

Modelo geológico descriptivo del yacimiento laterítico San Felipe, Camaguey, Cuba

Rosa María Cobas-Botey
Francisco Formell-Cortina
Carlos A. Leyva-Rodríguez

Resumen

La presencia de sílice libre en todo el perfil hace de San Felipe un depósito laterítico atípico que difiere de los yacimientos de corteza de intemperismo de la región oriental de Cuba. El presente artículo define el modelo geológico de este yacimiento como saprolítico-laterítico de níquel + cobalto. Para confeccionar el modelo geológico descriptivo de este depósito se recopiló, sistematizó y evaluó la información geológica de más de mil pozos de perforación con determinaciones para Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, MgO así como resultados de estudios geofísicos, mineralógicos y geomorfológicos. Este modelo es una importante contribución al conocimiento científico de las lateritas cubanas y facilitará establecer las guías de exploración que posibiliten una mejor estimación de recursos y planificación de los futuros trabajos geológicos y mineros..

Palabras clave: yacimiento San Felipe; corteza de intemperismo; modelo geológico descriptivo; lateritas cubanas.

Descriptive geological model for the San Felipe laterite ore body, Camaguey, Cuba

Abstract

The concentration of free silica in all the profile makes San Felipe an atypical laterite deposit. It differs from the weathering crust ore bodies located in the western region of Cuba. The geologic model of this ore body is defined to be saprolitite-laterite of nickel plus cobalt. The geologic information of more than a thousand drills was recollected, systematized and evaluated to design the descriptive geologic model of this ore body with determinations for Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, MgO in addition to the results obtained from geophysical, mineralogical and geo-morphological investigations. This model is a key contribution to the scientific knowledge of the Cuban laterite ore and will facilitate the implementation of exploration guidelines allowing a better estimation of resources and planning of future geological and mining Works.

Keywords: San Felipe ore body; weathering crust; descriptive geological model; Cuban laterite ore.

1. INTRODUCCIÓN

El Programa de Modelación de Yacimientos se inició a nivel internacional en 1983 con la finalidad de promover técnicas de avanzada en la exploración y evaluación de los recursos minerales para apoyar el desarrollo sostenible de los países en desarrollo. Es un programa conjunto de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

En Cuba se inicia en el año 2000 como aplicación práctica de la metodología de modelación de yacimientos. A partir de la información existente, su análisis, procesamiento, generalización y transformación en modelos descriptivos, se proponen tres modelos para los yacimientos lateríticos de Fe-Ni-Co en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa en Cuba oriental (Ariosa 2000).

Las lateritas desarrolladas en la región central de Cuba poseen características diferentes; están representadas por el yacimiento San Felipe, desarrollado sobre las ofiolitas emplazadas en Camagüey donde las condiciones físico-químicas y geomorfológicas, entre otras, le confieren características geológicas específicas para las que no existe un modelo descriptivo.

Por tal motivo se elabora un modelo descriptivo para el yacimiento San Felipe, que puede servir de base para posteriores investigaciones de exploración, técnico-mineras y tecnológicas. El modelo ha sido definido como saprolítico laterítico de níquel y cobalto, no establecido en Cuba en los modelos anteriores (Ariosa 2000), ni en los modelos internacionales lateríticos para el níquel (38a), para las lateritas bauxíticas (38b) y el laterítico-saprolítico de Au (38g), Cox y Singer (1986, 1986, 1987), el laterítico de hierro (B01), el laterítico de níquel (B02), el laterítico-saprolítico de oro (B03) y el bauxítico de aluminio (B04) definidos por la *British Columbia*. (British Columbia Mineral Deposit Profiles, 2010).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo se construyó con la información recopilada, evaluada y procesada sobre la geología del depósito San Felipe a partir de investigaciones geológicas realizadas durante los años 1998 al 2000, disponibles en el archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales de Cuba. Se procesó información correspondientes a 1000 pozos o calas de perforación vertical que representan un total de 14 821,65 metros, con un muestreo realizado a paso de 1 m, en redes de 500x200 m, 200x200 m, 100x100 m, 50x50 m, hasta 25x25 m en algunas áreas y en el área noroeste a 1000x1000 m, así como determinaciones químicas por el método de ICP (Plasma Inductivamente Acoplado) para 7 elementos (Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃,

MgO) y las determinaciones de humedad para cada una de las muestras tomadas.

Se dispuso además de la información captada con el método de sondeo eléctrico vertical y polarización inducida (SEV-PI), cargabilidad, resistividad, GPR, entre otros métodos, recogiendo con estas técnicas resultados que aportan al conocimiento geológico y por ende a la elaboración de un modelo geológico descriptivo más robusto. El empleo de estas técnicas aportan información sobre el límite limonita - saprolita, es decir, el límite de la corteza con la roca no intemperizada. Los estudios mineralógicos se realizaron empleando diferentes métodos como: análisis de difracción de rayos X (DRX) tanto de muestras en polvo como de agregados orientados (AO, AO+EG, AO+550°C) y microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) y de transmisión (TEM-AEM).

El estudio de la composición sustancial de las muestras se realizó sobre la base de análisis petro-mineralógico, granulométrico y de fases. Se les realizó análisis cualitativo por Difracción de RX (DRX) y composición química de los minerales en el *Scanning Electronic Microscope* (SEM) o (MEB) con sistema de microanálisis por dispersión de energía (EDS).

La clasificación del modelo se realizó atendiendo a las propuestas de clasificaciones ya existentes para minerales lateríticos de níquel y oro realizadas por Cox y Singer (1986) en el *U.S. Geological Survey Bulletin* y a las presentadas por el *British Columbia Mineral Deposit Profiles*.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo geológico descriptivo del depósito San Felipe se define como saprolítico laterítico de níquel+cobalto. Las características de este depósito lo ubican como un caso particular en Cuba y uno de los pocos en el mundo, dejando establecidas sus diferencias con los depósitos lateríticos desarrollados en el norte de la región oriental al presentar rasgos geoquímicos y mineralógicos específicos. La presencia inusual de la sílice libre y contenida en el perfil excede la que se presenta en los demás yacimientos de níquel cubanos; sus bajos contenidos de hierro, la presencia de minerales arcillosos esmectíticos, que además controlan la mineralización de níquel, lo hacen diferente a los conocidos en la región oriental y occidental de Cuba.

3.1. Características geológicas

El origen de la morfoestructura de San Felipe se asocia a la probable existencia de una antigua corteza de intemperismo que se desarrolló en toda el área del actual peniplano de Camagüey. En estas condiciones, las

aguas sobresaturadas en sílice y magnesio que tenían una lenta circulación y una lenta extracción del sistema, precipitaban la sílice y el magnesio rellenando fundamentalmente las grietas prototectónicas y las zonas de fallas de las ultrabasitas. (Formell y Cobas 1998, 1999; Formell 1999).

El depósito San Felipe es una corteza de intemperismo de tipo manto lineal. Por la suave caída de sus cotas hacia el noroeste se puede hablar de la presencia de una cuesta, aunque se le conoce como meseta de San Felipe. El depósito cubre parte del terreno de corteza oceánica de Camagüey, el cual forma una cuña orientada en dirección NW-SE que ha sido obducida a través de una falla de sobrecorrimiento de bajo ángulo sobre el terreno del margen continental de Norteamérica en el Cretácico Superior tardío o Cenozoico temprano. Ese segmento de la corteza oceánica fue emplazado en la superficie a lo largo de una zona de subducción, originalmente de buzamiento sur durante la colisión oblicua dextral de arco de isla volcánico cubano contra el cratón de Norteamérica que resultó en el cierre y sutura de la zona de subducción (Formell 2002).

Las rocas del segmento oceánico están generalmente representadas por las tectonitas ultramáficas, los cúmulos máficos, diques paralelos de diabasas y basaltos oceánicos, todos ellos comprendidos en un conjunto tectónico, arqueado e imbricado, de fallas y pliegues de sobrecorrimiento, que rompieron la secuencia estratigráfica normal de la corteza oceánica.

Durante el Terciario se desarrolló una potente corteza de intemperismo laterítica saprolítica arcillosa de tipo areal la cual se profundizó formando una corteza de intemperismo de tipo bolsón, facilitado por la existencia de zonas de debilidad tectónica. En este ambiente la sílice y el magnesio extraídos por las aguas agresivas que circulaban lentamente eran precipitados en el fondo de la corteza de intemperismo en forma de sílice libre (ópalos y calcedonia) y magnesita. Posteriormente, durante el Terciario tardío-Cuaternario esa corteza de intemperismo fue totalmente lavada, invirtiéndose el relieve y quedando el depósito San Felipe como un remanente de erosión, gracias precisamente a la presencia de sílice secundaria que se comportó como barrera e impidió la erosión del área. Ulteriormente, una nueva corteza de intemperismo se desarrolló sobre el antiguo relieve erodado saturado de sílice libre fragmentada en forma de ópalos y calcedonias (Formell y Cobas 1998, 1999).

El depósito San Felipe tiene una dirección general NW-SE, paralela a la dirección estructural de la falla Cubitas de la que la separa un valle de tipo graben de mantos de sobrecorrimiento. Se define como una meseta de tipo horst en una zona de antiguos sobrecorrimientos, caracterizada por laderas

abruptas al suroeste, este y noreste y una ladera que se desarrolla al noroeste y que desciende de forma muy suave hasta alcanzar el nivel del peniplano general. El límite oeste coincide con la falla de sobrecorrimiento que limita el terreno de corteza oceánica del terreno de arco de islas volcánico el cual cabalga a las ultrabasitas con un ángulo suave que no sobrepasa los 30°.

3.2. Modelo descriptivo de San Felipe

San Felipe es un depósito de corteza de intemperismo a partir de rocas ultramáficas y constituye una meseta elevada sobre el nivel del peniplano regional de Camagüey. En los bordes de la meseta la corteza de intemperismo desaparece y afloran rocas ultramáficas frescas representadas principalmente por harzburgitas serpentinizadas. En toda la superficie de la meseta se observan bloques sueltos, aislados, de coraza de hierro con sílice libre (*harpan, duricrust*) y de sílice. Estos bloques que se distribuyen irregularmente aumentan su presencia y sus contenidos de sílice hacia la periferia de la meseta, observándose que predomina la coraza de hierro silícea (Formell y Cobas 1998, 1999).

La sílice libre es omnipresente en el perfil de la corteza de San Felipe y está representada por fragmentos de diferentes tamaños y bloques de ópalos que varían en color del rojo al pardo, blanco y verde, notándose un aumento hacia la periferia. También se debe destacar la presencia en profundidad de bloques de coraza de hierro muy silicificados en el seno de las serpentinitas nontronitizadas. Estos elementos por si, apoyan la hipótesis de que en San Felipe al menos se observan dos generaciones de cortezas de intemperismo de las rocas ultramáficas:

1. Una más antigua representada por relictos de sílice libre en forma de ópalos que se desarrollan por doquier y fragmentos de coraza de hierro en profundidad en el perfil;
2. Una más joven que constituye las menas actuales y que se habría desarrollado sobre los relictos de la antigua corteza de intemperismo que fue lavada y erodada.

La acción combinada de los procesos exógenos y tectónicos determinaron la evolución y las características del perfil de intemperismo constituido esencialmente por menas arcillosas esmectíticas silicatadas. Las condiciones de la transferencia de las aguas muy lentas en San Felipe dieron lugar a un perfil muy complejo de la corteza de intemperismo con la participación inusual de la sílice, tanto libre como combinada, resultado de la difícil extracción de las aguas altamente mineralizadas del sistema. La zonación

transicional del perfil de San Felipe, de arriba hacia abajo, agrupando los horizontes en tres zonas, es como sigue:

- *Zona de las Limonitas*

Representada por los ocres no texturales con perdigones o concreciones (ONTCP), ocres no texturales (ONT) y ocres texturales limoníticos (OTL). Como se muestra en la Tabla 1 y la Figura 1, estos horizontes son más ricos en Fe, Al_2O_3 y Cr_2O_3 y más pobres en Mg. Los contenidos de Ni son bajos y la SiO_2 se encuentra en concentraciones elevadas. El horizonte de los OTL posee concentraciones de óxidos e hidróxidos de hierro, el Mn se encuentra en forma de pátinas y se concentran ahí los mayores contenidos de Co. Por los valores que ya comienza a alcanzar el Ni en este horizonte, puede ser considerado dentro de la envolvente mineral.

Tabla 1. Composición química y humedad del horizonte limonítico, %

Litología	Ni	Fe	Co	SiO_2	MgO	Al_2O_3	Cr_2O_3	% Humedad
ONTCP	0.40	32.4	0.05	25.9	0.54	11.9	2.21	16.97
ONT	0.45	27.1	0.034	39.4	1.15	7.8	1.70	22.49
OTL	0.83	26.0	0.065	40.9	2.68	6.3	1.54	31.25

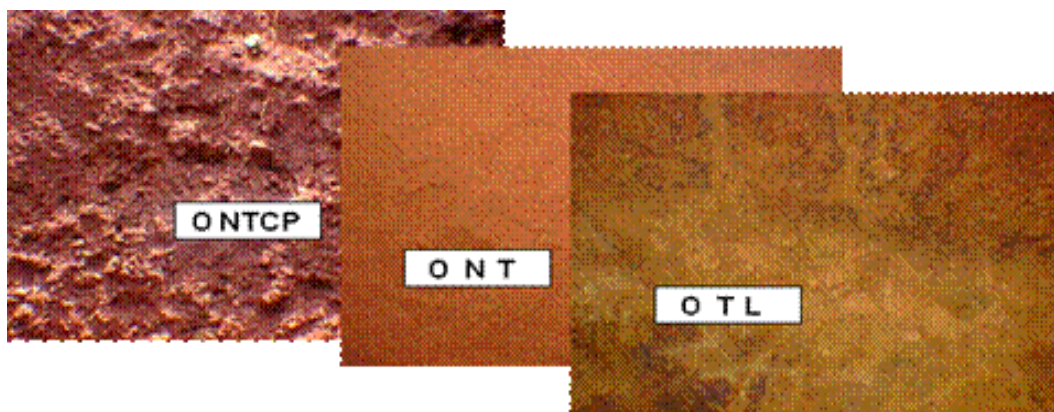


Figura 1. Fotos tomadas en profundidad durante la excavación de un pozo criollo en el horizonte limonítico.

- *Zona de las Saprolitas*

Está representada por los ocres texturales nontroníticos (OTN), las serpentinitas nontroníticas (SN) y las serpentinas lixiviadas (SL). Es una zona menos oxidada, por lo que ya no se observa la coloración rojiza como se muestra en la Figura 2. Se incrementan los valores de Ni, SiO_2 y MgO, mientras los de Co decrecen. Las mayores concentraciones del Ni se encuentra en las serpentinitas nontroníticas, como se puede observar en la Tabla 2. Dentro de las SL comienza una disminución del Ni y un aumento

del MgO. Excepcionalmente se localizan contenidos importantes de Ni en las serpentinitas lixiviadas.

Tabla 2. Composición química y humedad del horizonte saprolítico, %

Litología	Ni	Fe	Co	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	% Humedad
OTS	0.98	21.7	0.053	46.0	4.9	4.8	1.42	35.76
SN	1.05	14.3	0.035	48.1	14.2	3.4	1.01	36.69
SL	0.75	11.4	0,022	47.5	22.7	2.4	0.83	32.44

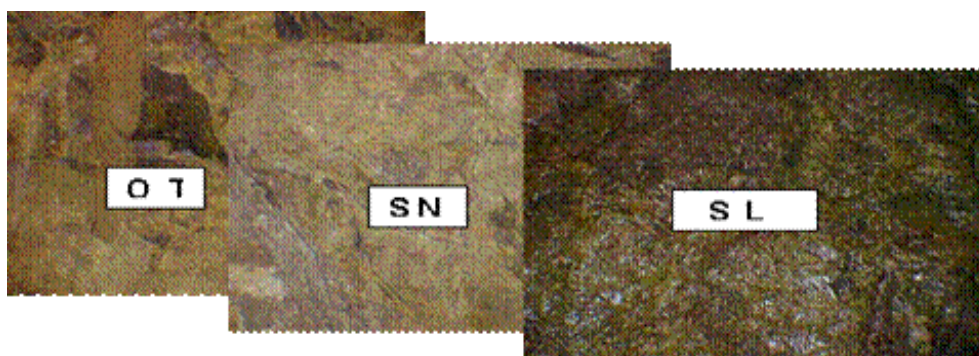


Figura 2. Fotos tomadas en profundidad durante la excavación de un pozo criollo en el horizonte saprolítico.

- *Zona del Basamento*

El basamento posee forma sinusoidal, con bolsones y elevaciones alternantes y está representado fundamentalmente por harzburgitas serpentinizadas desintegradas, dunitas muy poco representadas y se han reportado raras ocurrencias de materiales leucocráticos. En esta zona todos los elementos disminuyen notablemente a excepción del MgO que aumenta y la SiO₂, que aun cuando ha disminuido, se mantiene alta como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición química y humedad del basamento, %

Litología	Ni	Fe	Co	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	% Humedad
Roca	0.39	7.10	0.013	40.9	31.7	1.34	0.55	14.9

Este basamento está representado por rocas de la asociación ofiolítica, con un predominio en lo fundamental de la zona de transición o MTZ compuesto por las peridotitas (harzburgitas, lherzolitas, wherlitas), dunitas, diques de piroxenitas, gabros, microgabros y diabasas (Figura 3).

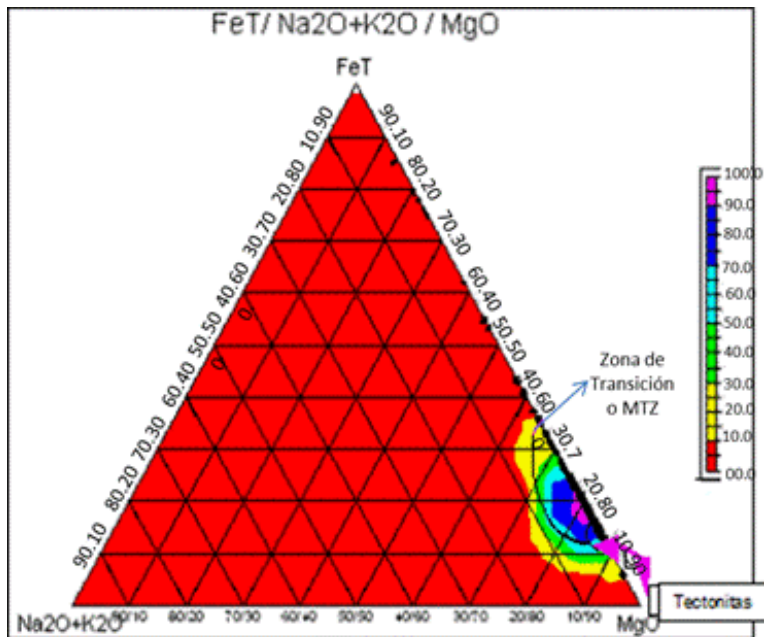


Figura 3. Diagrama petrológico AFM del depósito San Felipe.

La edad de la corteza niquelífera en San Felipe no es más antigua que el Plioceno y se habría desarrollado sobre los relictos silíceos de una corteza de intemperismo más antigua que fue lavada y erodada (Formell y Cobas 1998).

3.2.1. Texturas y Estructuras

El yacimiento presenta una zonalidad litológica en profundidad, con un cambio transicional entre los horizontes. En la zona esmectítica la textura primaria del protolito prácticamente no se preserva. La lizardita se observa parcialmente reemplazada por esmectita. Las imágenes de TEM muestran agregados escamosos de esmectitas y granos con síntomas de disolución en la lizardita.

En general las muestras conservan la estructura primaria de la peridotita serpentizada (textura mallada) formada durante el proceso de serpentización de fondo oceánico (Figura 4). En los núcleos de los olivinos se observa un agregado criptocristalino de color verde que se identifica como un mineral del grupo de las esmectitas (sm) (Gallardo 2011).

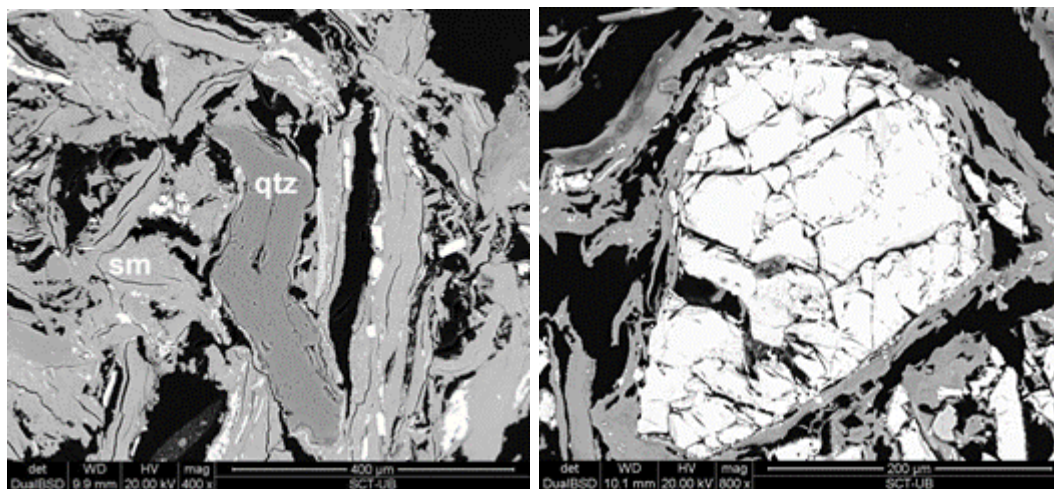


Figura 4. Fotos de electrones retrodispersados de agregados criptocristalinos de esmectita, cuarzo y óxidos de hierro, (izq) y de electrones retrodispersados de un cristal de óxido o hidróxido de hierro (der). Tomado de Gallardo (2011).

La zona esmectítica está dominada por minerales del grupo de la esmectita y en menor proporción por lizardita y maghemita. Los espectros de DRX en forma de agregado orientado muestran un pico intenso a 14.7 \AA , indicando la presencia de una esmectita con 2 capas de agua. Al calentar colapsa la estructura a 9.9 \AA y cuando se satura con etilenglicol el espaciado aumenta a 17.3 \AA . Los valores del espaciado (060) son de 1.51 \AA , valor característico de una esmectita dioctaédrica rica en Fe (Gallardo 2011).

3.2.2. Mineralogía de las menas

Las menas en general están constituidas por smectitas (nontronita y montmorillonita), óxidos e hidróxidos de Fe ricas en trevorita, minerales del grupo de la serpentina, SiO_2 libre y cloritas, así como otros minerales presentes en pequeñas cantidades como la moscovita, cromita y óxidos de Mn con ernieniquelita, el cual es un óxido de manganeso y níquel hidratado que se encuentra muy entrecrecido con los otros minerales de manganeso, por lo tanto, no fue posible determinar sus características físicas. Los minerales arcillosos representan más del 60% de los minerales útiles, y se concentran en las fracciones finas (Cabrera 2005).

El mineral de níquel se encuentra fundamentalmente como inclusiones dentro de los aluminosilicatos (arcillas) y silicatos de magnesio (serpentina) y en menor proporción asociado con las cromitas y los óxidos de manganeso.

La composición granulométrica se caracteriza por un alto contenido de las fracciones finas (52-76% -0.074 mm) debido al predominio de los minerales

arcillosos en su composición mineralógica, siendo los principales portadores de Ni, éste se recupera en un 57-85% en la fracción -0.074 mm.

Los minerales de níquel identificados fueron: silicato de níquel, cromitas níquelíferas y en menor proporción los cloratos de níquel hidratados en los minerales ferrosos así como en las sílices, la mayor proporción la tienen los minerales amorfos (Cabrera 2005).

3.2.3. Control de las menas

Las menas níquelíferas están asociadas a las arcillas esmectíticas, se distribuyen de forma regular y continua por todo el depósito y su potencia promedio es de 10 m. Los principales minerales portadores de Ni y Co son las esmectitas que se presentan fundamentalmente en forma escamosa, la limonita, la serpentina y los óxidos de manganeso, siendo los minerales útiles mayoritarios y representan un 65-82% de la masa total, concentrados por lo general en las fracciones finas (Marín 2011)

3.2.4. Rasgos geoquímicos

En la Figura 5 se muestran los contenidos por litologías y en la Tabla 4 la codificación utilizada. La sílice está presente con una distribución errática en todo el perfil y aparece no solo en los silicatos sino también en forma de sílice libre como ópalos, calcedonias y marshalitas. Los contenidos de Mg también son elevados comparados con otros yacimientos lateríticos cubanos. El Ni está asociado a las esmectitas, menas silicatadas ricas en Ni, por tal razón se distribuyen también de forma errática en todo el perfil (ver gráfico, en color verde el Ni), el Co es bajo por su usual asociación con el Fe, que para este yacimiento es bajo. Estas características entre otras hacen las diferencias con otros yacimientos lateríticos cubanos.

Los colores que identifican cada uno de los porcentajes de los elementos en las barras del gráfico se encuentran ordenados en la leyenda en el mismo orden.

La clasificación litológica empleada fue definida durante los trabajos realizados en las campañas de perforación y difiere en parte por las empleadas en los yacimientos de la región oriental, por las características específicas de este depósito.

Tabla 4. Codificación litológica utilizada

Código	Horizonte del corte de intemperismo
Lit 1	Coraza de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$
Lit 2	Limonita con pisolitos y coraza de $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$
Lit 3	Limonita no textural sin pisolitos
Lit 4	Limonita textural (Zona de transicional)
Lit 5	Ocre no textural nontronítico (Limonita >Serpentina)
Lit 6	Serpentina nontronitizada (Nontronita> Serpentina)
Lit 7	Serpentina lixiviada
Lit 8	Roca madre (Peridotita)
Lit 81	Harzburgitas Serpentinizadas

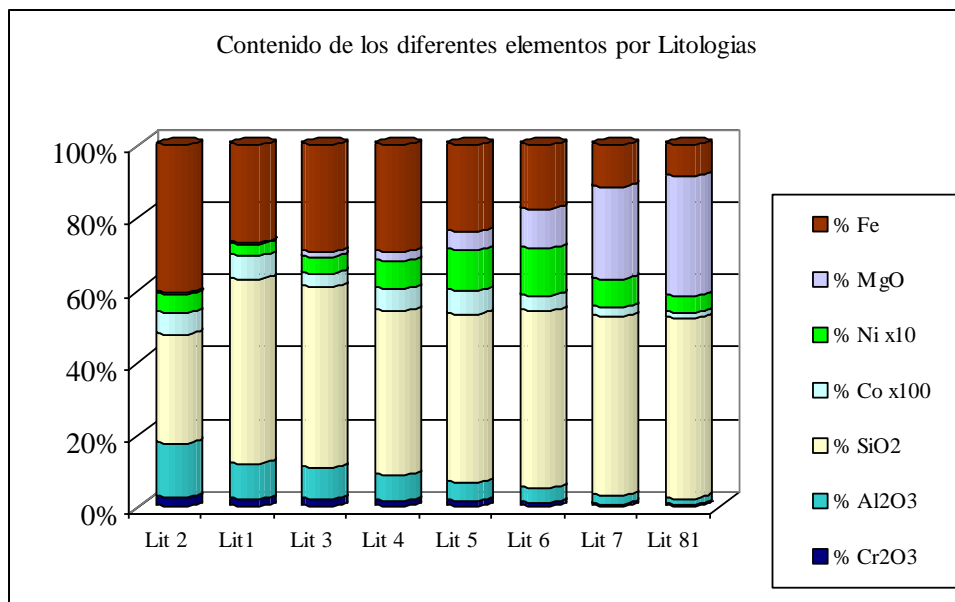


Figura 5. Contenido de los diferentes elementos químicos por litologías.

3.2.5. Rasgos geofísicos

La variabilidad de la resistividad y cargabilidad tienen relación con altas concentraciones de minerales arcillosos y la sílice libre presente en todo el corte. Las zonas y en ocasiones los horizontes pueden ser identificados por la resistividad y la cargabilidad, por lo que se determina la frontera limonítica saprolítica y saprolitas-rocas madres. Este método da la potencia de la corteza, se logra diferenciar los horizontes y el relieve del basamento. A continuación se presenta el Modelo de Interpretación según sondeo eléctrico vertical-polarización inducida (SEV-PI). (Escobar y otros 1998).

11			45			4			Cargabilidad (m V/V)	
270			30		12		35		Resistividad (Ohm-m)	
L L L			S S S			Π Π Π			Horizonte	
V		V		V		V		Π Π Π		Litología

3.2.6. Limitantes económicas

Las características geológicas estudiadas no constituyen limitaciones económicas para la posible explotación de este yacimiento. Se ha comprobado que con un adecuado estudio tecnológico se definen con claridad las técnicas de explotación y procesamiento del mismo. Este yacimiento tiene características químicas y mineralógicas similares al yacimiento Murrin Murrin el cual se procesa con la tecnología de lixiviación ácida a presión y al depósito Shevchenko que se procesa en Kazajstán para ferroaleaciones.

3.2.7. Usos finales e importancia

Por las características geológicas del depósito se recomienda su uso preferiblemente para ferroaleaciones o para la extracción de menas de níquel y cobalto por vía ácida. Es un yacimiento grande y una fuente importante de Ni y Co que puede ampliar la producción de Níquel de Cuba. Teniendo en cuenta que es un recurso mineral no renovable, debe ser estudiado y explotado de modo sostenible.

4. CONCLUSIONES

1. Se realizó el modelo geológico descriptivo de San Felipe, caracterizando integralmente el mismo. Su confección se realiza por primera vez en Cuba y cumple con las tendencias actuales de los servicios geológicos internacionales para la descripción, sistematización y organización referencial de los yacimientos minerales. Servirá para la mejor organización y desarrollo de los trabajos de búsqueda, exploración y explotación de los yacimientos ferro-cobalto-niquelíferos de Cuba.
2. El Modelo Geológico del Yacimiento San Felipe se define como saprolítico laterítico de níquel + cobalto, no definido hasta ahora en el país ni a nivel internacional para el níquel.

3. La envolvente mineral del depósito está asociada a arcillas esmectíticas las que se distribuyen de forma regular y continua por todo el depósito.
4. La presencia de la sílice libre y contenida en todo el perfil hacen de San Felipe un depósito atípico dentro de los yacimientos lateríticos cubanos.

5. REFERENCIAS

- BRITISH COLUMBIA MINERAL DEPOSIT PROFILES. 2010: List by Deposit Group. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources. Recuperado de [http://www.empr.gov.bc.ca/Mining/Geoscience/MineralDepositProfiles/ListbyDepositGroup/Pages/default.aspx\[2010-05-06](http://www.empr.gov.bc.ca/Mining/Geoscience/MineralDepositProfiles/ListbyDepositGroup/Pages/default.aspx[2010-05-06)
- CABRERA, I. & ALONSO, A. 2005: Evaluación de los minerales portadores de níquel en ultrabasitas del peniplano Camagüey y comparación con depósitos del macizo Moa-Baracoa. Grupo Informático, División Desarrollo Tecnológico, CIPIIM *Boletín INFOMIN* 5, Mayo 2005.
- COBAS-BOTEY, R. 2016: Caracterización geológica de las lateritas en diferentes regiones metalogénicas: comparación de los yacimientos San Felipe y Piloto. *Minería & Geología*, 32(1): 48-59.
- DENNIS P. COX AND DONALD A. SINGER (Editors) 1986: Mineral Deposit Models. *U.S. Geological Survey Bulletin* 1693.
- DENNIS COX, DONALD SINGER, EDUARDO RODRIGUEZ (Editores) 1987: Modelos de Yacimientos Minerales. United States Department of the Interior Geological Survey. Open File Report :87-486.
- ESCOBAR E. 1998: Algunos resultados de las investigaciones geofísicas en cortezas lateríticas niquelíferas Investigaciones geofísicas en el Yacimiento San Felipe. Geominera S.A.
- FORMELL. F., COBAS. R. M., RAVELO. L., BARYOLO L., GONZÁLEZ V. 1998: Programa de perforación orientativa. Primera fase proyecto San Felipe. SAN FELIPE MINING. Inv. 5208. Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- FORMELL C. F. 2002: 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. IV Congreso Cubano de Geología, La Habana. Cuba.
- FORMELL, C. F., COBAS B. R. M. 1999: Informe III Comité de Administración San Felipe Mining.
- GALLARDO T., TAULER E., GARCÍA-ROMERO E., PROENZA J.A., SUÁREZ-BARRIOS M., CHANG A. 2011: Caracterización Mineralógica de las Esmectitas Niquelíferas del Yacimiento de San Felipe (Camagüey, Cuba). *Macla*, 15 :89-90.

MARÍN, P. 2011: Caracterización del perfil laterítico rico en níquel de San Felipe (Cuba) y Separación de fases minerales mediante caída de partículas en un fluido viscoso. Departamento de Cristalografía, Mineralogía i Depósitos Minerales (Facultad de Geología). Universidad de Barcelona. Febrero 2011.

Rosa María Cobas-Botey, rcobas@oc.minen.cu

Ministerio de Energía y Minas. Dirección de Geología, La Habana, Cuba.

Francisco Formell-Cortina, ffcformell@gmail.com

Doctor en Ciencias Geológicas. Jubilado

Carlos Alberto Leyva-Rodríguez, cleyva@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Geológicas. Departamento de Geología.

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" Moa, Holguín, Cuba