

# CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE CORTEZAS LATERÍTICAS A PARTIR DE DATOS AEROGAMMA ESPECTROMÉTRICOS Y AEROMAGNÉTICOS

*Geological characterization of lateritic crust from airborne spectrometric and magnetic data*

José Alberto Batista Rodríguez

E-mail: jabatista@ismm.edu.cu

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

## RESUMEN

Las regiones de Mayarí y Moa (Cuba oriental), donde se localizan grandes yacimientos de lateritas ferromagnéticas-cobaltíferas, están cubiertas por datos aerogamma espectrométricos y aeromagnéticos. A partir del análisis de los contenidos de eU y eTh, y de las relaciones entre éstos y el K, se delimitaron las áreas de lateritas ferromagnéticas ya conocidas y otras no reportadas hasta el momento. Se encontró que las lateritas redepositadas poseen mayor contenido de eU y eTh que las *in situ*, asimismo son mayores estos contenidos en las lateritas más potentes y en las desarrolladas o redepositadas sobre rocas serpentizadas. El tiempo de formación, desarrollo, potencia de las lateritas y rocas subyacentes, así como las características geomorfológicas y la presencia de alteraciones hidrotermales, se infieren de las relaciones encontradas entre los contenidos de eU, eTh y K, y  $\Delta T$ . Las variaciones laterales en las concentraciones de eU y eTh indican variaciones en los espesores de las lateritas. Los contenidos de eTh están relacionados con el tiempo de formación, desarrollo y espesor de las cortezas lateríticas, mientras que las altas concentraciones de K denuncian la existencia de alteraciones hidrotermales. Las variaciones laterales conjuntas del campo magnético y los contenidos de cualesquiera de los elementos analizados, responden a variaciones en los espesores de las lateritas y las rocas subyacentes. En Moa las lateritas poseen mayor contenido de eU y eTh que en Mayarí, lo cual sugiere mayor tiempo de formación, desarrollo y espesor de las mismas en la primera región mencionada.

**PALABRAS CLAVE:** Lateritas, Moa, Mayarí, aerogamma espectrométrico, aeromagnético.

## ABSTRACT

The Mayarí and Moa regions (western Cuba), where are located wide deposits of Fe-Ni-Co laterites, are covered for airborne geophysical data (airborne radiometric and magnetic). Starting of the analysis eU and eTh contents, and the relationships between these ones and K, were delimited laterites areas, including some ones not reported yet. The redeposited laterites possess higher content of U and Th that those *in situ*, which are also higher in the most potent laterites and in those developed or redeposited on serpentized rocks. The time of formation, development, thickness of the laterites and underlying rocks, as well as the geomorphologic characteristic and the presence of hydrothermal alterations, they are manifested in the opposing relationships among the contents of eU, eTh and K, and  $\Delta T$ . The lateral variation in the concentrations of U and Th in the laterites indicates variations in the thickness of the same ones. The eTh contents are related with their time of formation, development and thickness. The concentrations of K evidence the existence of hydrothermal alterations. The combined lateral variations of the magnetic field and the contents of anyone of the analyzed elements respond to variations of thickness of the laterites and the underlying rocks. In Moa the laterites possesses bigger eU and eTh contents that in Mayarí, suggesting longer time of formation, development and thickness in the first mentioned region.

**KEY WORDS:** Laterites, Moa, Mayarí, airborne radiometric, airborne magnetic.

## INTRODUCCIÓN

Hacia la parte oriental de Cuba, en las regiones de Mayarí y Moa específicamente (Fig. 1), se localizan grandes reservas minerales en yacimientos de tipo laterítico. En ellos, las investigaciones geofísicas no han mostrado ser eficientes para resolver las tareas de prospección y exploración debido, por una parte, a la gran complejidad de los yacimientos y, por otra, a la incorrecta selección del complejo de métodos geofísicos y de los parámetros de medición, a la baja calidad tecnológica del equipamiento utilizado y a la valoración inadecuada de las posibilidades reales de los mismos.

Las rocas madre que originaron las cortezas de meteorización laterítica forman parte de las secuencias del cinturón plegado cubano, del cual afloran fundamentalmente unidades oceánicas reconocidas como ofiolitas septentrionales (Iturralde-Vinent, 1996a, 1996b, 1996c, 1998).

Las ofiolitas están representadas por rocas ultrabásicas serpentizadas, constituidas predominantemente por harzburgitas y subordinadamente por dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Las rocas básicas están representadas por gabro olivínico, gabro-noritas, anortositas y gabros normales (Quintas, 1989). Desde el punto de vista tectónico, en la región están presentes estructuras plicativas y disyuntivas agrupadas, sobre todo, en diferentes sistemas de dirección NW-SE y NE-SW (Campos, 1983; Rodríguez, 1998a, 1998b).

Teniendo en cuenta los procesos que han dado lugar a la formación de los yacimientos lateríticos de la región, así como sus características geológicas y geométricas, se asume que el comportamiento de los datos aerogeofísicos, fundamentalmente los aerogamma espectrométricos, y en menor grado los aeromagnéticos, reflejan sus principales regularidades geológicas. Por ello, en esta investigación se utilizan estos datos con el objetivo de caracterizar desde el punto de vista geológico las áreas de desarrollo de lateritas

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos aerogeofísicos medidos en líneas de vuelo con dirección norte-sur, separadas cada 500 m, a una altura media de 70 m. Los datos contienen información proveniente de los canales de K (%), eU (ppm), eTh (ppm) y la intensidad total ( $\mu\text{R/h}$ ), así como del campo magnético ( $\Delta T$ ) (nT) (Chang y otros, 1990; Chang y otros, 1991). La información geológica se obtuvo del mapa de Gyarmati y Leyé O'Conor (1990) a escala 1:50 000 para la región de Moa, y del

de Adamovich y Chejovich (1963), escala 1:50 000, para la de Mayarí.

El procesamiento e interpretación de la información abarcó las etapas siguientes:

- a) Transformación de los datos geológicos a formato digital (Batista, 2000);
- b) Cálculo de las relaciones entre los datos aerogamma espectrométricos: eU/eTh; eU/K, eTh/K y  $F=K \cdot eU / eTh$ , y su correspondiente análisis estadístico;
- c) Descripción y análisis de los mapas construidos al efecto;
- d) Para la región de Moa se definieron los datos aerogeofísicos correspondientes a cada área de laterita, las cuales están delimitadas según su tipo (*in situ* o redepositadas), potencia y roca madre que les dio origen;
- e) Análisis estadístico descriptivo y multivariado (análisis de factores) e interpretación geológica de los datos aerogeofísicos de las lateritas de esta región;
- f) Comparación con las lateritas de la región de Mayarí.

## RESULTADOS

### *Interpretación de datos aerogamma espectrométricos*

Las áreas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas se delimitaron con las isolíneas de 3  $\mu\text{R/h}$  de intensidades gamma total (Fig. 2), 2 ppm de eU (Fig. 3) y eTh (Fig. 4),  $1 \times 10^{-3}$  de eTh/K (Fig. 5) y  $5 \times 10^{-4}$  de eU/K (Fig. 6). Estas isolíneas revelaron, además, zonas de desarrollo de corteza laterítica no reportadas hasta el momento.

Las zonas de afloramiento de rocas máficas y ultramáficas sin desarrollo apreciable de corteza laterítica, se caracterizaron por valores bajos de radiactividad (Figs. 2, 3 y 4), lo que coincide con resultados obtenidos por Galbraith y Saunders (1983), y Kostadinoff y otros (1998), en otras regiones.

Los mayores contenidos de eU y eTh están vinculados con los yacimientos de lateritas ferroniquelífero-cobaltíferas, o sea, a los yacimientos Moa (eU= 7,1 ppm; eTh= 15,4 ppm), Punta Gorda (eU= 5,3 ppm; eTh= 13 ppm) y Pinares de Mayarí (eU= 4,1 ppm; eTh= 12,3 ppm). Reportes de investigación consultados (Galbraith y Saunders, 1983; Dickson, 1985; Kögler *et al.*, 1987; Portnov, 1987; Watanabe, 1987; Braun *et al.*, 1993; Porcelli *et al.*, 1997; Casas *et al.*, 1998; Jubeli *et al.*, 1998; Vogel *et al.*, 1999), apoyan la idea de que las diferencias en los contenidos eU y eTh denotan desigualdades en cuanto a génesis, tiempo de formación, potencias y grado de madurez de estas cortezas.

Teniendo en cuenta que en otras regiones donde ocurren procesos de meteorización química que forman lateritas, se ha reportado alta afinidad entre fases de Fe y U (Von Gunten *et al.*, 1999), se considera que la concentración de este último ocurre como resultado de la alternancia de períodos de seca y lluvia, por la combinación de procesos de adsorción y precipitación, donde durante los procesos de adsorción ocurre el enriquecimiento de U y de otros metales (Cu, Ni, Co, Ba, Zn, Pb y Tl) en las arcillas, los óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, y la materia orgánica (Kögler *et al.*, 1987; Saager *et al.*, 1987; Requejo *et al.*, 1994; Dickson, 1995; Rodríguez-Vega, 1997; Gabriel *et al.*, 1998; Lenhart y Honeyman, 1999; Luo *et al.*, 2000).

En la región Mayarí-Moa, las lateritas desarrolladas sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas presentan mayor concentración de eU respecto a las desarrolladas sobre gabros. Esto sugiere una mayor intensidad, en las primeras, de los procesos que les han dado lugar, pues se conoce que los gabros son rocas con mayor contenido de U que las peridotitas. Las características cristalóquímicas de los minerales a partir de los que se originan las lateritas pudieran también contribuir a la existencia de mayores concentraciones de eU en las desarrolladas sobre peridotitas.

### **Lateritas de la región de Moa**

El análisis estadístico descriptivo reveló que, de manera general, las lateritas redepositadas poseen mayor contenido de eU y eTh que las *in situ*. De la misma manera, los más altos contenidos de estos elementos corresponden a las lateritas con mayores espesores, a las desarrolladas a partir de rocas ultrabásicas serpentinizadas y a las redepositadas sobre éstas (Tabla 1).

El análisis de las matrices de correlación en las diferentes áreas de lateritas, puso de manifiesto relaciones significativas entre las variables que reflejan las características químico-mineralógicas y el propio desarrollo de las lateritas. Altas correlaciones positivas entre eU y eTh se observaron fundamentalmente en áreas de lateritas de gran potencia, lateritas redepositadas, o ambas, lo cual responde a un mayor tiempo de formación y desarrollo, y por tanto mayores espesores en las lateritas. Esto se explica por la hipótesis planteada sobre la incorporación del U a las fases minerales presentes en ellas, y por el enriquecimiento en Th que se produce en la medida que aumenta el grado de meteorización de las rocas (Galbraith y Saunders, 1983; Portnov, 1987; Braun

*et al.*, 1993). En algunas áreas de gran potencia de lateritas se aprecia, además, correlación positiva entre eU, eTh y  $\Delta T$ , asociada a grandes espesores de las rocas ultrabásicas serpentinizadas (Batista, 1998; Gunn *et al.*, 1998; Batista y Rodríguez, 2000; Zaigham y Mallick, 2000).

En áreas de lateritas con potencias variables y redepositadas sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas, el eTh y  $\Delta T$  se correlacionan positivamente. Teniendo en cuenta que los contenidos de Th aumentan con la meteorización y edad de las rocas (Galbraith y Saunders, 1983; Portnov, 1987; Braun *et al.*, 1993), y que la intensidad del campo magnético aumenta en la medida que se incrementan los espesores de las rocas magnéticas (Karlsen y Olesen, 1996; Batista, 1998; Ghidella y otros, 1998; Batista y Rodríguez, 2000), esta correlación sugiere relación entre el tiempo de formación y desarrollo de las cortezas lateríticas y su magnetización; por lo tanto, las zonas con mayor desarrollo de cortezas lateríticas y con mayor potencia presentan mayor grado de magnetización. Las áreas antes referidas pudieran estar vinculadas con los mayores espesores de las rocas ultrabásicas serpentinizadas. La correlación negativa entre eTh y  $\Delta T$  observada en otras áreas de lateritas evidencia un fenómeno inverso al explicado.

En algunas zonas donde existen espesores grandes de lateritas redepositadas sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas y lateritas con poca potencia *in situ* sobre gabros,  $\Delta T$  y K se correlacionan negativamente, lo que sugiere la posible presencia de alteraciones hidrotermales, según investigaciones precedentes realizadas en Cuba (Batista 1998; Batista y Rodríguez, 2000) y en otras partes del mundo (Alva-Valdivia y Urrutia-Fucugauchi, 1998; Chernicoff y Paterlini, 1998; Gunn *et al.*, 1998).

El análisis de factores realizado para las lateritas de Moa, mostró variaciones laterales de los contenidos de eU y eTh (Fig. 7), las cuales están determinadas por las características geomorfológicas y variaciones en los valores de pH, Eh, nivel de las aguas subterráneas, contenidos de materia orgánica en el corte y % modal de fases con alta capacidad de adsorción (ferrihydrite, goethite y % de amorfo) (Jubeli *et al.*, 1998; Luo *et al.*, 2000). Las variaciones de los contenidos de eU y eTh concuerdan con las de los espesores de las lateritas, atendiendo a que el U se concentra en este ambiente siempre que existan condiciones topográficas que le permitan reconcentrarse una vez lixiviado de las rocas intemperizadas (Jubeli *et al.*, 1998). Además, el proceso que da lugar a la adsorción del U y el Th por los óxidos e hidróxidos

de hierro de las lateritas, requiere de un tiempo prolongado, lo que ocasiona un desarrollo considerable de la corteza laterítica (Rodríguez-Vega, 1997; Jubeli *et al.*, 1998; Von Gunten *et al.*, 1999; Luo *et al.*, 2000).

Al utilizar valores reales de la potencia, obtenidos de perforaciones, se pudo constatar que a altos contenidos de eU y eTh corresponden valores también altos de la potencia, de esta forma se corrobora la idea anteriormente desarrollada.

El análisis de factores también mostró variaciones de los contenidos de K (Fig. 8), cuyos máximos valores se ubican en varias localidades de la porción central de la región de Moa y al SW de la ciudad, coincidiendo en algunos casos con zonas de alteraciones hidrotermales reportadas por Ramayo (1996), Vila (1999) y Batista y Ramayo (2000a, 2000b). Estas zonas también podrían estar vinculadas con rocas volcánicas o cuerpos (sills y diques) de gabros que se encajan y cortan las peridotitas (Ríos y Cobiella, 1984; Bérquez, 1985; Rodríguez, 2000).

La delimitación de zonas de alteración hidrotermal dentro de los yacimientos de lateritas ferroniquelíferas permite orientar los trabajos de exploración y explotación minera, lo que es de mucha importancia si se tiene en cuenta los efectos negativos que en el proceso metalúrgico producen los materiales silíceos presentes en las lateritas (Rojas y Beyris, 1994). Por otra parte, a estas cortezas de meteorización se asocian mineralizaciones auríferas en vetas de cuarzo (Ramayo, 1996; Vila, 1999; Batista y Ramayo, 2000a, 2000b); tal es el caso del sector Cabañas, al sudoeste de Moa, donde según estudios geoquímicos y mineralógicos recientes, existen concentraciones de Au entre 30 y 52 ppb (Vila, 2002, com. esc.)

El análisis de factores también permitió delimitar las variaciones laterales de los contenidos de eTh, con las cuales se relacionan el tiempo de formación, desarrollo y espesores de las lateritas (Galbraith y Saunders, 1983; Braun *et al.*, 1993). Se observó que altos contenidos de eTh coinciden con cortezas lateríticas de mayor evolución, tiempo de formación y potencia (Fig. 9).

### **Lateritas de la región de Mayarí**

Atendiendo a que el mapa de Adamovich y Chejovich (1963) no ofrece los detalles del mapa utilizado para el estudio de la región de Moa, en el análisis de las características geológicas de las cortezas lateríticas de Mayarí se hizo uso de los resultados obtenidos para Moa.

El análisis de las matrices de correlación obtenidas para las lateritas de Mayarí, también mostró relaciones significativas entre eU y eTh, y eTh y  $\Delta T$ , lo

que denota las características antes descritas en la región de Moa. Las variaciones laterales de los fenómenos citados se manifiestan en los mapas construidos a partir del análisis de factores. En la figura 10 se muestran las zonas con mayores espesores de las lateritas según el factor de eU y eTh. El factor de eTh destaca las zonas con mayores tiempos de formación, desarrollo y espesor (Fig. 11).

## **CONCLUSIONES**

Las áreas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas donde se enclavan los yacimientos más importantes de Moa y Mayarí, se delimitaron con las isóneas de valores de 2 ppm de eTh y eU,  $1 \times 10^{-3}$  de eTh/K y  $5 \times 10^{-4}$  de eU/K. Estas isóneas también permitieron revelar zonas de lateritas no reportadas por los mapas geológicos tomados como base para este análisis.

Las lateritas redepositadas poseen mayores contenidos de eU y eTh que las *in situ*. Estos contenidos también son mayores en las lateritas de mayor espesor y aquellas desarrolladas o redepositadas sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas. El tiempo de formación, desarrollo, potencia de lateritas y rocas subyacentes, así como las características geomorfológicas y la posible presencia de alteraciones hidrotermales, se infieren de las relaciones encontradas entre los contenidos de eU, eTh y K, y  $\Delta T$ . Las variaciones laterales en el factor de eU y eTh en las lateritas indican variaciones en los espesores de las mismas, mientras que el de eTh está relacionado con su tiempo de formación, desarrollo y espesor.

Altos valores del factor de K son indicativos de alteraciones hidrotermales, la delimitación de las cuales es muy importante considerando las afectaciones que provoca el material silíceo presente en las lateritas en el proceso metalúrgico y por la posible presencia de metales preciosos asociados con esas alteraciones.

Las variaciones laterales del campo magnético y de los contenidos de cualesquiera de los elementos analizados (eU, eTh y K) reflejan variaciones de los espesores de las lateritas y de las rocas subyacentes. Las lateritas de la región de Moa poseen mayor contenido de eU y eTh que las de Mayarí, esto sugiere mayor tiempo de formación, desarrollo y espesor de las primeras.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la dirección del Instituto de Geología y Paleontología, particularmente al Departamento de Geofísica, por facilitar los datos aerogeofísicos utilizados en este trabajo. A los doctores Alina Rodríguez, Jesús Blanco y Antonio Rodríguez, por las sugerencias que permitieron enriquecer el trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMOVICH A., V.D. CHEJOVICH, 1963: "Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente", Informe, ONRM.
- ALVA-VALDIVIA, L.M. Y J. URRUTIA-FUCUGAUCHI, 1998: "Rock magnetic properties and ore microscopy of the iron ore deposit of Las Truchas, Michoacan", Mexico, *Journal of Applied Geophysics*, 38(4): 277-299.
- BATISTA, J., 1998: "Características geológicas y estructurales de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000". [Tesis de Maestría], Centro de Información, ISMM de Moa, 79 pp.
- , 2000: "Metodología para la recuperación de la matriz digital de las observaciones de un levantamiento geofísico", *Minería y Geología*, 17(2): 23-26.
- BATISTA, J. Y L. RAMAYO, 2000a: "Características aerogamma espectrométricas de las zonas de alteraciones hidrotermales de la región de Moa (Cuba oriental)", en: V Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Argentina (La Plata) pp. 424-431.
- BATISTA, J. Y L. RAMAYO, 2000b: "Utilización de datos aerogamma espectrométricos para la localización de zonas de alteración hidrotermal en la región Sagua-Moa, Cuba oriental", *Minería y Geología*, 17(3-4):3-10.
- BATISTA, J., A. RODRÍGUEZ, 2000: "Particularidades geológicas del complejo ofiolítico de Moa a partir de los datos aeromagnéticos" 1:50 000, *Minería y Geología*, XVII(1): 17-25.
- BÉRGUEZ, P., 1985: Informe de la exploración orientativa y detallada en los yacimientos ferroniquelíferos-cobálticos de la región de Moa en los sectores Punta Gorda, Moa Oriental y Yagrumaje Oeste, durante los años 1981-1985; con cálculo de reservas al 1/10/87, OTRM, Santiago de Cuba, 110 pp.
- BRAUN, J.J., M. PAGEL, A. HERBILLON, C. ROCIN, 1993: "Mobilization and redistribution of REEs and thorium in a syenitic lateritic profile: A mass balance study", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 4419-4434.
- CAMPOS, M. 1983: "Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo", *Minería y Geología*, 2: 51-76.
- CASAS, I., J. PABLO, J. JIMÉNEZ, M.E. TORRERO, J. BRUNO, E. CERA, R.J. FINCH, R.C. EDWING, 1998: "The role of pe, pH, and carbonate on the solubility of  $UO_2$  and uraninite under nominally reducing conditions" *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 62(13): 2223-2231.
- CHANG, J.L., G. GRIBNOV, A. BRODOBOI, 1990: Informe sobre resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias de Santiago de Cuba, Holguín, Granma y Guantánamo (Sector Pinares de Mayarí), ONRM, 314 pp.
- CHANG, J.L., L. CORBEA, F. PRIETO, J. HERNÁNDEZ, G. BRITO, 1991: Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias Guantánamo y Holguín (Sector Guantánamo sur), O.N.R.M., 320 pp.
- CHERNICOFF, C.J. Y C.M. PATERLINI, 1998: Interpretación geológica de la anomalía magnética del Departamento Mártires, provincia del Chubut (Argentina), en: X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológico-minera, pp. 31-42.
- DICKSON, B.L., 1985: "Radium isotopes in saline seepages, southwestern Yilgarn, Western Australia", *Geochem. Cosmochim. Acta*, 49: 361-368.
- , 1995: "Uranium-series disequilibrium in Australian soils and its effect on aerial gamma-ray surveys, *Journal of Geochemical Exploration*, 54:177-186.
- GABRIEL, U., J.P. GAUDET, L. SPADINI, L. CHARLET, 1998: "Reactive transport of uranyl in a goethite column: an experimental and modeling study", *Chemical Geology*, 151(1-4): 107-128.
- GALBRAITH, J.H. Y D.F. SAUNDERS, 1983: "Rock classification by characteristics of aerial gamma-ray measurements", *Journal of Geochemical Exploration*, 18: 49-73.
- GHIDELLA, M.E., J.L. LA BRECQUE, G.A. RODRÍGUEZ, 1998: "Los movimientos de la península Antártica en el mesozoico". en: X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológico-minera, pp. 59-79.
- GUNN, P.J., T. MACKEY, T.J. MEIXNER, 1998: "Magnetic, radiometric and gravity signatures of localities of epithermal gold deposits in Fiji". En: X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológico-minera, 1998, pp. 43-51.
- GYARMATI, P., J. LEYÉ O'CONOR, 1990: Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo, ONRM (La Habana).
- ITURRALDE-VINENT, M.A., 1996a: "Geología de las ofiolitas de Cuba", en: M. Iturralde-Vinent, ed.: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, IGCP project 364, Special contribution n.1, pp. 83-120.
- , 1996b: "Introduction to Cuban Geology and tectonics", en: M. Iturralde-Vinent, ed.: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, IGCP project 364. Special contribution n.1, pp. 3-35.
- , 1996c: "Cuba: el arco de islas volcánicas del Cretácico", en: M. Iturralde-Vinent, ed.: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, IGCP project 364, pp. 179-189.
- , 1998: "Sinopsis de la constitución geológica de Cuba", *Acta Geológica Hispana*, 33(1-4): 9-56.
- JUBELI, Y., M. AL-HILLAL, G. RAJJA, A. AL-ALI, 1998: "Radiometric profiles of uranium dispersal pattern adjacent to cretaceous phosphatic sediments in Wadi Qasser Al-Hallabat basin, Central Syria", *Explor. Mining Geol.*, 7(4): 313-319.
- KARLSEN, T.A. Y O. OLESEN, 1996: "Airborne geophysical prospecting for ultramafite associated talc, Altermark, northern Norway", *Journal of Applied Geophysics*, 35(4): 215-236.
- KÖGLER, K., G. FRIEDRICH, R. GATZWEILER, F. BIANCONI, S. THEIS, 1987: "Alpha-Spectrometric disequilibrium determinations on sandstone-type uranium mineralization in the lateritic environment of Tanzania", *Mineral Deposits*, 27 :161-174.
- KOSTADINOFF, J., E. BJERG., S. DELPINO, L. DEMIERE, A. RANIOLA, A. MOGESSIE, G. HOINKES, CH. HAUZENBERGER, A. FELFERNIG, 1998: "Anomalías geofísicas en rocas máficas y ultramáficas de la Sierra Grande de San Luis, Argentina", en: IV Reunión

- de Mineralogía y Metalogénesis; IV Jornadas de mineralogía y petrografía, metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas, UNS, Bahía Blanca. Argentina, pp. 139-145.
- LENHART, J.J. y B.D. HONEYMAN, 1999: "Reactions at the solid/solution interface Fe-Oxides and Hydroxides: Uranium(VI) sorption to hematite in the presence of humic acid", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(19/20):2891-2901.
- LUO, S., T-L. KU, R. ROBACK, M. MURELL, T. McLING, 2000: "In-situ radionuclide transport and preferential groundwater flows at INEEL (Idaho): decay-series disequilibrium studies", *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 64(5) :867-881.
- PORCELLI, D., P.S. ANDERSON, G.J. WASSERBURG, J. INGRI, M. BASKARAN, 1997: "The importance of colloids and mires for the transport of uranium isotopes through the Kalix river watershed and Baltic sea", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(19):4095-4113.
- PORTNOV, A.M., 1987: "Specialization of rocks toward potassium and thorium in relation to mineralization", *International Geology Review*, 29:326-344.
- QUINTAS, F., 1989: "Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas". [Tesis doctoral], Centro de Información ISMMM, Moa, 161 pp.
- RAMAYO, L., 1996: "Mineralogía y geoquímica de los flujos mecánicos de dispersión en la región de Moa". [Trabajo de diploma], Centro de Información, ISMM de Moa, 63 pp.
- REQUEJO, A.G., C.C. WIELCHOWSKY, M.J. KLOSTERMAN, R. SASSEN, 1994: "Geochemical characterization of lithofacies and organic facies in Cretaceous organic-rich rocks from Trinidad, East Venezuela Basin", *Organic Geochemistry*, 22(3-5): 441-459
- RÍOS, Y.I. y J.L. COBIELLA, 1984: "Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín", *Minería y Geología*, 2:109-132.
- RODRÍGUEZ, A., 1998a: "Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis tectónica". [Tesis Doctoral], Centro de Información, ISMM de Moa, 124 pp.
- , 1998b: "Estilo tectónico y geodinámico de la región de Moa", *Minería y Geología*, 15(2):37-41.
- RODRÍGUEZ, R., 1997: "Estudio petrológico de las rocas de afinidad ofiolítica portadoras de ilmenita en la zona de Cayo Grande en el macizo Moa-Baracoa". [Tesis de maestría], 2000, Centro de Información, ISMM de Moa, 69 pp.
- RODRÍGUEZ-VEGA, A., 1997: *Geoquímica general*, Ed. Félix Varela, La Habana, 273 pp.
- ROJAS, A., P. BEYRIS, 1994: "Influencia de la composición mineralógica del material limonítico de frentes de explotación de la industria Pedro Soto Alba, Moa", *Minería y Geología* 11(1): 13-17.
- SAAGER, R., H.D. STUPP, R. VORWERK, K. THIEL, G.J. HENNIG, 1987: "Interpretation of Alpha and Gamma-Spectrometric conglomerates: A case study from the Denny Dalton uranium prospect, northern Zululand, South Africa", *Mineral Deposits* 27 :175-188.
- VILA, A., 1999: "Principales rasgos de la distribución del oro en los depósitos de exógenos de la región Sagua-Moa". [Tesis de maestría], Centro de Información, ISMM de Moa, 76 pp.
- VOGEL, J.C., A.S. TALMA, T.H.E. HEATON, J. KRONFELD, 1999: "Evaluation the rate of migration of an uranium deposition front within the Uitenhage Aquifer", *Journal of Geochemical Exploration*, 66(1-2): 269-276.
- VON GUNTEN, H.R., E. ROESSLER, R.T. LOWSON, P.D. REID, S.A. SHORT, 1999: "Distribution of uranium- and thorium series radionuclides in mineral phases of a weathered lateritic transect of a uranium ore body", *Chemical Geology*, 160(3): 225-240.
- WATANABE, K., 1987: "Geochemical behaviour of iron and manganese ions in the Ningyo-Toge uranium deposits district, southwest Japan", *Chemical Geology*, 60:229-307.
- ZAIGHAM, N.A. y K.A. MALLICK, 2000: "Bela ophiolite zone of southern Pakistan: Tectonic setting and associated mineral deposits", *GSA Bulletin*, 112(3): 478-489.

Tabla 1. Características radiométricas y magnéticas de las lateritas de los sectores Mayarí y Sagua-Moa

Formaciones y rocas		Área	Iy (1) µr/h	Iy (2) µr/h	K (1) %	K (2) %	eU (1) ppm	eU (2) ppm	eTh (1) ppm	eTh (2) ppm	ΔT (1) nT	ΔT (2) nT	F (1) 10 <sup>3</sup>	eTh/K (1) 10 <sup>-4</sup>	eU/K (1) 10 <sup>-4</sup>	eU/eTh (1)
Lateritas de Mayarí		-	3.48	1.40-6.18	0.35	0.32-0.59	2.18	0.95-4.20	5.33	0.67-12.3	-7.3	-565-526	1.78	1.52	0.62	0.50
Lateritas de Moa		-	3.06	1.64-8.84	0.35	0.33-0.53	2.18	0.94-7.10	2.18	1.05-15.4	14.5	-276-498	2.2	11	6.2	0.64
Lateritas de Moa	Serpentinitas	1	3.81	1.67-8.84	0.34	0.34-0.35	2.68	1.09-5.94	5.33	1.51-15.4	9.23	-108-88	1.9	15.2	7.6	0.56
		2	2.67	2.20-3.75	0.35	-	2.09	1.50-2.75	2.71	1.39-5.34	263	117-498	3.15	7.7	6.0	0.89
		3	3.56	1.80-7.53	0.35	0.34-0.43	2.33	0.95-6.00	5.27	1.56-12.3	39.6	-153-179	1.61	15	6.7	0.45
		4	2.45	1.73-3.48	0.35	0.34-0.35	1.66	0.9-2.40	2.91	1.42-5.99	-127	-277-86	2.16	8.3	4.8	0.61
		7	2.20	2.17-2.22	0.35	-	1.43	1.38-1.49	2.57	2.48-2.69	89	17.0-159	1.95	7.4	4.1	0.55
		9	3.14	1.68-5.59	0.35	0.34-0.48	2.09	0.95-4.2	4.35	1.61-8.55	19.7	-259-230	1.78	12.4	6	0.50
		10	2.39	2.01-2.91	0.35	0.34-0.42	1.71	1.25-2.30	2.58	1.83-3.54	148	76-263	2.42	7.3	4.9	0.68
		11	3.14	2.15-3.84	0.34	0.34-0.35	2.02	1.40-2.60	4.51	2.39-5.95	-72	-114-89-9	1.64	12.9	5.8	0.46
		12	1.77	1.69-1.86	0.35	-	1.18	1.02-1.35	1.66	1.58-1.75	-32	-46-0.42	2.51	4.8	3.4	0.71
		13	2.00	1.8-2.08	0.35	-	1.54	1.40-1.60	1.64	1.51-1.79	-22	-45-4.99	3.29	4.7	4.4	0.94
		14	2.55	2.07-3.23	0.35	-	1.90	1.45-2.30	2.73	1.74-4.18	-24	-233-298	2.57	7.8	5.4	0.73
15	2.32	1.96-2.93	0.35	-	1.76	1.43-2.30	2.24	1.54-3.40	-80	-103-64	2.9	6	5	0.82		
Potentes	Gabbros	1	2.09	1.70-2.46	0.34	0.34-0.35	1.64	0.95-2.05	1.73	1.53-2.07	67	-33-159	3.37	4.9	4.7	0.96
		2	1.86	1.71-2.18	0.35	0.34-0.35	1.27	0.95-1.82	1.77	1.62-2.07	142	88-201	2.58	5.1	3.6	0.73
		3	2.06	1.71-2.68	0.35	-	1.51	1.10-2.20	1.92	1.48-2.56	-90	-127-11-5	2.83	5.5	4.3	0.80
Redepositadas	Serpentinitas	1	2.20	1.79-2.57	0.35	0.34-0.35	1.96	1.40-2.34	1.68	1.24-1.86	-54	-103-8.9	4.1	4.8	5.6	1.17
		2	3.48	1.87-4.79	0.35	0.34-0.38	2.49	1.40-3.20	4.61	1.49-7.59	43	-7.7-110	2.11	12.9	7	0.59
		3	1.91	1.73-2.08	0.34	0.34-0.35	1.39	1.11-1.55	1.68	1.45-1.90	-29	-89-25	2.91	4.8	4.0	0.83
		4	1.95	1.67-2.63	0.35	0.34-0.38	1.36	0.95-2.12	1.87	1.42-3.29	45	11-92	2.65	5.3	3.9	0.75
		5	5.23	2.74-6.26	0.35	-	4.23	2.20-5.00	6.76	2.74-9.06	-57	-221-93	2.25	19.3	12.1	0.64
		6	5.40	3.20-8.14	0.35	-	4.59	2.72-6.00	6.52	3.08-13.1	29	-53-79	2.91	18.6	13.1	0.83
		7	4.60	3.59-5.11	0.35	-	3.66	2.65-4.13	5.89	4.65-7.16	81	54-108	2.23	16.8	10.5	0.63
		8	4.55	2.84-6.65	0.35	-	3.56	2.22-5.50	5.90	2.95-9.16	127	108-135	2.25	16.9	10.2	0.64
		9	4.13	2.44-6.92	0.35	-	3.13	1.88-5.23	5.45	2.37-10.3	85	51-125	2.12	15.6	8.9	0.60
		10	3.91	1.98-8.56	0.35	0.33-0.53	2.99	1.20-7.10	4.94	1.54-13.9	26	-41-99	2.45	14	8.5	0.68
		11	2.94	2.35-3.68	0.34	0.34-0.35	2.11	1.84-2.25	3.61	2.15-5.99	104	93-110	2.32	10.3	6	0.66

Formaciones y rocas		Área	Iy (1) µr/h	Iy (2) µr/h	K (1) %	K (2) %	eU (1) ppm	eU (2) ppm	eTh (1) ppm	eTh (2) ppm	ΔT (1) nT	ΔT (2) nT	F (1) 10 <sup>-3</sup>	eTh/K (1) 10 <sup>-4</sup>	eU/K (1) 10 <sup>-4</sup>	eU/eTh (1)
		12	1.94	1.69-2.14	0.35	-	1.41	1.10-1.64	1.71	1.51-2.38	-40	-81 -2.28	2.93	4.9	4	0.83
		1	2.19	1.73-2.97	0.34	0.34-0.35	1.52	0.95-2.95	2.35	1.45-3.48	25	-67-147	2.42	6.7	4.4	0.69
	Serpentinitas	2	2.38	1.72-3.28	0.35	0.34-0.38	1.75	0.95-2.64	2.47	1.43-3.56	113	5.46-308	2.5	7.0	5.0	0.73
		3	2.18	1.68-3.44	0.35	0.34-0.35	1.53	1.15-2.45	2.28	1.36-4.65	-5.11	-116-108	2.65	6.5	4.4	0.75
	In situ	1	2.31	1.86-3.03	0.34	0.34-0.35	1.54	1.30-1.95	2.71	1.54-4.36	61	28.4-77	2.18	7.8	4.4	0.62
		2	1.99	1.79-2.08	0.35	-	1.60	1.27-1.73	1.46	1.39-1.55	120	68-156	3.83	4.2	4.6	1.09
	Gabros	3	1.89	1.73-2.26	0.35	0.34-0.35	1.32	1.07-1.70	1.72	1.35-2.73	105	-9.8-209	2.81	4.9	3.8	0.79
		4	1.88	1.65-2.41	0.35	0.34-0.35	1.33	0.95-2.20	1.69	1.48-2.08	68	15-171	2.81	4.8	3.8	0.80
		5	1.96	1.64-2.55	0.35	0.34-0.35	1.47	1.11-2.05	1.66	1.17-2.60	125	-11-252	3.15	4.8	4.2	0.90
		7	1.90	1.83-1.95	0.35	-	1.42	1.30-1.50	1.56	1.52-1.68	-5.66	-23-13	3.18	4.5	4.1	0.90
	Poca potencia	1	2.92	1.91-4.88	0.35	-	2.37	1.49-3.78	2.97	1.05-7.29	-0.71	-37-29	3.63	8.5	6.8	1.03
		2	3.47	2.55-4.57	0.34	0.33-0.35	2.94	2.20-3.61	3.59	2.12-6.06	-52	-89-0.98	3.02	10.3	8.4	0.86
		3	3.04	2.51-4.50	0.35	-	2.33	1.98-3.20	3.46	2.40-6.57	36	11.0-57.0	2.62	9.9	6.7	0.74
	Serpentinitas	4	2.36	2.16-2.84	0.35	-	1.57	1.39-2.09	2.83	2.37-3.33	73.8	44-95	1.86	8.1	4.5	0.56
		5	2.71	2.08-3.31	0.35	-	1.89	1.52-2.40	3.30	1.82-4.45	-28	-107-30	2.1	9.4	5.4	0.59
	Redepo- sitas	6	2.19	1.85-2.88	0.35	-	1.60	1.30-2.40	2.16	1.34-2.92	-35	-133-83	2.66	6.2	4.6	0.76
		10	1.90	1.88-1.93	0.35	-	1.39	1.35-1.45	1.61	1.56-1.73	-149	-161 -131	3.02	4.6	4	0.86
		11	2.00	1.65-2.43	0.35	-	1.48	0.95-2.20	1.76	1.51-2.34	55	-73-301	2.98	5.1	4.3	0.85
	Gabros	1	2.18	1.94-2.65	0.35	0.34-0.35	1.73	1.46-2.20	1.81	1.38-2.97	-55	-90 -26	3.5	5.1	4.59	1.00
		2	2.04	1.81-2.26	0.35	0.34-0.35	1.64	1.40-1.91	1.53	1.28-1.71	-58	-82 -35	3.7	4.3	4.7	1.07



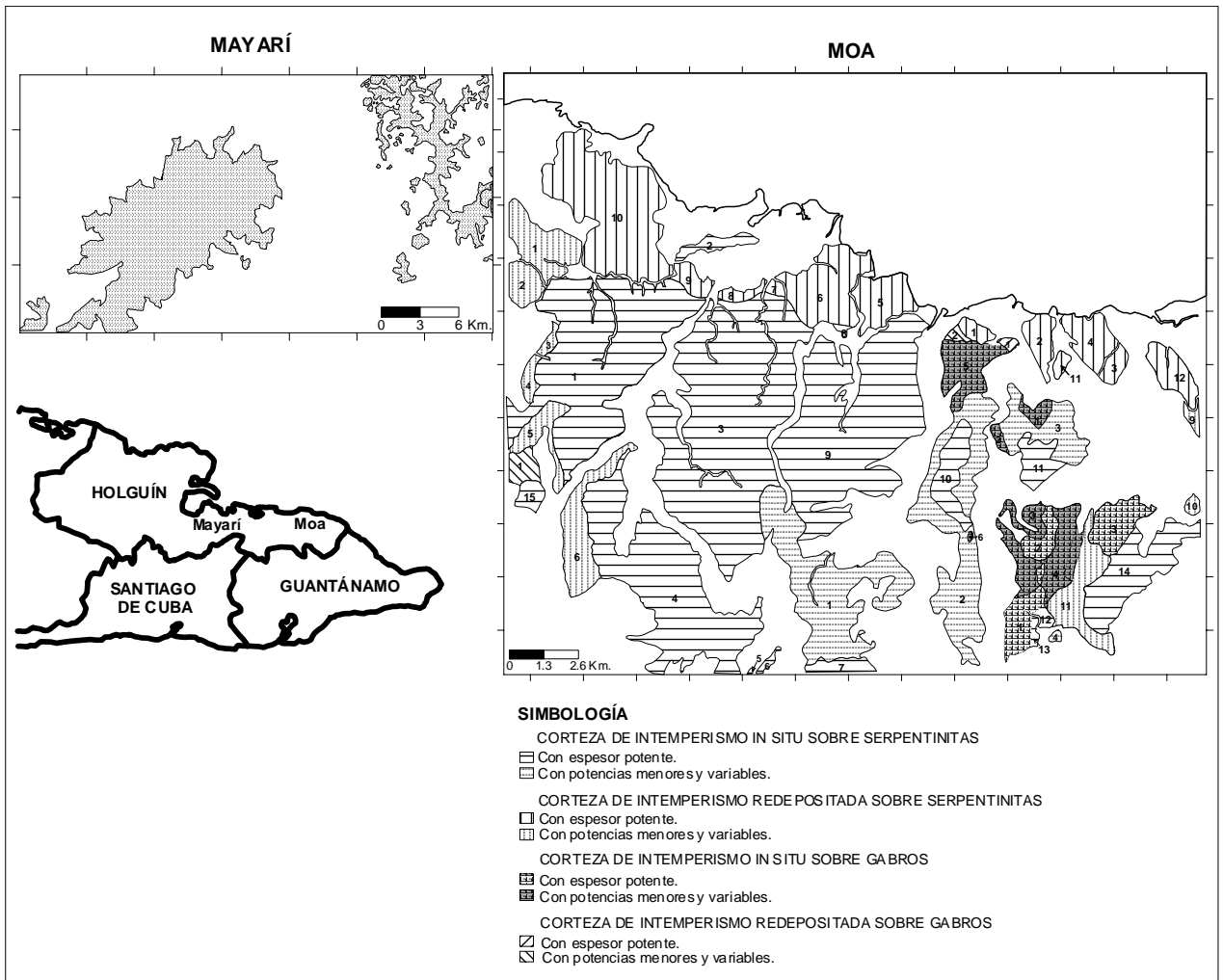


Figura 1. Esquema de ubicación de las principales áreas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas de la región Mayarí-Moa. (Modificado de Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990, y Adamovich y Chejovich, 1963.)

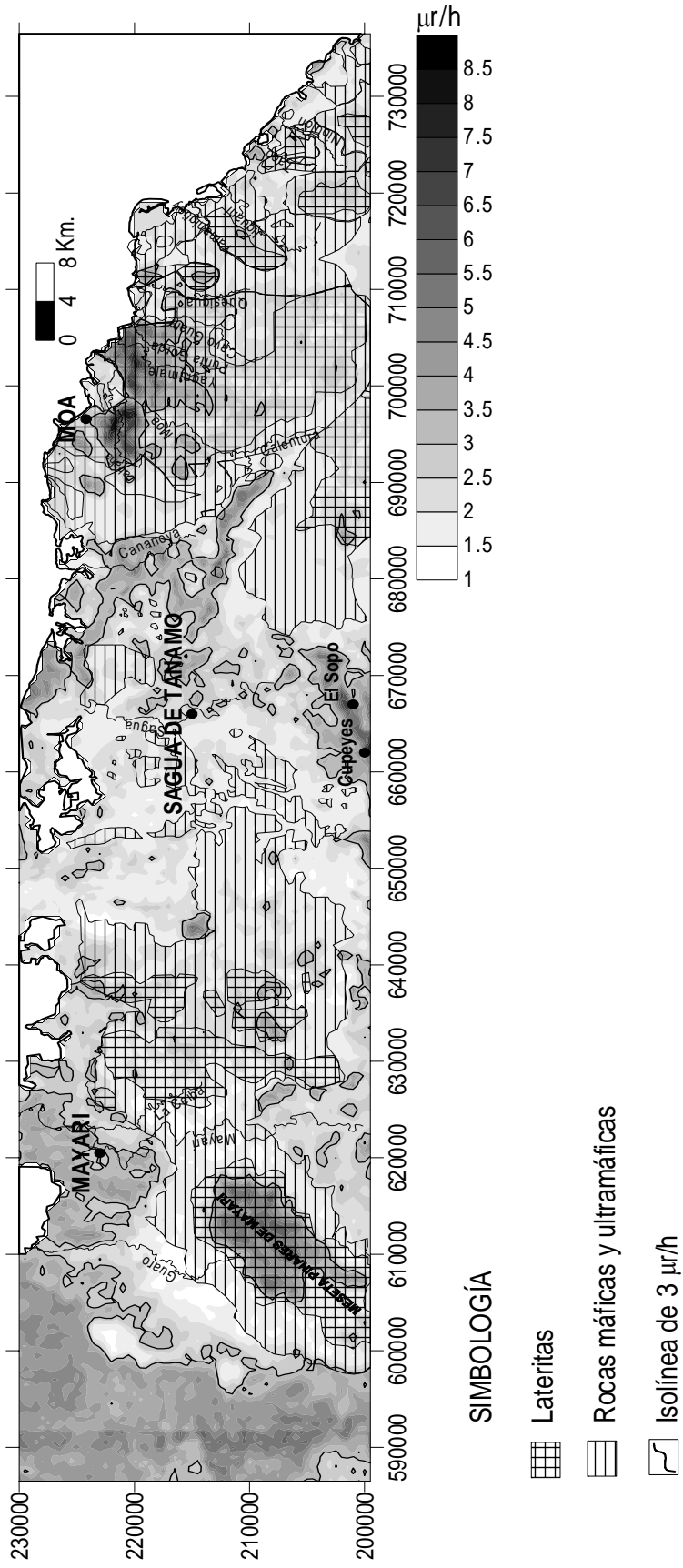


Figura 2. Mapa de intensidad gamma total ( $I_\gamma$ ) de la región Mayarí-Sagua-Moa.

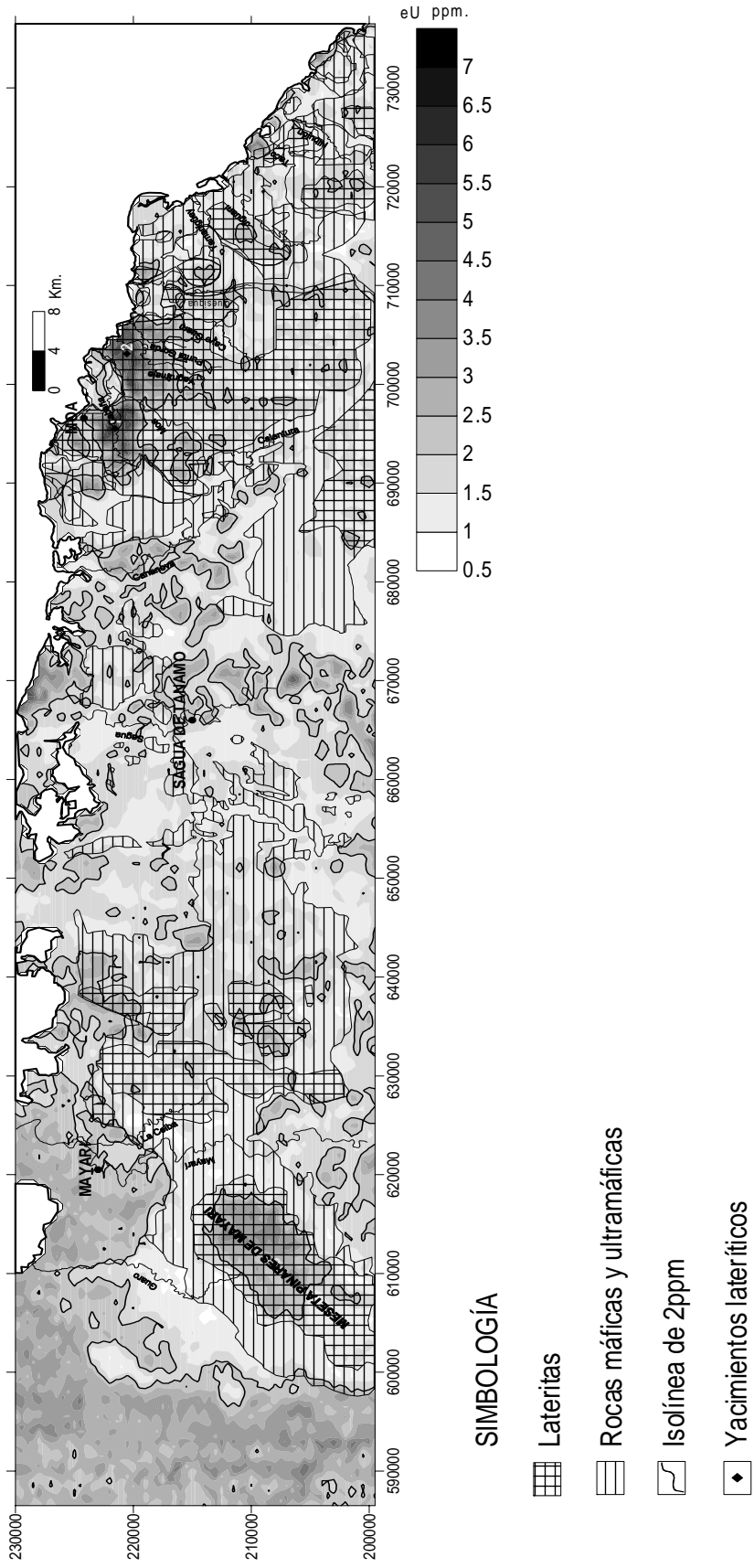


Figura 3. Mapa de contenido de eU de la región Mayarí-Sagua-Moa. Yacimientos lateríticos: 1, Moa; 2, Punta Gorda; 3, Pinares de Mayarí.

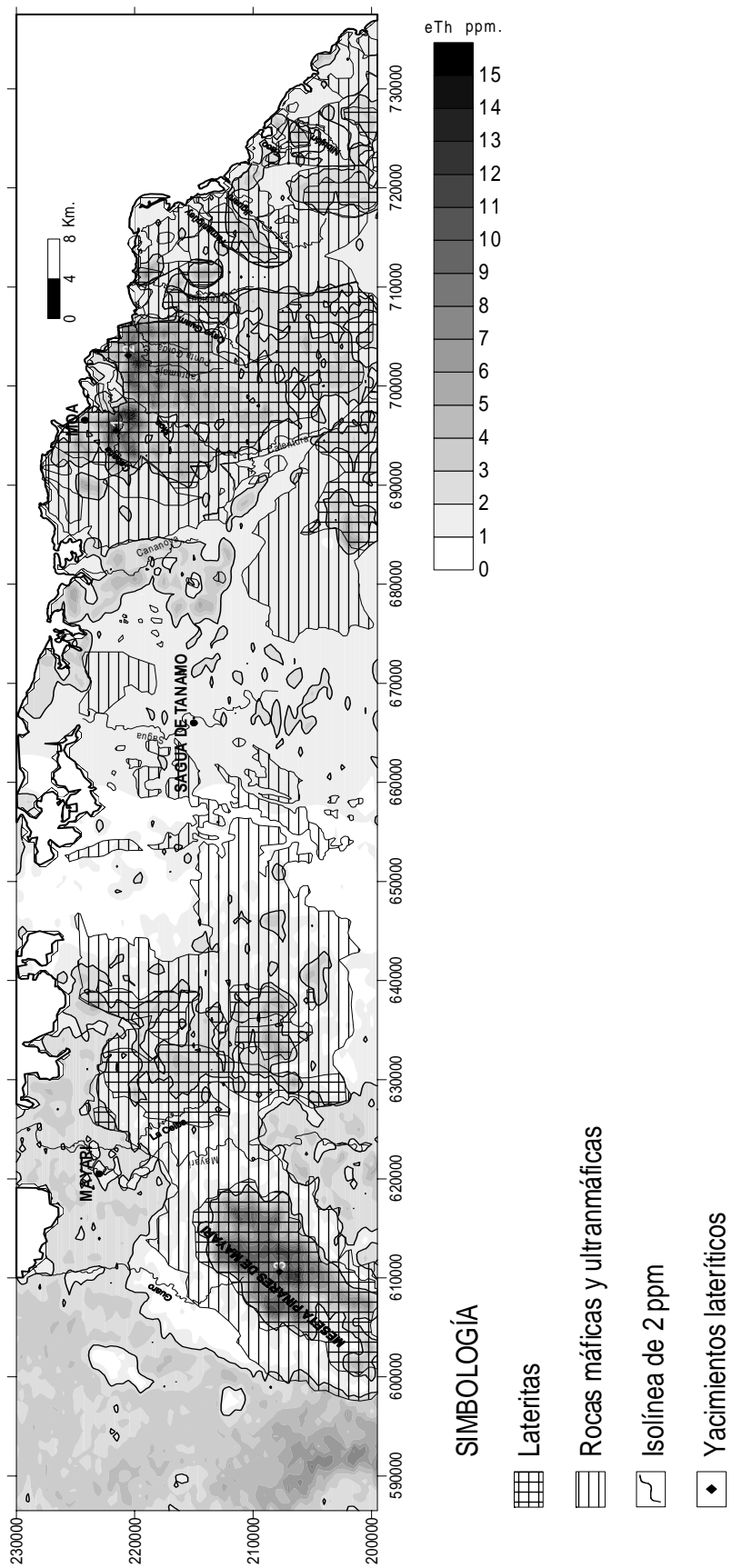
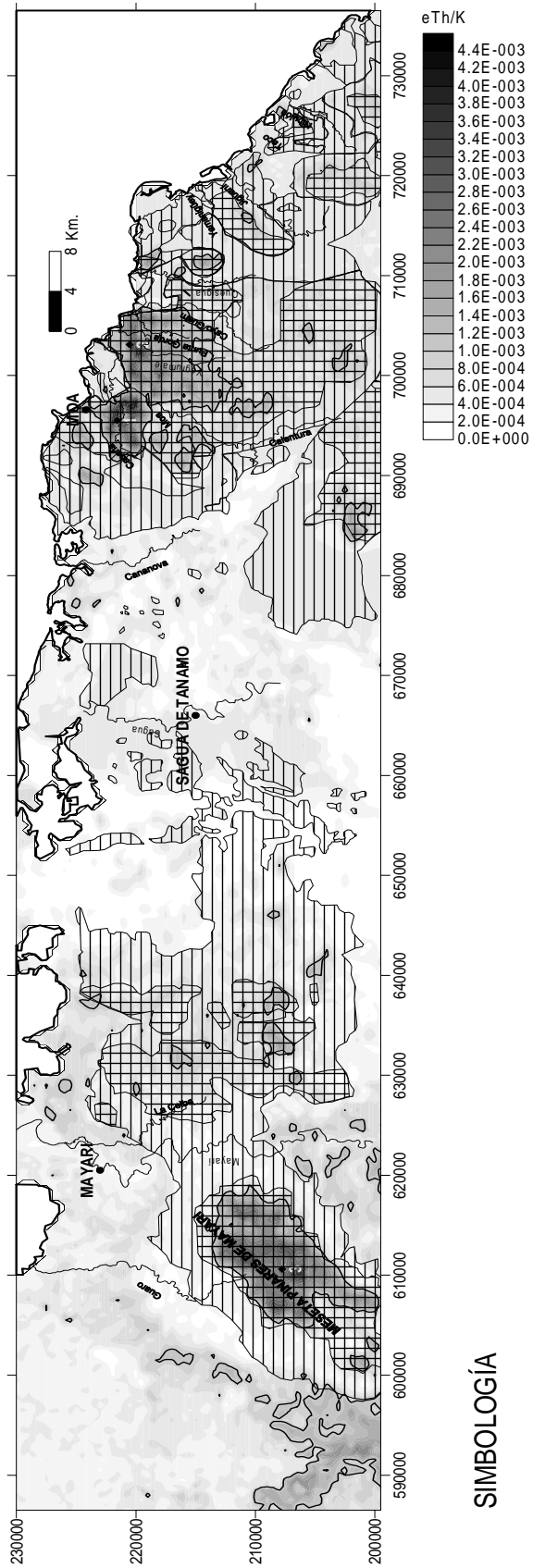


Figura 4. Mapa de contenido de eTh de la región Mayarí-Sagua-Moa. Yacimientos lateríticos: 1, Moa; 2, Punta Gorda; 3, Pinares de Mayarí.



**SIMBOLOGÍA**





-  Lateritas
-  Rocas máficas y ultramáficas
-  Isolínea de 0.001
-  Yacimientos lateríticos

Figura 5. Mapa de eTh/K de la región Mayarí-Sagua-Moa. Yacimientos lateríticos: 1, Moa; 2, Punta Gorda; 3, Pinares de Mayarí.

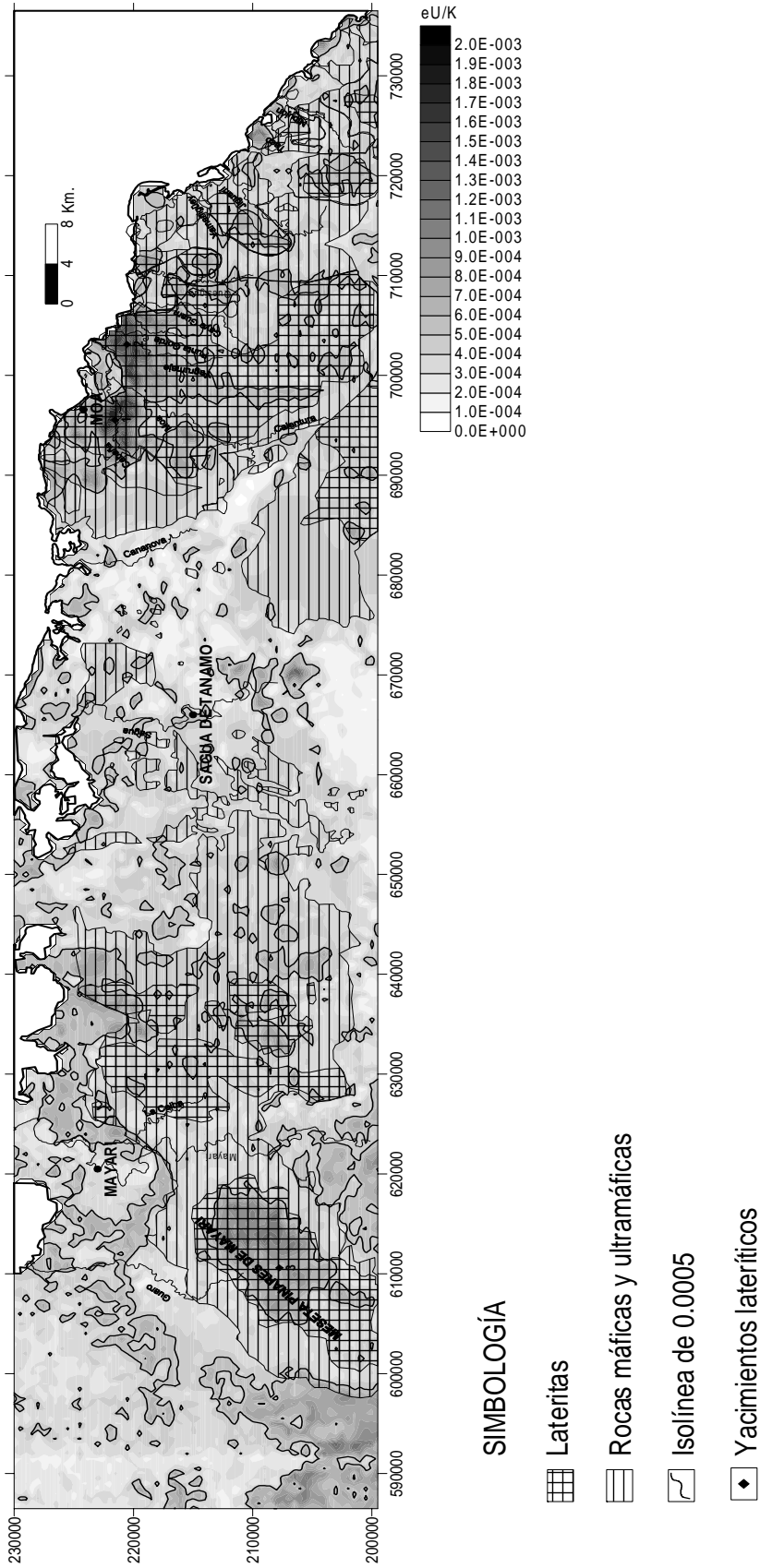


Figura 6. Mapa de eU/K de la región Mayarí-Sagua-Moa.  
Yacimientos lateríticos: 1, Moa; 2, Punta Gorda; 3, Pinares de Mayarí.

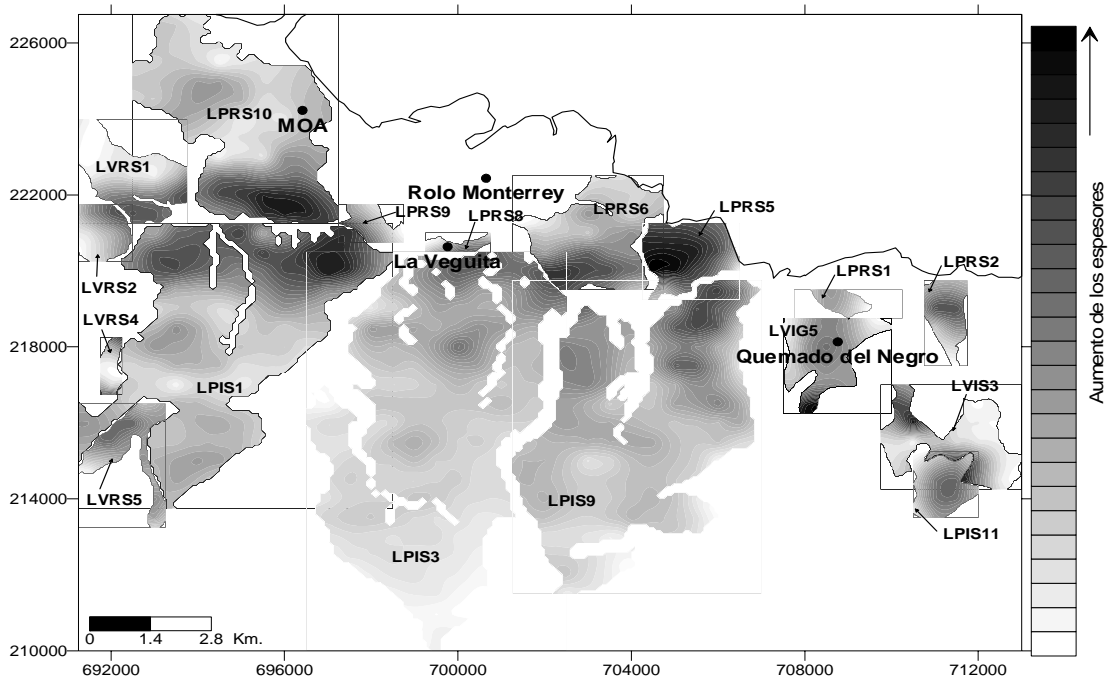


Figura 7. Variaciones de los espesores de las lateritas de Moa, según al factor de eU y eTh.

**LEYENDA**

LPIS1, 3, 9 y 11. Lateritas potentes *in situ* sobre serpentinitas en los afloramientos 1, 3, 9 y 11.

LPRS1, 2, 5, 6, 8, 9, 10. Lateritas potentes redepositadas sobre serpentinitas en los afloramientos 1, 2, 5, 6, 8, 9 y 10.

LVIS3. Lateritas con potencias variables *in situ* sobre serpentinitas en el afloramiento 3.

LVIG5. Lateritas con potencias variables *in situ* sobre gabros en el afloramiento 5.

LVR1, 2, 4 y 5. Lateritas con potencias variables redepositadas sobre serpentinitas en los afloramientos 1, 2, 4 y 5.

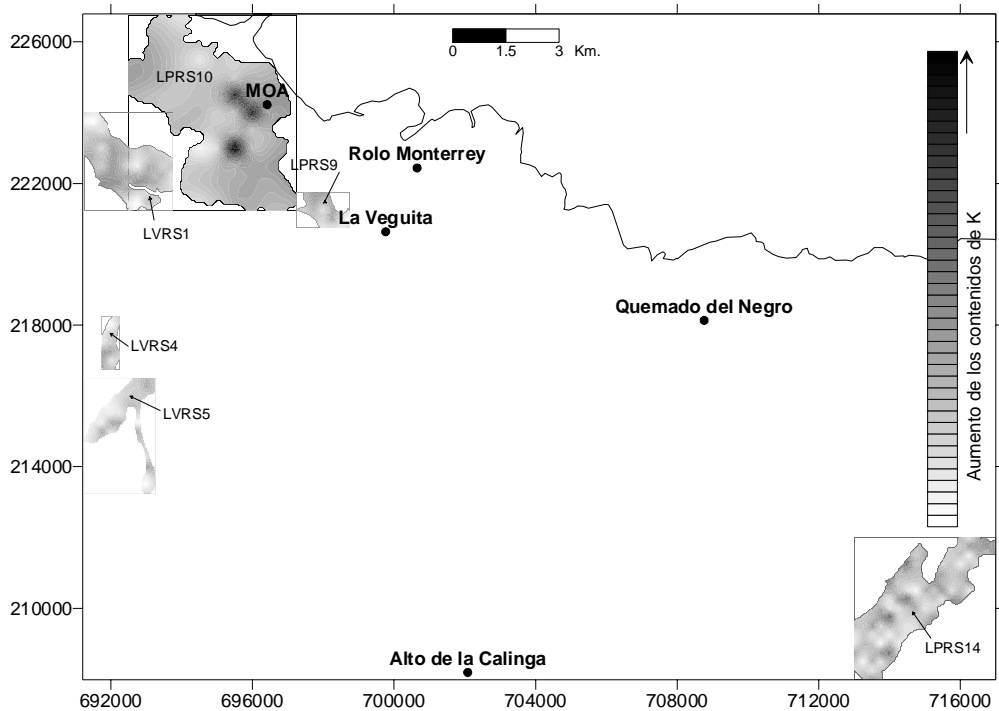


Figura 8. Variaciones en las concentraciones de K de las lateritas de Moa, según el factor de K.

**LEYENDA**

LPRS9, 10 y 14. Lateritas potentes redepositadas sobre serpentinitas en los afloramientos 9, 10 y 14.

LVRS1, 4 y 5. Lateritas con potencias variables redepositadas sobre serpentinitas en los afloramientos 1, 4 y 5.

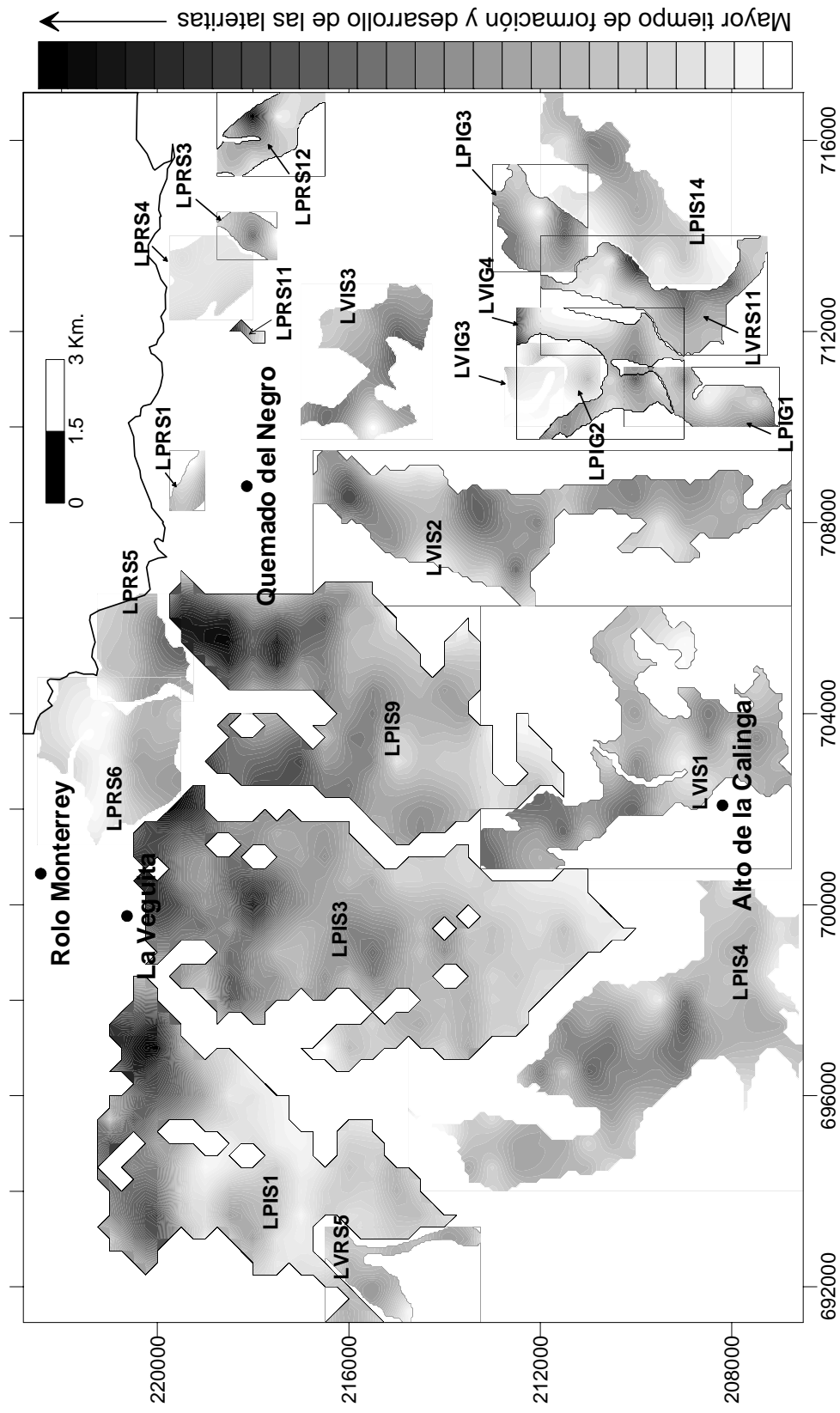


Figura 9. Variaciones en el tiempo de formación y desarrollo de las cortezas lateríticas de Moya, según el factor de eTh.

**LEYENDA**

LPIS4 y 14. Lateritas potentes *in situ* sobre serpentinitas en los afloramientos 4 y 14.

LPIG1, 2 y 3. Lateritas potentes *in situ* sobre gabros en los afloramientos 1, 2 y 3.

LPRS1, 3, 4, 5, 6 y 12. Lateritas potentes redepasadas sobre serpentinitas en los afloramientos 1, 3, 4, 5, 6 y 12.

LVIS1, 2 y 3. Lateritas con potencias variables *in situ* sobre serpentinitas en los afloramientos 1, 2 y 3.

LVIG3 y 4. Lateritas con potencias variables *in situ* sobre gabros en los afloramientos 3 y 4.

LVR55 y 11. Lateritas con potencias redepasadas sobre serpentinitas en los afloramientos 5 y 11.



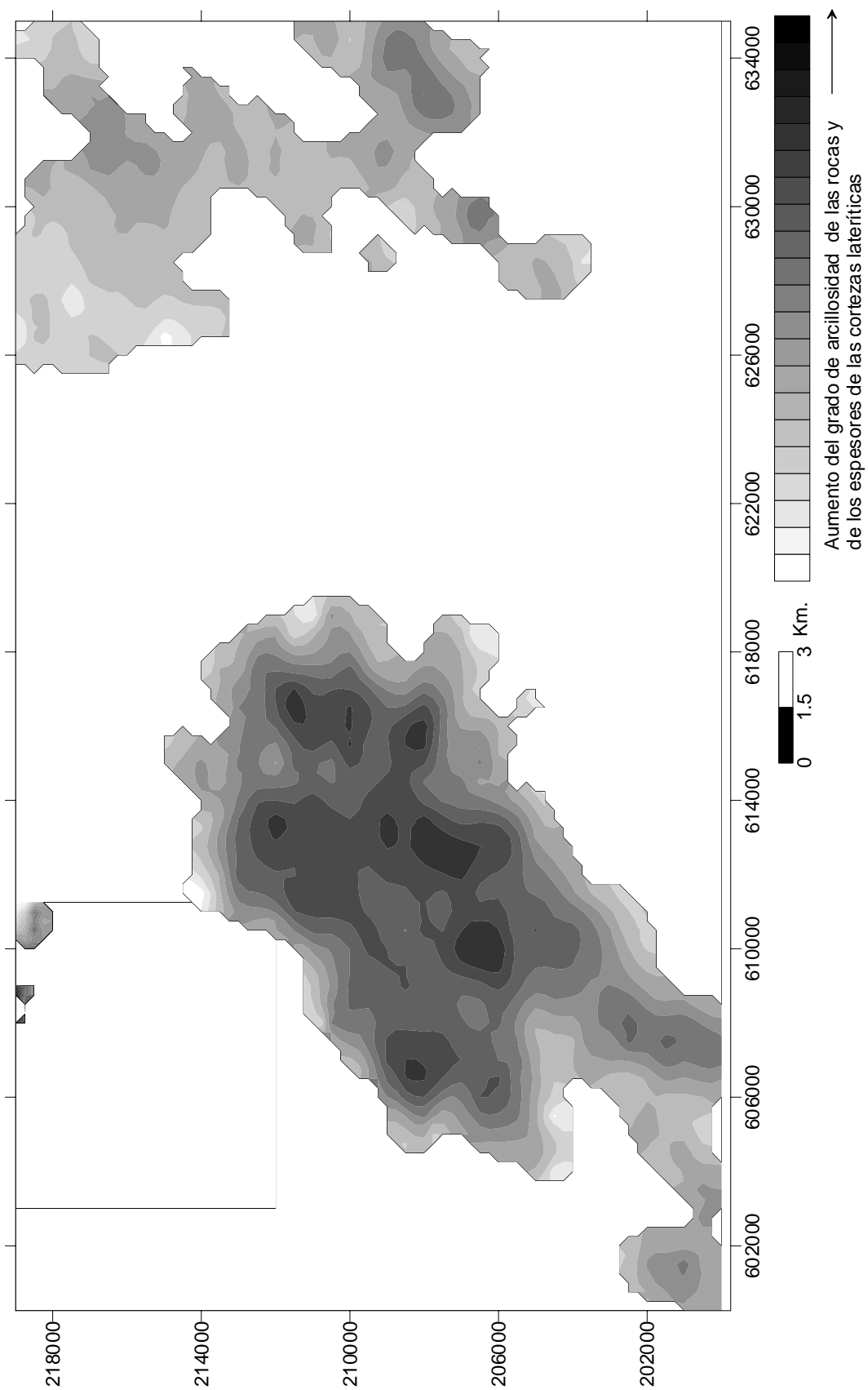


Figura 10. Variaciones en los espesores y arcuosidad de las cortezas lateríticas en el sector Mayarí, según el factor de eU y eTh.

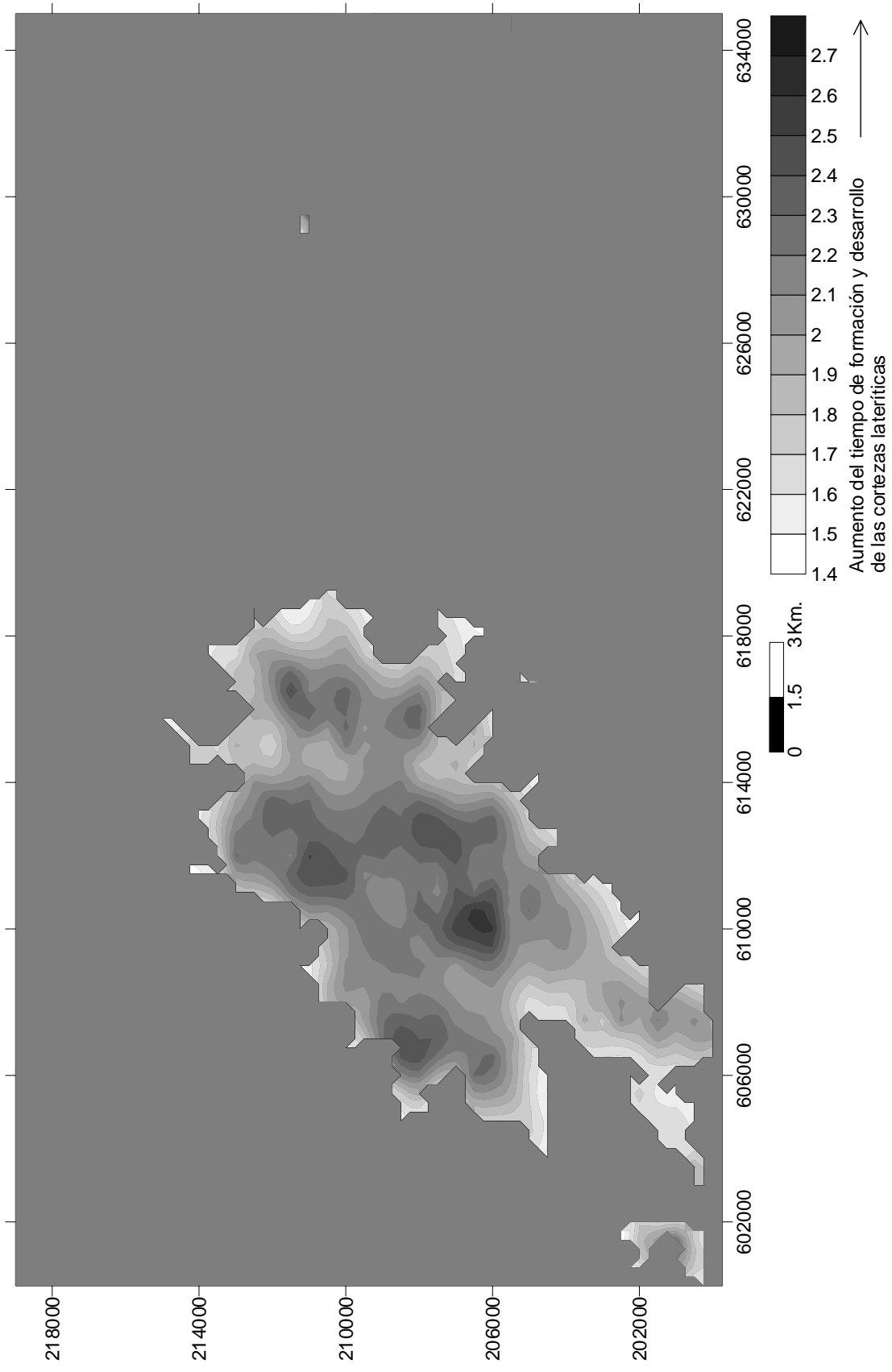


Figura 11. Variaciones en el tiempo de formación y desarrollo de las cortezas lateríticas de Mayarí, según el factor de eTh.