



TÍTULO: PERTINENCIA DE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES DE POLARIZACIÓN INDUCIDA Y GRAVIMETRÍA PARA LAS INVESTIGACIONES DE LA CORTEZA DE METEORIZACIÓN LATERÍTICA DE LA MESETA DE CAJÁLBANA.

Juan Ruiz Quintana

Ing. Metalúrgico. Master en Ciencias. Profesor Asistente. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Director General de Minería del Ministerio de Energía y Minas. Cuba. jruiz@minem.gob.cu

Alfredo de Jesús Hernández – Ramsay

Ing. Geofísico. Máster en Geofísica Aplicada. Empresa Geominera Oriente. Santiago de Cuba, Cuba. alfredo.hernandez@scgeomin.minem.cu

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Juan Ruiz Quintana y Alfredo de Jesús Hernández Ramsay (2018): "Pertinencia de los métodos geofísicos de sondeos eléctricos verticales de polarización inducida y gravimetría para las investigaciones de la corteza de meteorización laterítica de la meseta de Cajálbana.", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (junio 2018). En línea: [//www.eumed.net/rev/caribe/2018/06/metodos-sondeos-electricos.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/06/metodos-sondeos-electricos.html)

Resumen:

La Meseta de Cajálbana en el occidente de Cuba, al igual que la de San Felipe en Camagüey y de Pinares de Mayarí en el oriente cubano, constituye un depósito lateríticos de la corteza de meteorización con una extraordinaria variabilidad interna, ya sea desde el punto de vista mineralógico, como de sus propiedades físicas y geométricas. Estas características provocan que el estudio de dichos depósitos con fines extractivos sea difícil y consecuentemente la cuantificación de los recursos a partir de redes de pozos sea muy costosa y no muy exacta. Este trabajo expone algunos resultados de la aplicación del método geofísico de sondeo eléctrico vertical de polarización inducida (SEV-PI) en el estudio de las cortezas de meteorización ferro-niquelíferas-cobaltíferas y su basamento, en Cuba, con el interés de determinar sus espesores para aumentar la precisión en el cálculo de recursos.

Palabras clave: Depósitos lateríticos, cortezas de meteorización, sondeo eléctrico vertical de polarización inducida, Cuba.

Summary:

The Cajálbana plateau in western Cuba, like the San Felipe plateau in Camagüey and Pinares de Mayarí in eastern Cuba, are lateritic deposits of weathering crust with an extraordinary internal variability, from the mineralogical point of view, as of its physical and geometric properties. These characteristics make the study of such deposits for extractive purposes difficult and consequently the quantification of resources from well networks is very expensive and not very exact. This work exposes some results of the application of the geophysical method of Vertical Electrical Sounding of Induced Polarization (VES-IP) in the study of ferronickeliferous ceramic weathering crusts and its basement, in Cuba, with the interest of determining its thicknesses to increase the precision in the calculation of resources.

Key words: Lateritic deposits, mantles of waste, induced polarization vertical electrical sounding, Cuba.

INTRODUCCIÓN

La corteza de meteorización ferroniquelífera de la meseta de Cajálbana se originó sobre rocas ofiolíticas, igual que las otras cortezas antes mencionadas, la variación lateral de los contenidos de Fe, Ni, Co y otros, no son tan bruscas como el contacto entre corteza de meteorización y su basamento ofiolítico. El espesor de la mencionada corteza es muy variable, al punto que entre pozos el espesor puede aumentar o disminuir, alterando los valores del cálculo de recursos, determinado por la red de perforación, la cual no puede ser más densa pues encarece demasiado los resultados (Hernández y Escartín, Escartín-Sauleda, 2018: 416).

La alta variabilidad y complejidad geológica de estos depósitos incluye una gran irregularidad en el relieve del piso de la corteza, la existencia de bloques no meteorizados dentro de los ocreos y presencia de cuerpos de composición no ultramáfica que disminuyen el contenido de níquel y provocan que no se confirmen las reservas, por lo que se hace necesario invertir cuantiosos recursos en la realización de trabajos geológicos complementarios (Hernández y Escartín, Escartín-Sauleda, 2018: 417).

Las irregularidades químicas, geológicas y mineralógicas en las rocas de la corteza laterítica ferroniquelífera provocan variaciones en sus características físicas, las que pueden ser detectadas mediante la aplicación de métodos geofísicos, en particular los métodos eléctricos tal como ha sido reportado (Acosta, 2007), (Barongo y Palacky, 1991), (Gentoiu, 2007), (Hafiz, 2015), (Hernández, 2007; 2009), (Peric, 1981), (Sosa, 2007), con el Sondeo Eléctrico Vertical de Polarización Inducida, SEV-PI (Fon, Che y Suh, 2012), (Vieira et al., 2016). Ante esta situación, los autores de este trabajo se plantearon el objetivo de estudiar las cortezas de meteorización sobre las ofiolitas con SEV-PI y contribuir a la determinación con mayor precisión de parámetros geométricos, tales como los espesores de la corteza y algunas de sus propiedades, los que favorecen los cálculos de recursos, al proceder de una fuente independiente de las redes de perforación, e incluir datos observados en puntos entre los pozos (Hernández y Escartín, Escartín-Sauleda, 2018: 417).

Como resultados de los primeros trabajos de SEVPI en la región oriental de Cuba, 1997-2000, para cartografiar el contacto entre corteza de meteorización y el basamento ofiolítico, se comprobó el poder resolutorio del SEVPI para cumplir dicha tarea geológica, debido a que los valores de la resistividad, polarizabilidad y cargabilidad aparente aumentan en las rocas ofiolíticas, en comparación con los valores asociados geológicamente a los ocreos o limonitas, se estableció como hipótesis de trabajo que si las secuencias ofiolíticas del basamento rocoso de la meseta de Cajálbana tiene similar composición mineralógica y en general geológica que en el oriente cubano, entonces es posible cartografiar el contacto entre corteza y basamento, y determinar los espesores de corteza en cada punto de SEV-PI. Los resultados prácticos reportados en este trabajo confirman la veracidad de esta hipótesis.

1. Breve descripción litológica de las cortezas de meteorización ferroniquelíferas de Cuba.

En las áreas de estudio se encuentran rocas ultrabásicas, las cuales forman parte de un cinturón ofiolítico, que bordea la isla de Cuba a lo largo de su costa norte por aproximadamente 900 km (Cuador Gil, 2002), el cual es uno de los más largos en todo el mundo y tiene asociados grandes yacimientos de corteza de meteorización de menas lateríticas ferruginosas, niquelíferas y cobaltíferas. La distribución de rocas ultrabásicas no es homogénea en todo el cinturón, sus relaciones con las rocas de cobertura platformica a veces son muy complejas.

El perfil litológico de las cortezas lateríticas ferroniquelíferas está formado por zonas (capas u horizontes) resultantes de los procesos de meteorización. Existen diversas clasificaciones de esos horizontes, pero para Cuba la más utilizada es la siguiente (Lavaut, 2005: s/p), Figura 1:

1. Zona de ocre inestructurales con concreciones ferruginosas u ocre inestructurales con perdigones (OICP).
2. Zona de ocre inestructurales sin concreciones ferruginosas u ocre inestructurales sin perdigones (OISP).
3. Zona de ocre estructurales finales (OEF).
4. Zona de ocre estructurales iniciales (OEI), (llamada también saprolita fina o saprolita blanda).
5. Zona de rocas madres lixiviadas (RML), (llamada también saprolita gruesa, saprolita dura o basamento).
6. Zona de rocas madres agrietadas o roca madre alterada (RMA), (llamada también basamento).

COLUMNA		CLASIFICACION DEL PERFIL LITOLOGICO		
		PERFIL DE INTEMPERISMO	ZONAS LITOLOGICAS	
1	* *	OICP	L A T E R I T A	
	-v-	OI		
3	v v	OEF		
	v v			
4	v @ v	OEI		S A P R O L I T A
	@	RML		
6	v/v v/v	RMA		
A) PERFILES LATERITICOS :				
		INESTRUCTURAL COMPLETO	1 y 2	
		INESTRUCTURAL INCOMPLETO	1 ó 2	
		ESTRUCTURAL COMPLETO	1, 2 y 3	
		ESTRUCTURAL INCOMPLETO	1 ó 2 y 3	
B) PERFILES LATERITICO-SAPROLITICOS				
		ESTRUCTURAL COMPLETO	1, 2, 3, 4 y 5	
		ESTRUCTURAL INCOMPLETO	1 y/o 2 y/o 3 y 4 y/o 5	
C) PERFILES SAPROLITICOS:				
		ESTRUCTURAL COMPLETO	4 y 5	
		ESTRUCTURAL INCOMPLETO	4 ó 5	

Figura 1. Clasificación del perfil litológico de las cortezas lateríticas ferroniquelíferas

2. Metodología de los trabajos de campo. Elaboración y procesamiento de los datos.

Los trabajos geofísicos de campo, en la meseta de Cajalbana, occidente de Cuba, se realizaron bajo la dirección del Ing. Geofísico Jorge Enrique Acosta Breal e integraron además la comisión los técnicos: Jorge Allen Casanova, Jorge Luis Rodríguez Córdova y Ulises Local Guzmán, en el año 2004.

El equipo Saris es muy productivo por ser portátil, usar baterías y tener poco peso. El equipo utilizado fue el geo-resistivímetro SARIS, digital, muy productivo, portátil, usa baterías y tiene poco peso, de fabricación USA, equipo que calcula directamente la cargabilidad aparente (Ca) y resistividad aparente (ρ_a), en mV/V y en Ω -m, además grafica las curvas automáticamente, respectivamente con el Sondeo Eléctrico Vertical de Polarización Inducida, SEV-PI (Fon, Che y Suh, 2012), (Vieira et al., 2016), , pero resultó poco resolutivo en áreas con coraza de hierro,

capas con abundantes ocres con perdigones, elevado contenido de sílice y altos valores de resistividad aparente, pues, al usar la batería no se logra energizar lo suficientemente el terreno para permitir una fuerte polarización de los minerales y obtener valores de cargabilidad confiables. En tales casos no se utilizó la curva de la cargabilidad aparente (Ca), pues se obtienen valores negativos erróneos, y entonces solo se utilizó la curva y valores de resistividad aparente (ρ_a).

Para las mediciones se utilizó un dispositivo de medición de 4 electrodos tipo Schlumberger de capa ancha, (Danko y Azze, 1972), figuras II-1 y II-2.

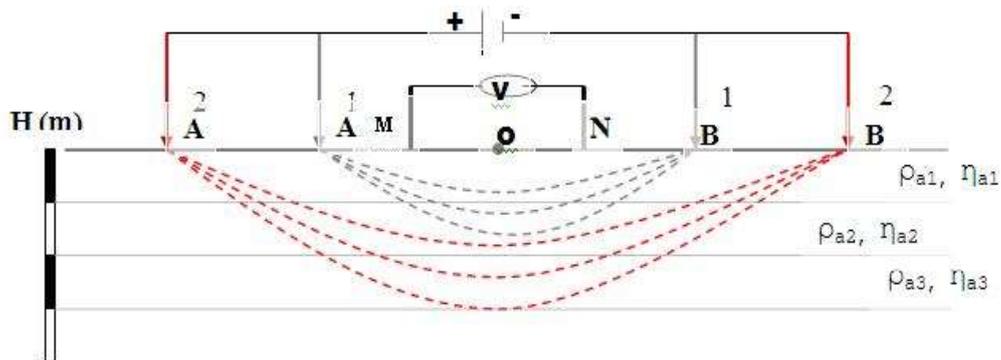


Figura II-1. Esquema de la mecánica de medición de un SEV-PI.

Los electrodos de medición MN utilizados, fueron del tipo no polarizables, rellenos con una solución sobresaturada de sulfato de cobre. Los electrodos de corriente usados son de hierro y la cantidad de electrodos de alimentación AB estuvo en dependencia de la cantidad de corriente necesaria para energizar el terreno. Generalmente la orientación de la línea AB de alimentación o energización del terreno fue N-S, perpendicular a la orientación, E-O, de las alineaciones de las rocas ofiolíticas, la misma que la de los perfiles de medición y de la red topográfica-geodésica de pozos perforados. El paso de medición de los SEV-PI en el perfil fue

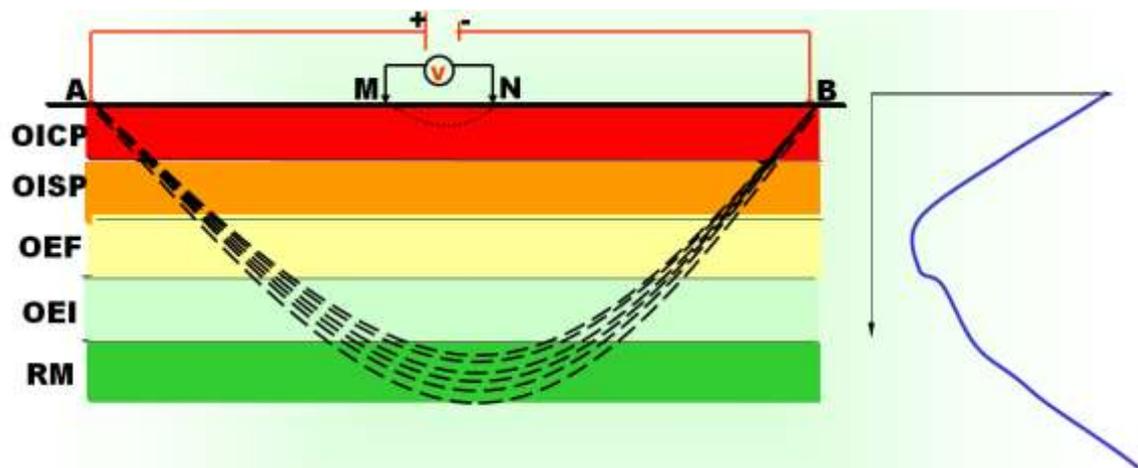


Figura II-2. Dispositivo de medición de 4 electrodos (izquierda), con la forma de la curva típica en una CMFNC (derecha).

de 20 m.

El procesamiento de los datos de SEV-PI en el gabinete, consistió en vaciar los datos del SARIS a la PC, revisar y conformar la Base de Datos (BD), graficar la curva de la cargabilidad y resistividad aparente, clasificar el tipo de curva, determinar los puntos característicos, determinar el espesor de corteza, construir los cortes de resistividad y de cargabilidad

aparente, cortes geólogo-geofísico y construcción de mapas de potencia de corteza ofiolítica (Hdez. Ramsay, A. D. J. y Escartín-Sauleda, E. R., 2017).

Gravimetría

La adquisición de los datos de campo Anomalía de Bouguer (ΔG_b), comprendió la localización y revisión de las matrices, el estudio estadístico y la transformación de los datos, de la matriz 500 x 500 por los autores, del levantamiento gravimétrico terrestre a escala 1:50000 de Pinar del Río Norte, se extrajeron los datos del área de la meseta de Cajálbana, con los cuales se confeccionaron los mapas utilizando los software profesional Suffer y Oasis Montaj, se le hizo la corrección de relieve, la corrección de capa intermedia, la corrección de aire libre y con eso se sacó realmente la ΔG_b .

Con la gravimetría podemos estimar y representar las diferencias de densidades de las estructuras geológicas que hay en la tierra en nuestro caso específico en la meseta de Cajálbana.

3. Resultados

Con los datos adquiridos en el período de campo, se confeccionaron tablas, curvas de variación de las dos propiedades físicas: ρ_a y C_a con la profundidad en cada punto físico estudiado, mapas de tipos de curvas; cortes de curvas de resistividad aparente ρ_a (iso-ohmas) y cortes de curvas de nivel de cargabilidad aparente C_a (Danko y Azze, 1972: 54).

Atendiendo a las formas de la variación de la ρ_a y C_a con la profundidad, es posible identificar patrones geométricos específicos o formas específicas de dichas curvas. Esos patrones se identifican con los nombres de curvas tipo "H"; tipo "A"; tipo "Q", y tipo "K", (Hernández,, Escartín-Sauleda, 2017: 420), figuras III-1.

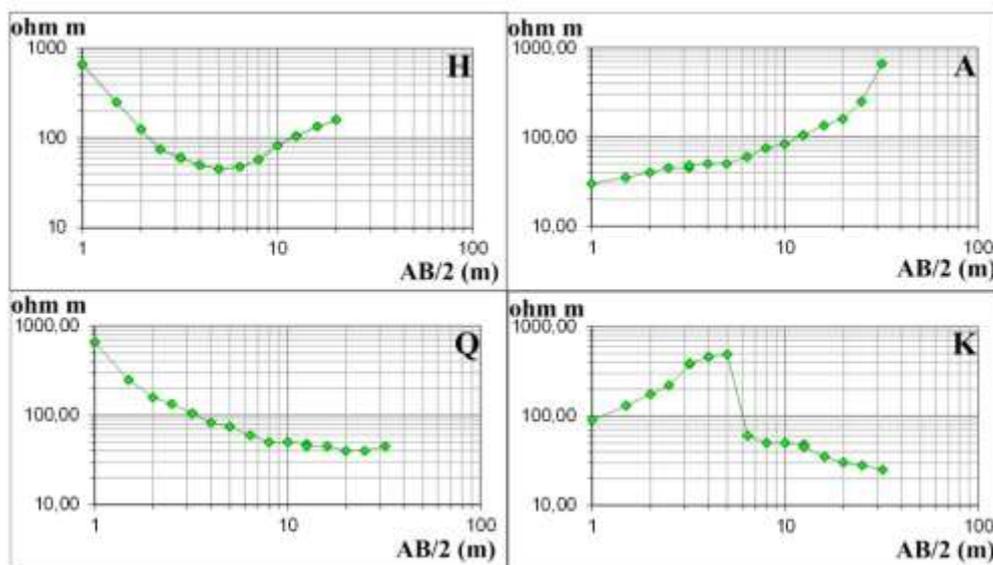


Figura III-1. Diferentes tipos de curvas de SEVPI.

Con la aplicación de los SEV-PI en la corteza de meteorización de la meseta de Cajálbana, fue obtenida la curva de tipo "Q" con los parámetros de cargabilidad y resistividad aparente, pero solo trabajaremos y mostraremos la curva de la resistividad aparente por lo explicado en el capítulo 2.

Una observación a simple vista de las curvas obtenidas en el campo, puede llevar a la conclusión de que son curvas de tipo H, pero en realidad, las áreas donde se ejecutó el método

de SEVPI en la corteza de meteorización de la meseta de Cajálbana presentan características de la curva de tipo Q, figura III-2.

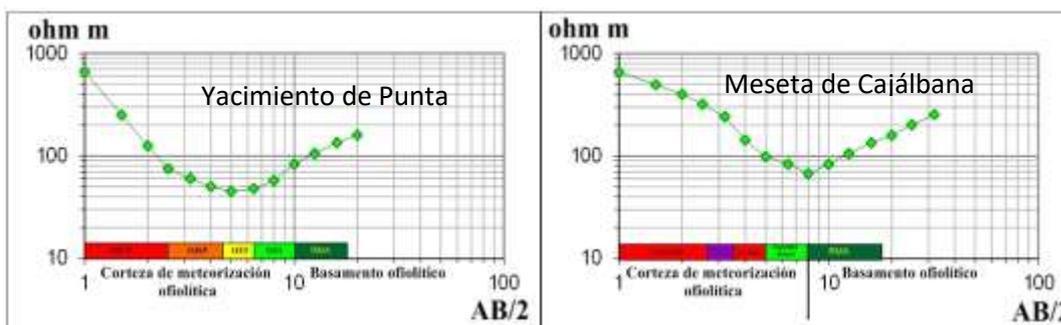


Figura III-2. Curva de tipo H, a la derecha, yacimiento Punta Gorda en Moa, oriente de Cuba y curva de tipo Q a la izquierda, meseta de Cajálbana, occidente de Cuba

La figura III-2, curva de la derecha, muestra una comparación entre una genuina curva de tipo H, obtenida en el yacimiento de Punta Gorda, parte sur, en Moa, oriente de Cuba, donde se cartografían todos los contactos de las litologías de la corteza de meteorización ofiolítica. Puede observarse como los valores de resistividad aparente, de izquierda a derecha, son altos en los ocres inestructurales, OI (OICP, representados con el color rojo y OISP, representados con el color anaranjado) por la presencia de sílice, coraza, cuarzo y perdigones diseminados. En los ocres estructurales finales, OEF (centro de la curva y parte media del corte de la corteza de meteorización ofiolítica), representados con el color amarillo, los valores de la resistividad aparente son bajos; debido a la homogeneidad, forma y tamaño de los granos de minerales, arcillosos, A continuación los valores de resistividad aparente aumentan, producto a la heterogeneidad del tamaño, forma y variedad de los granos de minerales, coincidiendo geológicamente con la saprolita, ocres estructurales iniciales, OEI, representados con el color verde claro, parte final de la corteza de meteorización ofiolítica. Seguidamente los valores de resistividad aparente son mucho más altos, reflejando el estado de compactación de las rocas del basamento, mientras más compacta sea las rocas del basamento, mayor serán los valores resistividad y cargabilidad aparente y la pendiente de la curva. Note que la curva de tipo H de la corteza de meteorización ofiolítica, presenta valores altos, en la parte superior del corte; valores bajos, en la zona central; y nuevamente valores altos en el área final de la corteza de meteorización ofiolítica, por esta evidencia, es que afirmamos que la curva de tipo H cartografía el perfil laterítico-saprolítico completo, figura 1.

Como se evidencia en el SEVPI No. 33, 0.100E-80.00N, Perfil F-1, X=245500; Y=334730; Z=81.56. La parte izquierda de la figura III-2, exhibe una curva donde los valores de resistividad aparente son altos en la parte superior de la corteza de meteorización ofiolítica, asociados a los OI, representados con el color rojo, después se observa un incremento del valor de la resistividad aparente, en vez de disminuir; como ocurre en las curvas de tipo H, figura III-3; debido a la presencia de materiales del basamento que no han sido meteorizados, y que están como bloques flotantes dentro de los ocres; la composición geológica de estos bloques puede ser máfica, ultramáfica, como carbonatada, etc. representados con el color púrpura, en la figura. Debemos de recordar que en la corteza de meteorización ofiolítica en Cuba, la abertura de AB/2 de la línea de alimentación del dispositivo de 4 electrodos tipo Schlumberger, es proporcionar con la profundidad de estudio, figuras II-1 y II-2. Después, los valores de resistividad aparente siguen bajando; coincidiendo con material ocroso limonítico o saprolítico, es bueno aclarar que con los valores de resistividad y cargabilidad aparente no se puede definir la composición geológica del material ocroso que está por debajo de la roca no meteorizada. La disminución de los valores de resistividad aparente continua hasta alcanzar un valor mínimo, el cual coincide con el contacto entre corteza y basamento, por tanto, la otra rama de la curva (rama de valores más altos) que podría definir la existencia de una curva de tipo H, se asocia geológicamente con la roca del basamento y no de la corteza. De esta forma coincidiendo con la corteza de meteorización ofiolítica observamos valores de resistividad aparente que describen una curva de tipo Q.



Figura III-3. Desviación de la curva de tipo Q con respecto a la curva de tipo H en el SEVPI.

La figura III-4 se muestra un corte de iso-ohmas, donde puede observarse las áreas de valores mínimos de resistividad aparente, representadas con el color azul, note como en cada SEV-PI los valores mínimos no están a la misma profundidad, revelando que el contacto entre corteza y basamento es muy variable. El color magenta, localizado en la parte superior del corte coincide con los ocreos inestructurales.

Una visión más clara y geológica, se observa en la figura III-5, Corte de interpretación geológico-geofísica del depósito Cajálbana, donde se aprecia la morfología irregular del contacto entre laterita-saprolita y basamento rocoso.

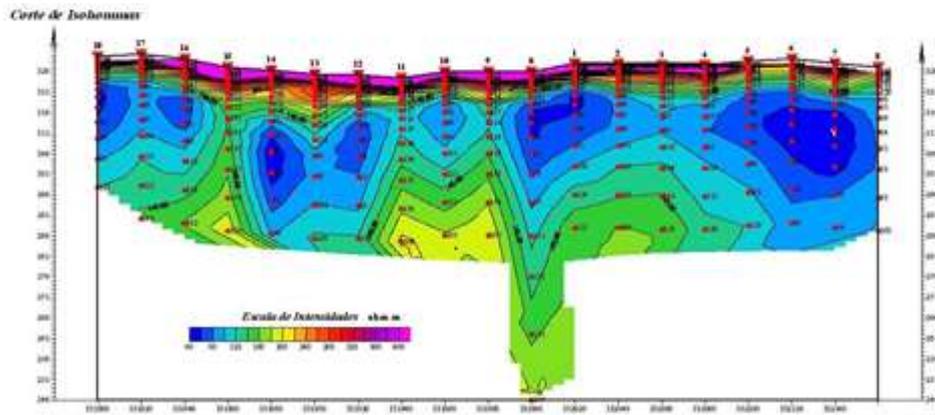


Figura III-5. Corte de iso-ohmas del depósito Cajálbana. Perfil 3.

Corte de interpretación geólogo-geofísica (Perfil 3)

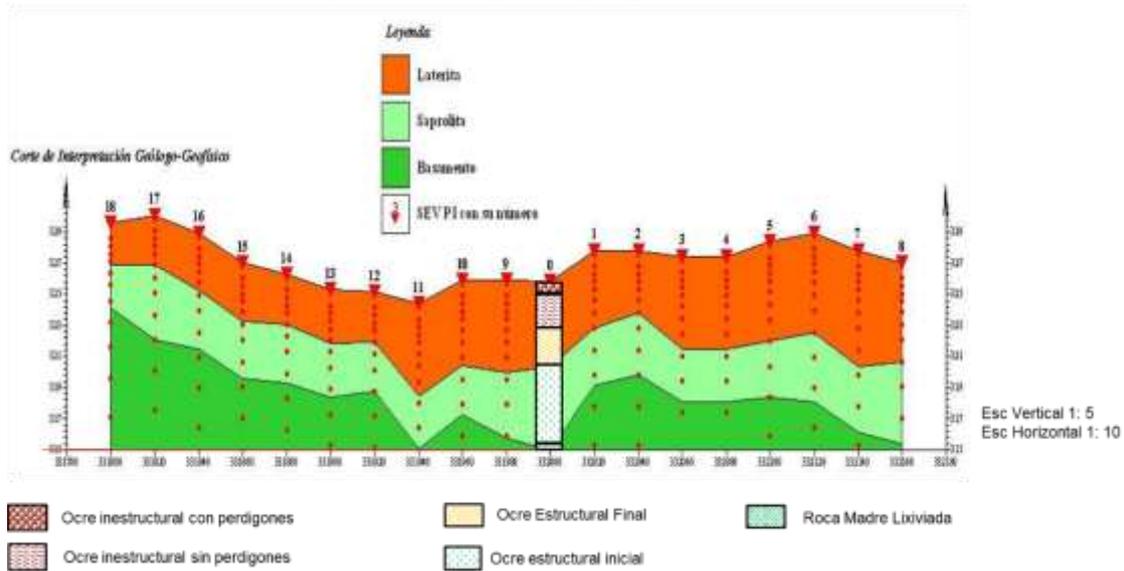


Figura III-5. Corte de interpretación geólogo-geofísica del depósito Cajálbana

En resumen, la corteza de meteorización ofiolítica de la meseta de Cajálbana presenta curva de tipo Q y los incrementos de los valores de resistividad aparente revelan la existencia de roca

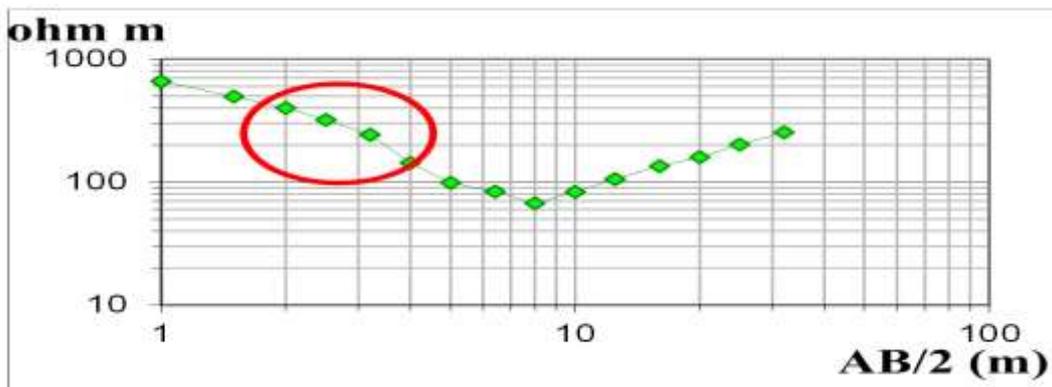


Figura III-6. Incrementos de los valores de resistividad aparente asociados a roca no meteorizada

no meteorizado dentro del material ocretizado, figura III-6.

Aportes de la gravimetría a la cartografía geológica

Teniendo en cuenta que en Pinar del Río, en la década de los 80, culminó el levantamiento gravimétrico 1:50000, se localizó la matriz de 500 x 500 para la confección del mapa de isolinéas del ΔG_b en mg (figura III-7). El mapa está revelando la existencia de una estructura geológica muy densa cerca de la superficie terrestre, como si se tratara de un cuerpo intrusivo casi vertical con un ligero buzamiento hacia el noreste de la meseta de Cajálbana, donde el punto más cercano a la superficie terrestre se localiza espacialmente en el centro de la meseta, posiblemente esta estructura geológica es la causante de la elevación de este sector que originó la meseta de Cajálbana. Según el mapa, el contacto SW y el sur de esta estructura con la roca encajante es tectónico. Coincide con las zonas de valores negativos donde no se encontró mineral.

Es por eso que en el centro del depósito, se detectó una anomalía grande, que nos está indicando la cercanía a la superficie de la tierra de un cuerpo denso. Quiere decir que puede ser un cuerpo de rocas intrusivas que están acercándose a la superficie.

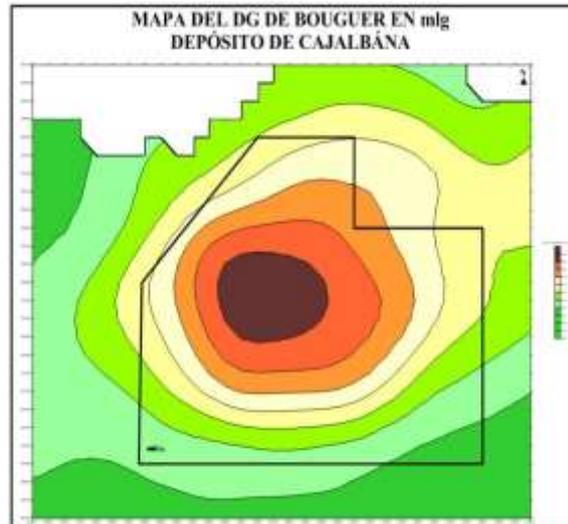


Figura III-7. Mapas de Anomalía de Bouguer de la meseta Cajalbana.

Conclusiones

1. Con la geofísica se logró la determinación de los espesores de la capa laterítica, cartografiar los espesores de la capa saprolítica y conocer las características de la frontera entre esta capa y la laterítica. Determinar la profundidad del basamento y los espesores de la capa friable.
2. Los métodos geofísicos contribuyen a determinar características geológicas a partir de la complejidad de los depósitos de corteza de meteorización, la variabilidad de sus potencias, el aspecto sinuoso del sustrato rocoso, la presencia de bloques flotantes no meteorizados dentro de la corteza, la presencia de corteza a partir de rocas no ultramáficas, alternativa efectiva para su cartografía.

Bibliografía

Acosta, J.E. (2007). Prospección con georradar en los yacimientos lateríticos de yagrumaje sur. En: coord., II Convención de Ciencias de La Tierra, La Habana.

Astajov K., Solianik V., Vasilev E. (1980). Informe sobre los trabajos de levantamiento geológico a escala 1:50 000 en la parte noroeste de la provincia de Pinar del Río". Fondos del IGP. Archivo ONRM Inv. No. 869. La Habana.

Barongo, J.O. y Palacky, G.J. (1991). Investigations of electrical properties of weathered layers in the Yala area, western Kenya, using resistivity soundings. *Geophysics.*, 56 (1), 133 - 138.

Barrios E., Marrero J., Portuondo A. (1980). Informe levantamiento geológico a escala 1:50 000 y búsqueda acompañante Pinar Sur. Fondos del IGP. Archivo ONRM Inv. No. 33. La Habana.

Burov V., Martínez D., Fernández R. Informe de los trabajos de levantamiento geológico escala 1 : 50 000 realizados en la parte occidental de la provincia de Pinar del Río". Fondos del IGP. Archivo ONRM Inv. No. 09. La Habana.

Cuador, J.Q. (2002). Estudios de estimación y simulación geoestadística para la caracterización de parámetros geológico - industriales en el yacimiento laterítico punta gorda. Tesis en opción al grado de PhD. Universidad de Pinar del Río.

Danko, J. y Azze, A. (1972). Geoelectricidad. Editorial Universidad de La Habana.

Fon, A.N., Che, V.B. y Suh, C.E. (2012). Exploration of electrical resistivity and chargeability data on a GIS platform in delineating auriferous structures in a deeply weathered lateritic terrain, eastern Cameroon. *International Journal of Geosciences*. 3 (October), 960 - 971.

Gentoiu, M. (2007). Métodos de estimación geoestadística para el cálculo del espesor de friable en yacimientos lateríticos. En: coord., II Convención de Ciencias de La Tierra, La Habana.

Hafiz, B., Sule, P.O. y Ahmed, A.L. (2015). Electrical resistivity investigation at the nysc proposed camp, paiko. Lambert Academic Publishing (LAP).

Hernández, A.J., Escartín-Sauleda, ER. (2018). Caracterización geoeléctrica de cortezas lateríticas a partir de sondeos eléctricos verticales de polarización inducida (SEV-PI). Vol. 33 No.4 (octubre-diciembre), 415-428

Hernández, A.J. (2007). Determinación de material saprolítico dentro de la corteza con el uso del SEV-PI en el Yacimiento Yagrumaje Norte. En: coord., II Convención de Ciencias de La Tierra, La Habana.

Hernández, A.J., Guerra, M., Sosa, I., Acosta, JE., Dussac, O, Gentoiu, MM., y Lavaut, WD. (2005). Algunas Características Geoeléctricas de la Corteza de Intemperismo y su Basamento en Nicaro. La Habana.

Lavaut, W.D. (2005) Clasificador para modelación litológica de lateritas [en línea],. Disponible en: http://www.ismm.edu.cu/R_Geociencias%20y%20Quimica/volumen1.htm [Consulta en: 25/Feb/2017].

Martínez D., Fernández R. (1980). Informe sobre los resultados del levantamiento geológico búsqueda, escala 1:50 000 en la parte central de la provincia de Pinar del Río. Fondos del IGP. Archivo ONRM Inv. No. 26. La Habana.

Maximov, A., I. Mediakov, S. Riabenko, B. Krasnov, A. Kateav, L.F. Hevia, V. Bello, R. Gomez, G. Park, (1978). Informe sobre los resultados de los trabajos complejos geólogos geofísicos a escala 1: 50 000 en la zona Bahía Honda. ONRM Inv. No. 2867. La Habana.

Milovski, A.V. y Kónonov, O.V. (1988). Mineralogía. Moscú: Editorial Mir.

Peric, M. (1981). Exploration of Burundi Nickeliferous Laterites by Electrical Methods. *Geophysical prospecting*. 29(2 April), 274 - 287.

Rodríguez, R. (2007). Características Petrólogo - Geoquímicas del Yacimiento Camarioca Norte, Macizo Moa-Baracoa. La Habana.

Sosa, I. (2007). Efectividad de los métodos geofísicos en la evaluación del yacimiento yagrumaje oeste. En: coord., II Convención de Ciencias de La Tierra, La Habana.

Telford, W.M., Geldart, L.P. y Sheriff, R.E. (1990). *Induced Polarization*. United Kingdom: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Vieira, L.B., Moreira, C.A., Cortes, A.R.P.y Luvizotto, G.L.. (2016). Geophysical modeling of the manganese deposit for Induced Polarization method in Itapira (Brazil). *Geofísica Internacional*, 55(2), 107 - 117.

