

PROSPECCION CON GEORADAR EN LOS YACIMIENTOS LATERITICOS DE YAGRUMAJE SUR

Jorge Acosta Breal⁽¹⁾ , Maria Gentoiu⁽²⁾

⁽¹⁾y ⁽²⁾ Empresa Geominera Oriente, Loma de San Juan, km 2 ½, Santiago de Cuba, Cuba,
E-mail: ⁽¹⁾: jacosta@geominera.co.cu y ⁽²⁾: mgentoiu@geominera.co.cu

Resumen

El creciente interés en el estudio de los minerales existentes en las cortezas tropicales de intemperismo induce a la búsqueda de tecnologías y metodologías que permitan un calculo confiable y económico de esos recursos minerales.

El tradicional uso de redes de pozos para el calculo de los recursos minerales en cortezas lateriticas resulta por lo general insuficiente y poco preciso, al no poder evaluar adecuadamente la variabilidad de los espesores de la capa mineral, para lo cual serían necesarias redes extremadamente densas de perforaciones (del orden de 4 x 4m, según muchos autores) que resultan económicamente imposibles.

En la actualidad, los métodos geofísicos, especialmente el del Georadar, , resuelven ese problema con un amplio potencial demostrado en la definición del modelo geológico de los depósitos y en la planificación minera. El Georadar permite obtener imágenes del subsuelo con alta resolución lateral y vertical y definir con seguridad los contactos entre las limonitas y las serpentinas blandas y entre estas y las rocas del basamento. También detecta relictos de rocas dentro de las lateritas y zonas de agrietamientos en el basamento.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en varios yacimientos de la región de Moa, ubicada en la parte Norte Oriental de Cuba, sectores: Yamanigüey, Yagrumaje Norte y Punta Gorda. En los Radargramas obtenidos se separan con una alta resolución las interfases entre las limonitas y saprolitas y entre estas y las rocas consolidadas.

Abstract

The growing interest in the study of the ores in the lateritic weathering profiles induces to the search of technologies and methodologies that allow a reliable and economical estimation of these mineral resources.

The traditional use of a boreholes grid for the calculation of the lateritic ore mineral resources is in general insufficient and not very precise, not being able to evaluate properly the variability of the thickness of the mineral layer because it would be necessary an extremely dense grid of drilling (4x4 m, according to many authors), which is economically too expensive.

In the present, the geophysical methods, especially GPR, solve the problem with a wide potential demonstrated in the definition of the geologic pattern of those deposits and in the mining planning. The GPR allows to obtain images of the underground with high lateral and vertical resolution and to define the boundary between the limonites and the soft serpentines and between these and the parent rocks of the basement. It also detects blocks and pebbles of unweathered rocks inside the laterite and areas of cracking in the basement.

In this work are presented the results of the investigations of several laterite deposits of the Moa region, located in the North-Eastern part of Cuba, within the sectors called Yamanigüey, Yagrumaje Norte and Punta Gorda. In the obtained Radargrams are separated with a high resolution the boundary between the limonites and saprolite and between these and the consolidated rocks.

1. INTRODUCCION

En la región Norte-Oriental de Cuba se localizan importantes yacimientos lateriticos que sirven de sustento a una importante producción de níquel más cobalto y a una industria en la que se invierten cuantiosos recursos para su desarrollo.



La preparación de las reservas geológicas que garanticen el desarrollo de la industria niquelífera nacional, se convierte en un objetivo priorizado de los geólogos y geofísicos cubanos.

En este trabajo se demuestra que la utilización de la técnica geofísica conocida como Georadar o GPR (Ground Penetrating Radar) aporta la información geológica necesaria para realizar un eficiente cálculo de recursos y proceder a una adecuada planificación minera, con más eficiencia y menos costos que mediante las metodologías tradicionales.

La técnica GPR permite obtener imágenes de alta resolución de la corteza de intemperismo, delimitando:

- la frontera entre la zona de ocres estructurales finales y los ocres estructurales iniciales (saprolita fina).
- la frontera entre los ocres estructurales iniciales y la roca madre lixiviada (saprolita gruesa).
- la frontera entre la roca madre lixiviada y el basamento rocoso.
- la presencia de núcleos de rocas dentro de los ocres.

Entre las variables geológicas que intervienen en el cálculo de recursos de estos depósitos se destaca, por su extrema variabilidad, la potencia de las capas productivas, sobre todo en el límite con las saprolitas y el basamento. Para obtener su modelación adecuada mediante perforaciones, serían necesarias redes de 4 x 4 m, según los resultados de destacados especialistas cubanos, lo que elevaría considerablemente los costos de la investigación. El Georadar, permite definir esas interfaces mediante imágenes muy resolutivas obtenidas metro a metro en la línea del perfil o a la distancia deseada por el cliente.

2. MATERIALES Y METODOS

Breve descripción del ambiente geológico

Los yacimientos lateríticos de la región de Moa, parte nort-oriental de Cuba, comenzaron a ser estudiados en la década del 50 del siglo pasado por compañías norteamericanas, pero, solo a finales de ese decenio se comienza su explotación con la instalación de una moderna industria de proceso ácido.

La parte oriental de Cuba incluye seis macizos de rocas máficas y ultramáficas ofiolíticas con un área total de 3400 Km², de los cuales 835 Km² (el 25%) están cubiertos eluvialmente por una corteza de intemperismo laterítica de 10 m de potencia promedio, desarrollada en terrenos amesetados y de suave pendiente (principalmente 5-15 °), con cotas +50 hasta +900 m, prolongadamente (Maestrichtiano-Paleoceno hasta el Reciente). La mayor parte del área de los macizos está constituida por ultramafitas harzburgitas serpentinizadas en un 40-90%, de procedencia oceánica toleítica (23% de olivino y 76% de piroxeno rómbico enstatita).

La corteza de intemperismo laterítica, independientemente de la altimetría del terreno respecto al nivel del mar, presenta una misma estructura litológica zonal, con uno hasta seis litotipos, donde se distinguen dos zonas inestructurales (globulada, terrosa) y cuatro estructurales (con relictos de la estructura primaria de la roca madre, fragmentaria, polvosa), ubicadas inmediatamente por debajo de las primeras (Lavaut, 2001). Según la composición zonal, se establecen tres tipos litológicos de perfiles de intemperismo: inestructural (con uno o dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibsíticos); estructural incompleto (con dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibsíticos y un litotipo estructural limonítico gibsítico); y estructural completo (con dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibsíticos, un litotipo estructural limonítico gibsítico y un litotipo estructural serpentínico- arcilloso limonítico). Fluctuantemente, por debajo de cada perfil ocroso yacen las zonas litológicas de rocas madres lixiviadas y agrietadas, que completan el espesor total de alteración hipergénica de las rocas madres.



La presencia, difusión areal y potencia de los tipos litológicos de perfiles de intemperismo se controlan por la variación de la pendiente del terreno, el microclima, fisuración tectónica y el quimismo y mineralogía de las rocas madres ultramáficas (magnesialidad, ferrosidad-aluminosidad, cantidad y tipo de piroxeno y serpentinas), siendo más desfavorables los tipos menos serpentinizados, más antigoritizados y más piroxénicos, así como los terrenos con frecuentes pendientes entre 15 y 35°, y los ubicados en microclimas menos lluviosos (menor de 1500 mm/año).

Las Cortezas de Intemperismo Ferroniquelífera-Cobaltífera cubanas litológicamente están formadas por las zonas (capas u horizontes) que se recogen en la Tabla No.1, (Lavaut,2001)

La extrema variabilidad lateral de los perfiles lateríticos fundamentalmente en los límites entre los ocreos estructurales iniciales y la roca lixiviada o en su ausencia con la roca madre, impiden que las tradicionales redes de pozos pueden reflejar una imagen real de esos contactos y de las potencias de las capas limoníticas (Francké, 2001). En la Figura 1 se observan algunos de los escenarios posibles donde las perforaciones no son capaces de dar la imagen real del corte litológico, induciendo a significativos errores en la definición de los espesores de las capas y el posterior cálculo de recursos.

Principios del GPR

El GPR se basa en la emisión de un breve pulso de energía electromagnética a través de una antena emisora hacia el subsuelo con una frecuencia única que puede variar entre 12.5 y 2000 Mhz. Cuando el pulso alcanza una interfase donde existe un contraste en la constante dieléctrica, ocurren fenómenos análogos a los registrados en la sísmica de reflexión cuando cambia la impedancia acústica. Una parte de la onda es reflejada y regresa a la superficie donde es captada por la antena receptora, mientras que la energía remanente continúa su recorrido hasta la siguiente interfase.

La experiencia de trabajo en la zona indica que las profundidades alcanzadas por las ondas Radar en las limonitas son significativas, debido probablemente a diferentes causas, entre ellas:

- el fuerte contraste existente entre los límites de las capas, especialmente entre los OEF y OEI y el basamento.
- en los ocreos se produce una lixiviación de los minerales conductores, favoreciendo el tránsito de la señal por este medio sin que se produzca su total atenuación.

Uno de los principales objetivos en la exploración de las lateritas es definir el límite entre los ocreos y la roca madre, que por lo general, constituye la frontera de la minería. La imagen de este contacto se obtiene nítidamente por la técnica Radar, posiblemente debido a las cantidades contrastantes de agua existentes en ambas capas. En los ocreos y las saprolitas el contenido de agua es alto por la presencia de minerales arcillosos y mayor cantidad de poros, determinando que la velocidad de propagación de las ondas sea relativamente pequeña, mientras que en el basamento disminuye drásticamente la cantidad de agua y las ondas alcanzan velocidades mucho más altas, produciéndose en ese límite una fuerte reflexión.

Metodología de los trabajos

En la captación de los datos se utilizó el sistema georadar Ramac GPR™, de nacionalidad Sueca (Fig.2)

Las mediciones se realizaron por líneas, con paso de medición 1 metro, utilizando una antena no protegida de 50 Mhz.

El procesamiento incluyó varias etapas, entre las cuales la determinación de las velocidades para la conversión de profundidades y la corrección de alturas.

El cálculo de las velocidades se realizó utilizando el modo de operación CMP (common midpoint), el análisis de las hipérbolas existentes en los radar-gramas y la correlación con pozos de perforación.

3. RESULTADOS

En este trabajo se presentan algunas de las líneas medidas en una campaña de radar realizada en los meses de abril y mayo de 2004, en diferentes yacimientos de la región de Moa. Con la antena utilizada se logran profundidades de alrededor de 20m, suficientes para el estudio del corte laterítico en las líneas estudiadas. Se presentan como ejemplos las líneas 8,7 y 5 del yacimiento Moa-Oriental (ver Fig. 3,4 y 5) y PYM1 y PYM2 del yacimiento Yagrumaje Norte (ver Fig. 6,7)

Línea-8 (ver Fig 3)

En el área investigada existe una red de perforación de 33.33x 33.33 m. A pesar de esta red, la gran variabilidad lateral de los límites entre los OEI (saprolita fina) y la roca madre hace insuficiente la densidad de perforaciones para lograr la modelación necesaria de ese contacto.

En el radargrama obtenido, se aprecia con nitidez el contacto entre los OEI y las rocas saprolíticas con el basamento delimitado por una línea de color oscuro.

La línea de color claro representa el límite entre los OEI y la roca saprolítica, más desarrollada en la parte oeste del perfil

La correlación con los pozos resulta por lo general bastante buena. El color oscuro de la parte inferior de la columna de los pozos representa la roca madre, el color claro las rocas saprolíticas y el color oscuro de la parte superior, los ocres estructurales e inestructurales.

Línea -7 y Línea -5

En las Figuras 4 y 5 se muestran los resultados alcanzados en las líneas 7 y 5, ubicadas a 33.33m y 100m respectivamente de la anterior. El límite con el basamento se destaca fuertemente, reflejando las irregularidades de ese contacto a todo lo largo de los perfiles.

El límite entre los OEI y las saprolitas está representado claramente con un desarrollo irregular en el perfil.

Como se puede apreciar en las imágenes presentadas, en algunas ocasiones existe diferencias entre los pozos y los resultados del Georadar. Estas diferencias son debido a las limitaciones que la perforación presenta y que fueron descritas anteriormente (ver Fig.1)

Lineas PYN1 y PYN2

Del yacimiento Yagrumaje Norte se presentan estos dos perfiles situados aproximadamente en la zona central, donde existía una red de perforación previa de 23.5x23.5 aproximadamente (ver Fig. 6 y 7).

El contacto entre los OEI y el basamento (roca madre) se delimita por una línea de color oscuro. La línea interrumpida representa el campo magnético total.

Puede observarse la gran variabilidad lateral del contacto y como la relativamente densa red de perforaciones no es suficiente para modelarlo con precisión.

Entre los pozos 095824(P-24) y 095815(P-15) del perfil PYN1, se observa que el basamento rocoso se acerca a la superficie. Este pozo P-15 está situado en una zona de agrietamiento como lo indica el radargrama y lo ratifica el perfil magnetométrico por un mínimo magnético. Entre los pozos 095815(P-15) y el 095806(P-06), existe un pináculo de rocas que se refleja en un máximo del perfil magnetométrico y es nítidamente definido por la imagen del Radar. Cerca del P-15 a una profundidad aproximada de 7 metros, aparecen en el radargrama pequeñas hipérbolas o reflexiones significativas en intensidad de las ondas electromagnéticas que asociamos a relictos de rocas. Algo similar ocurre a los 13 metros aproximadamente en la misma zona.



En el resto del perfil se aprecia en la imagen que ofrece el GPR, como es la variación real de ese contacto entre los OEI y la roca madre. Dentro de la masa ocrosa del perfil se observan puntos de reflexión mas o menos densos, que se pueden asociar a zonas de oxidación de magnesio, hierro, pequeñas corazas, zonas silicificadas, etc. Las reflexiones mas intensas que en algunas zonas llegan a formar pequeñas hipérbolas están reflejando la presencia de relictos rocosos con diámetros superiores a 1 metro.

La correlación entre la perforación y el resultado geofísico en este perfil es buena al existir diferencias poco significativas generalmente inferiores a 2 metros

En la Fig. 7, se muestra la imagen del perfil PYN2, con características similares al descrito anteriormente. Una vez mas la red de perforación resulta insuficiente para modelar con eficiencia el contacto entre los ocres y la roca.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten mapear diferentes capas del corte litológico en las lateritas, con una alta resolución.

El limite entre las rocas madres y los ocres estructurales iniciales se define fuertemente.

Se puede delimitar con nitidez el contacto entre la capa de los ocres iniciales y los finales.

La prospección con Georadar constituye una herramienta valiosa en la evaluación de los yacimientos lateríticos, permitiendo determinar la potencia de las capas limoníticas.

En el presente, solo la técnica Radar permite lograr un salto cualitativo en el cálculo de recursos en este tipo de yacimiento.

Este método geofísico constituye una poderosa herramienta para la proyección de la minería, especialmente por el sistema de bancos.

BIBLIOGRAFIA

Francké Jean C. 2001, Ground Penetrating Radar Test Surveys, Moa Bay Nickel Project, Moa, Cuba

Lavaut Copa W. 2001, Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba Oriental

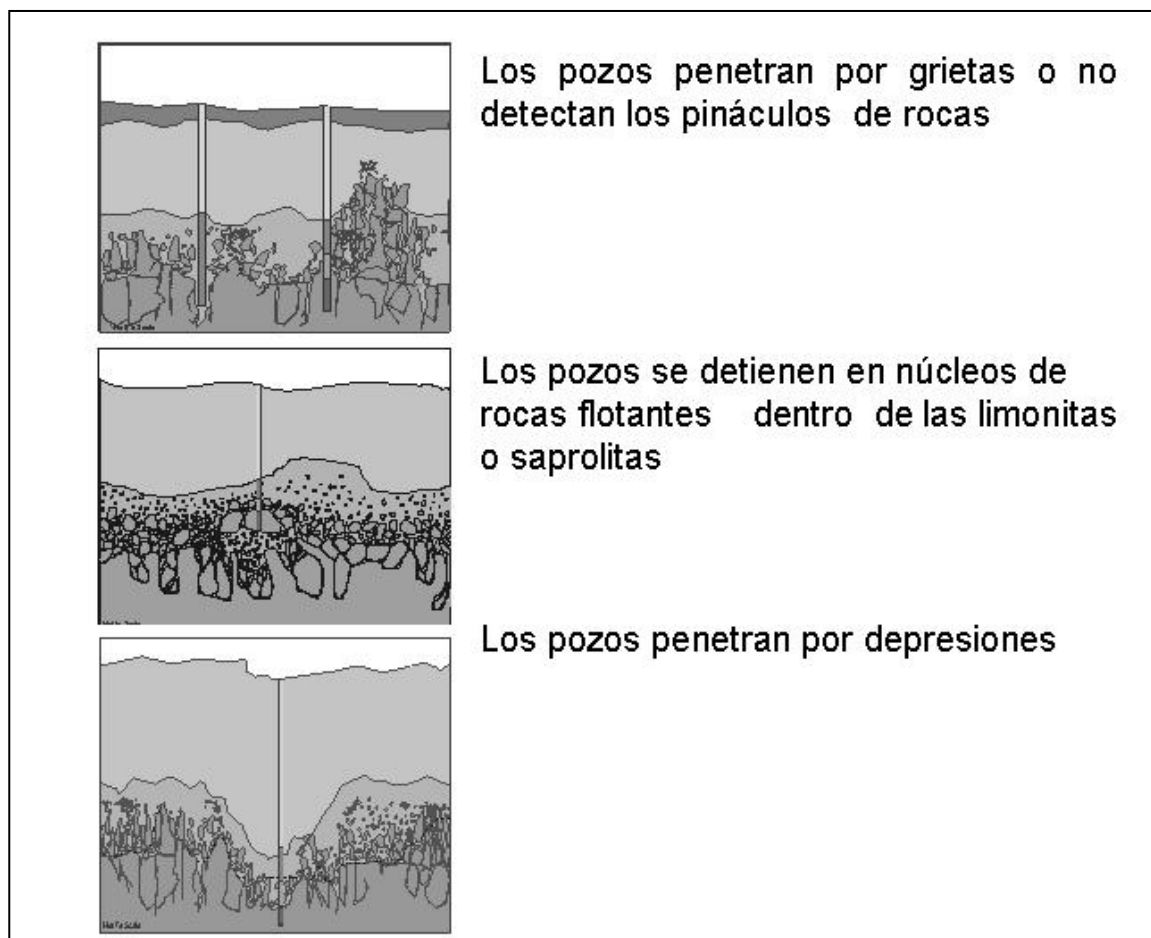


Fig1. Situaciones que inducen a errores en la estimación de las potencias de las capas limoníticas. . (J Francke, 2001)



Fig 2. Comisión de georadar en operaciones.

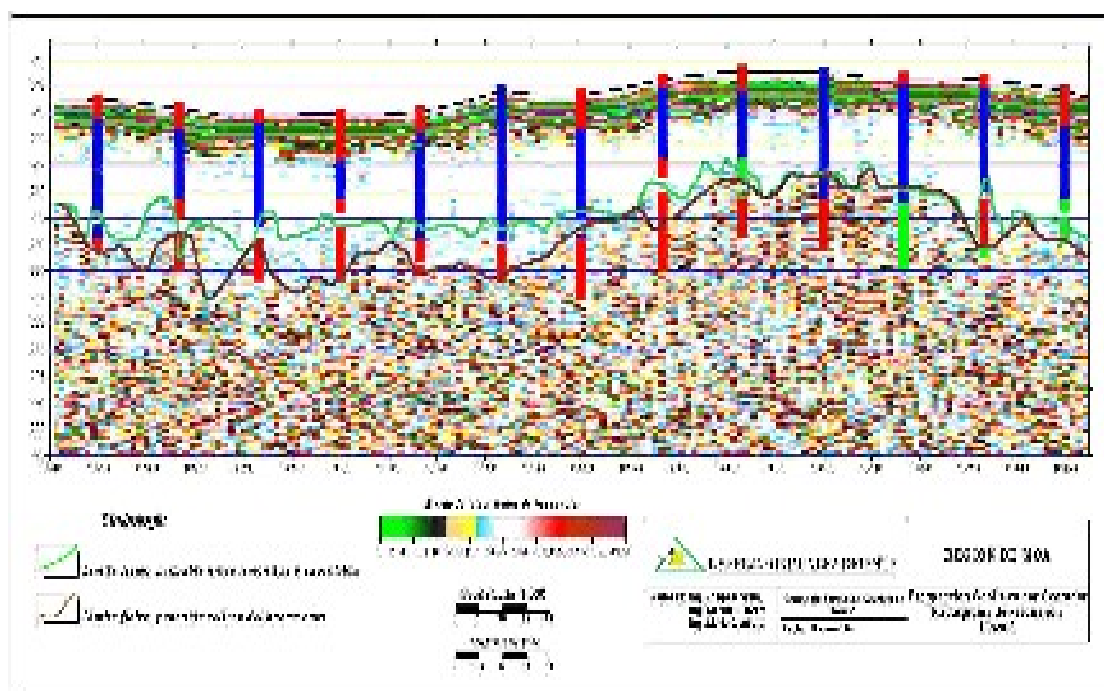


Fig.3 Radargrama por la Línea-8

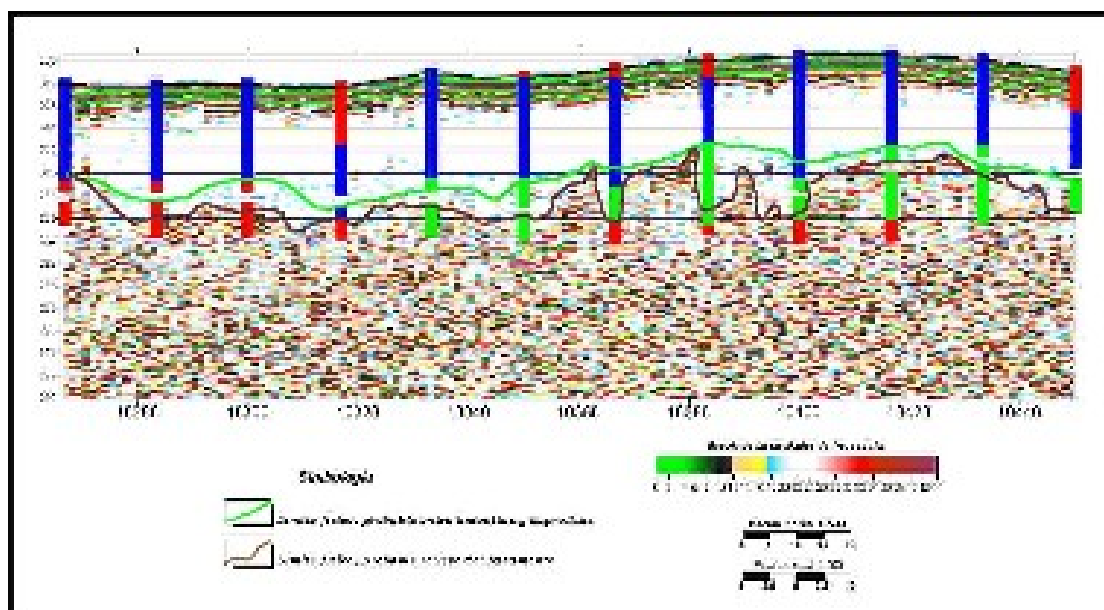


Fig.4 Radargrama por la línea-7

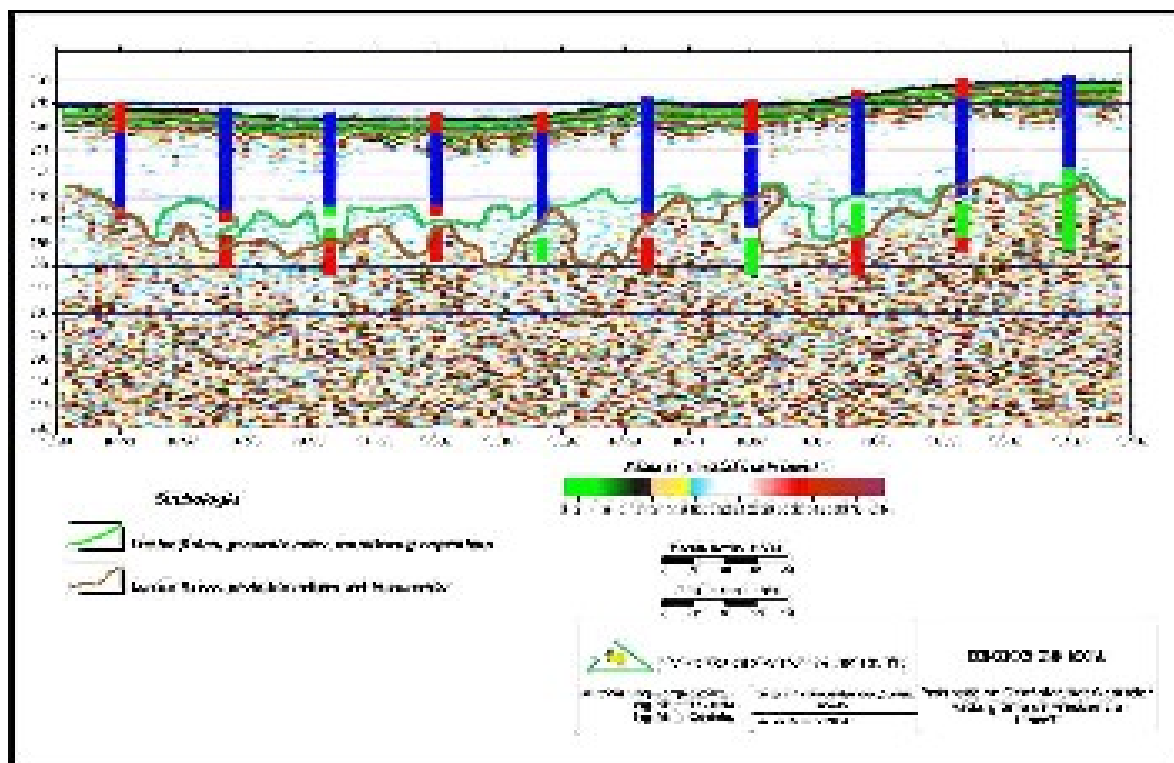


Fig.5 Radargrama por la Línea 5

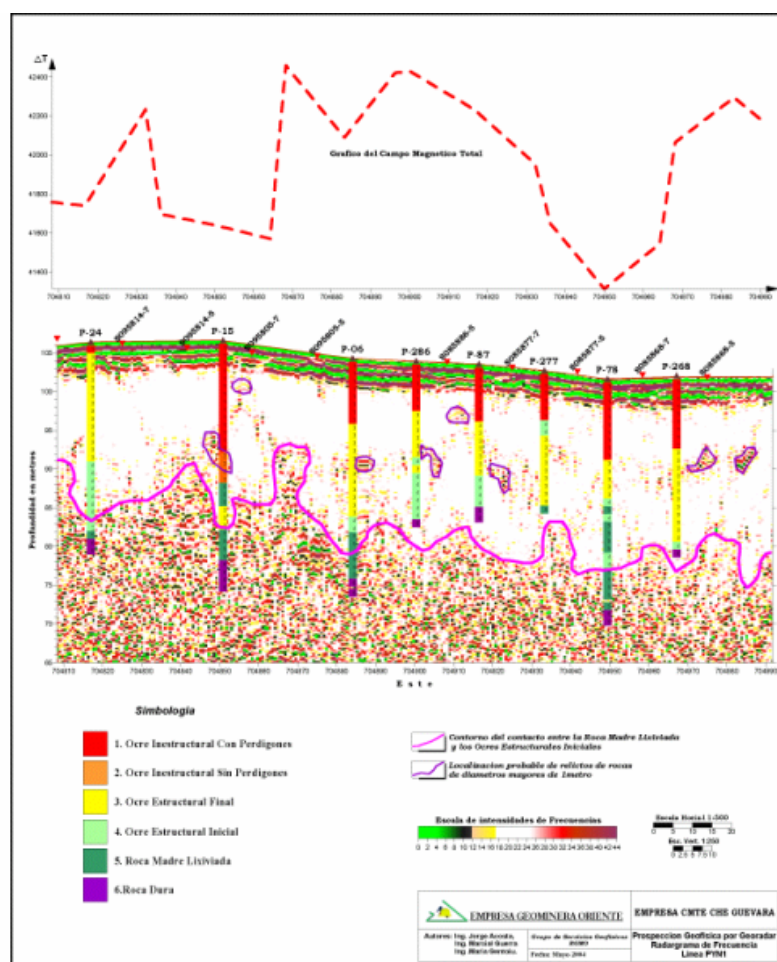


Fig.6 Radargrama por el perfil PYN1

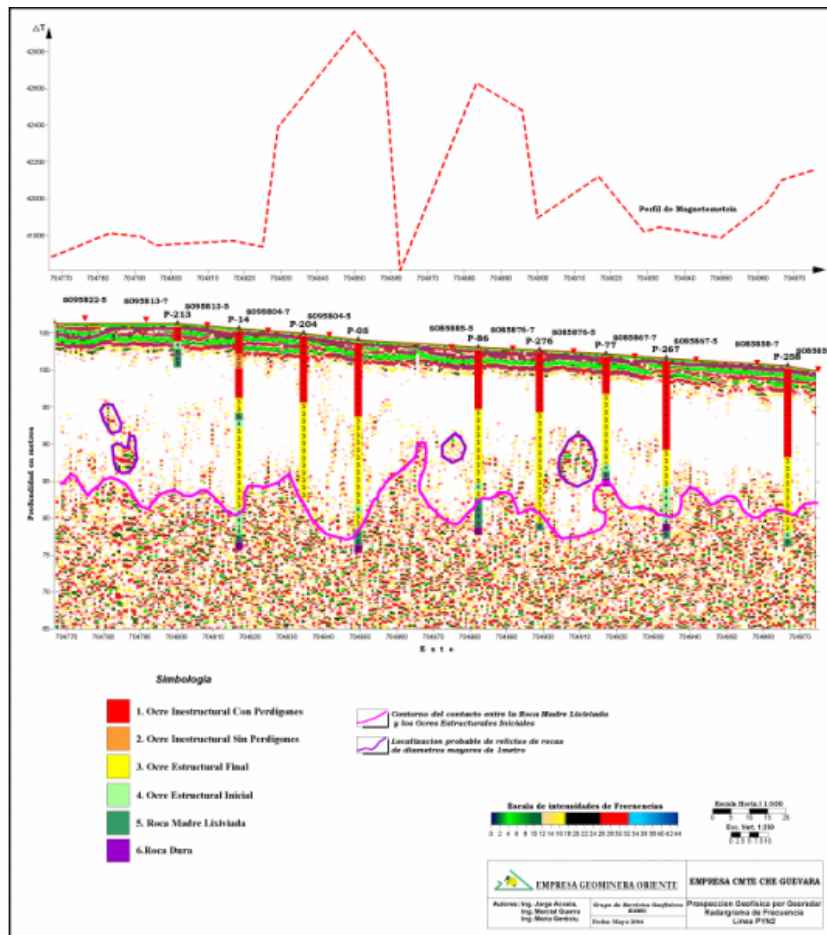


Fig 7 Radargrama por el perfil PYN2

Tabla I. Estructura litológica de las cortezas de intemperismo de ultramafitas de Cuba Oriental (W.Lavaut, 1987).



Zonas Litológicas Genéticas	Litotipos cubanos	Léxico literario	Tipos de Perfiles de Intemperismo
Zonas de deshidratación y globulación de hidróxidos de hierro	Ocre inestructural con concreciones ferruginosas (OICP)(perdigón y coraza)	Ferricreta	Inestructural laterítico goethítico-hematítico gibbsítico
Zona de ocretización completa	Ocre inestructural sin concreciones ferruginosas (OISP)	Limonita= Tierra roja	Inestructural laterítico goethítico-gibbsítico
Idem	Ocre estructural final (OEF)	Limonita= Saprolita fina	Estructural laterítico goethítico-gibbsítico
Zona de ocretización parcial	Ocre estructural inicial o semiocre (OEI)	Saprolita media	Estructural saprolítico goethítico-serpentínico
Zona de lixiviación y ocretización inicial	Roca madre lixiviada y ligeramente ocretizada (RML)	Saprolita gruesa	Estructural saprolítico serpentínico-arcilloso
Zona de agrietamiento	Roca madre agrietada con mineralización zonal hipergénica filoniana y masiva (RMA)	Roca madre	Estructural saprolítico serpentínico querolítico