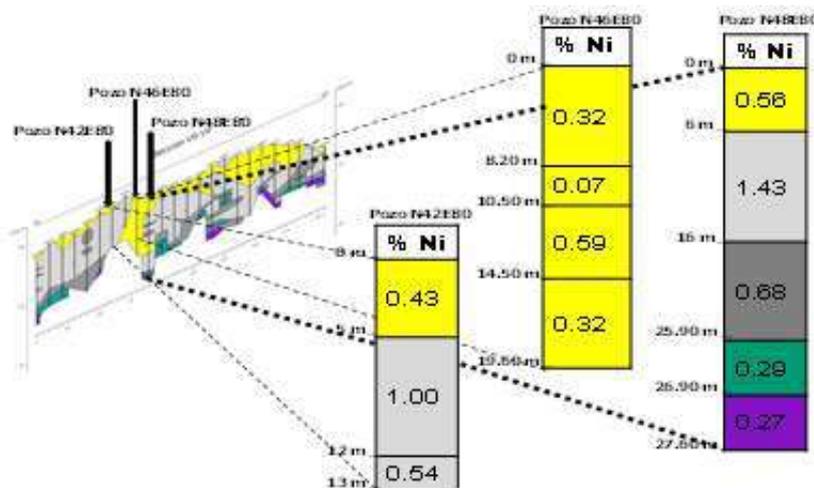


Figura 11. Representación del horizonte menífero a ambos lados de una zona de falla.

4. CONCLUSIONES

- Los horizontes meníferos saprolíticos se han conservado a diferentes niveles hipsométricos, en correspondencia con los movimientos tectónicos recientes.
- La modelación de la distribución espacial de los elementos y compuestos químicos permitió esclarecer la relación entre la mineralización niquelífera y la estructura tectónica del yacimiento San Felipe.
- Las zonas de fractura están intensamente oxidadas, con bandeamiento de minerales arcilloso-esmectíticos, grietas rellenas por cuarzo de grano fino, fragmentos gruesos de calcedonia y cuarzo opalino. En estas zonas es frecuente el enriquecimiento supergénico con altos contenidos de la mineralización niquelífera, lo cual está relacionado con la amplitud de los desplazamientos tectónicos en las serpentinitas alteradas del basamento.

5. REFERENCIAS

- Almaguer, Y. 2005: *Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento punta gorda*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 87 p.
- Ariosa, J., Copa. W. L., Bergues, P. S. Y R. Díaz, R. 2003: Modelo geológico descriptivo para yacimientos lateríticos de Fe-Ni-Co en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa. *Minería y Geología*, (1-2): 22-24.
- Bates, L. & Jackson, J. A. 1987: *Glossary of geology*. In Groshong, Jr. H. R (2006). *3-D Structural Geology. A Practical Guide to Quantitative Surface and Subsurface Map Interpretation*. Second Edition, Springer Berlín Heidelberg New York, 400 pp.
- Chang-Rodríguez, A. Y Rojas-Purón, A.L. 2018: Movilidad geoquímica y grado de meteorización del yacimiento San Felipe, Camagüey Cuba. *Minería y Geología*, 34 (2): 122-135.
- Cobas-Botey R.M, Formell-Cortina, F. y Leyva-Rodríguez, C.A. 2017: Modelo geológico descriptivo del yacimiento laterítico San Felipe, Camaguey, Cuba. *Minería y Geología*, 33 (3):261-275
- Drapper, G. & J. F. Lewis. 1983: Petrology and structural development of Duarte complex central Dominican Republic a preliminary account and some tectonic implications In: Duque-Caro, H. Transactions of the Tenth Caribbean Geological Conference, Colombia: Ed. Cartagena, 14th-20th August, 103-112.

- Fonseca, E. Zelepuguin, V. Heredia, M. 1984: Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica en Cuba, *Ciencias de la Tierra y Espacio*, (9):31-46.
- Formell, F. 2003: Diferencias en el desarrollo morfoestructural de las regiones metalogénicas exógenas de Oriente Septentrional y Camagüey Central y su influencia en la formación de las cortezas de intemperismo niquelíferas. En: Taller Internacional de la Geología y Minería del Níquel Cubano, TGMNI 02. V Congreso Cubano de Geología y Minería, Ciudad de La Habana, Cuba, 24-28 marzo.
- González, E., Cañete, C. Carral, R. Díaz, J. Capote C. y Rodríguez A. 1986: Análisis estructural del macizo Mayarí Baracoa. *Serie Geológica*, (4) :76-98
- Groshong, Jr. H. R. 2006: *3-D Structural Geology. A Practical Guide to Quantitative Surface and Subsurface Map Interpretation*. Second Edition, Springer Berlin Heidelberg New York, 400 pp.
- Herrington R. J. 1998: Estudio mineralógico de las lateritas niquelíferas del yacimiento San Felipe, Cuba. Museo británico de ciencias naturales. Reporte.
- Lavaut-Copa, W. 2004: Patrones de meteorización de rocas ofiolíticas de Cuba Oriental: su importancia para la minería. *Minería y Geología*, 20 (3-4): 3-14.
- Macharé, O. J. 2016: Aspectos-clave de la Geología Estructural para las Exploraciones. Conferencia SEG-UNMSM, Instituto Geofísico del Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. [en línea] 66, junio 2016. Consulta 18 ene 2017. Disponible en: <http://www.sgp.org.pe>
- Martínez, A. y Pérez Y. 2000: *Metodología para la modelación de yacimientos residuales de níquel*. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 118 p.
- Rodríguez-Catalá, A., Ravelo, R. Chang, A. González, R. Y Lugo, R. 2001: Generalización de la información geológica sobre el depósito de níquel San Felipe. En: Proyecto San Felipe Camagüey. Cuba, 47 p.
- Rodríguez-Catalá, A. 2005: Reporte de zonas de alta alúmina y diques gabroides en el depósito San Felipe, provincia Camagüey Cuba. [CD-ROM]. En: I^{era} Convención Cubana de Ciencias de la Tierra - I^{er} Congreso de Minería - GEOCIENCIAS'2005. Memorias. La Habana, Cuba, 5-8 abril 2005.

- Rodríguez-Catalá, A. 2016: La zonalidad litológica del yacimiento San Felipe como patrón de reconocimiento de los cambios progresivos del perfil laterítico. III Congreso internacional de Minería y Metalurgia. MINEMETAL 2016. Memorias 3-7 Octubre Plaza América Varadero, Cuba. Sesión explotación minera EM-1.
- Rodríguez-Catalá, A. y Velázquez, L. D. 2018: Comportamiento físico, químico y mineralógico del perfil laterítico San Felipe. Implicaciones para la exploración. IV Congreso internacional de minería y metalurgia. MINEMETAL 2018. Memorias 25-27 Septiembre Plaza América Varadero, Cuba. Sesión técnicas físicas y químicas.TFQ-16.
- Tavlan, M., Thorne, R. & Herrington R. J. 2011: Uplift and lateralization history of the Çaldag ophiolitic in the context of neo-tethyan ophiolitic abduction and uplift: implications for the Cenozoic weathering history of western Anatolia. *Journal of the Geological Society*, 168: 927-940.
- Vargas, G. y Rodríguez, A. 2009: Metodología para la prospección de níquel utilizando técnicas de sensores remotos. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 25: 43-46 [en línea] Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/10860>

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

ARC: Diseño de la investigación, obtención de datos, análisis e interpretación, redacción de la primera versión, aceptación de la versión final. ARI: Revisión del original, reelaboración del manuscrito, aceptación de la versión final.

ORCID

ARC, <https://orcid.org/0000-0002-7515-4800>

ARI, <https://orcid.org/0000-0001-7997-7145>

Recibido: 09/12/2020

Aceptado: 15/09/2021