



Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental

Dr. Waldo Lavaut Copa Empresa Geominera de Oriente

Resumen: La parte oriental de Cuba incluye seis macizos de rocas máficas y ultramáficas ofiolíticas con un área total de 3 400 km², de los cuales 835 (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 (5-15 %), con cotas +50 hasta 900 m, desde el maestrichtiano-paleoceno hasta el reciente. La mayor parte del área de los macizos está constituida en un 40-90 % por ultramafitas harzburgitas serpentinizadas 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. Según la composición zonal, se establecen tres tipos litológicos de perfiles de intemperismo: inestructural (con uno o dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibbsíticos); estructural incompleto (con dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibbsíticos y un litotipo estructural limonítico gibbsítico) y estructural completo (con dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibbsíticos, un litotipo estructural limonítico gibbsítico y un litotipo estructural serpentínico-arcilloso limonítico). De forma fluctuante, por debajo de cada perfil ocreo, yacen las zonas litológicas de rocas madres lixivadas 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 pendiente del terreno, el microclima, la fisuración tectónica, y el quimismo y mineralogía de las rocas madres ultramáficas (magnesialidad, ferrosidad-aluminocidad, cantidad y tipo de piroxeno y serpentina), siendo más desfavorables los tipos menos serpentinizados, más antigorizados y más piroxénicos, así como los terrenos con pendientes entre 15 y 35°, y los ubicados en microclimas menos lluviosos (menor de 1 500 mm/año). A tenor, la movilización geoquímica de la sílice y el magnesio para la maduración del perfil litológico de intemperismo va a seguir una tendencia de evolución particular y única en cada localidad, con retención en los terrenos de poca pendiente (menor de 10°) y elevada humedad natural por escaso desagüe o inundación y baja intensidad de la radiación solar (nubosidad, diferenciación climática vertical y estacional). Como consecuencia se generan yacimientos lateríticos de diferente magnitud, con distintas potencia y contenido de componentes útiles (Fe, Ni, Mn, Co, Cr, Ti) y nocivos (Si, Mg, Al) en las menas y con diferente relación mena/escombro.

ABSTRACT: Western Cuba includes six massifs of mafic and ultramafic ophiolitic rocks spread in an area of about 3 400 km of which 835 km (25 % of the total area) are covered with eluvial lateritic crust of 10 m average width, developed in peneplained and low steep terrains (principally inclined 5-15°) at 50 up 900 m height over sea level for a long geological time (Maestrichtian-Paleocen to Recent). The main part of the massif is made of 40-90 % serpentized harzburgite with a tholeiitic oceanic origin (23 % of olivine and 76 % of rhombic pyroxene enstatite).

The lateritic crust of weathering, not depending of the height position in respect to sea level, have a similar lithological structure showing one to six lithological types, with two unstructural zones

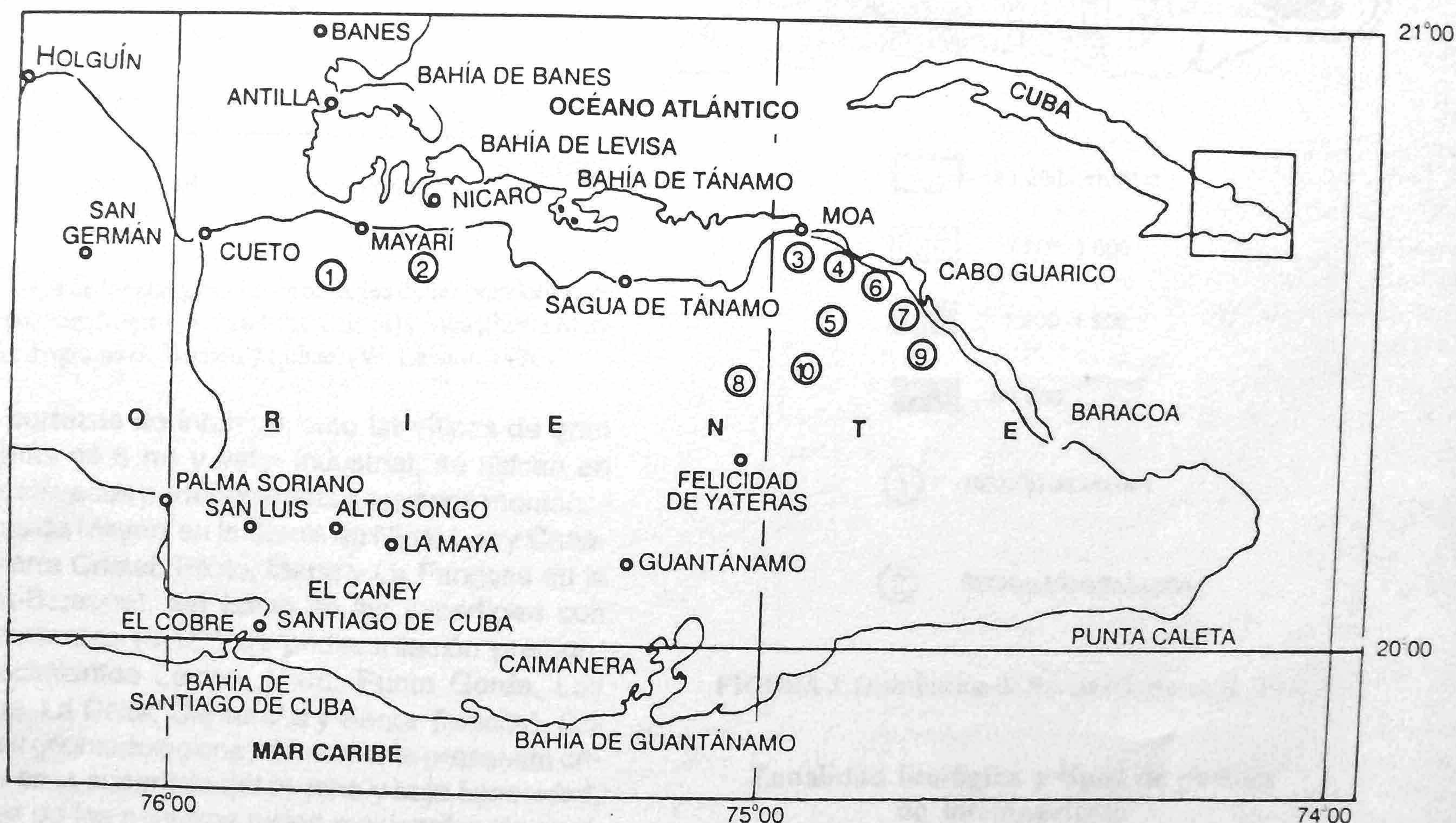
(concretional, earthy) and four structural zones (with relict primary features of mother rocks; dusty, fragmentary), lying immediately under the first ones. In accordance with the zonality three lithological types of profiles of weathering are established: unstructural, having one or two unstructural hematitic-goethitic-gibbsitic lithotypes; reduced structural, with two unstructural hematitic-goethitic-gibbsitic and one structural limonitic-gibbsitic lithotypes; and complete structural, with two unstructural hematitic-goethitic-gibbsitic, one structural limonitic-gibbsitic and one structural limonite-serpentinic clayed lithotypes. Variably, under each ochreous profile lay the lixiviated and desintegrated lithological zones of mother rocks.

The existence, areal distribution and thickness of lithological types of profiles of weathering are controlled by the variation of the slope of terrain surface, the microclimate, tectonic shearing and chemical and mineralogical composition of mother ultramafic rocks (magnesiality, ferrosity, aluminosity, and the quantity of pyroxene and serpentine), being less desfavorable more serpentized, antigoritic and pyroxenitic kinds, as well as the terrains with frequent slopes within 15-35° and those situated in less humid microclimate (< 1 500 mm/year). As a result, geochemical removing of silicium and magnesium needed for the maturation of the profile of weathering is going to have an unique and particular trend of evolution in each locality: with retention in terrains with low slopes (< 10°) and high natural humidity or inundated, and with low intensity of sun radiation (cloudiness, vertical and stationnal climatic differentiation). As a consequence, ore deposits of different size are generated, having different ore width and contents of valuable constituents (Fe, Ni, Mn, Co, Cr, Ti) and noxious (Si, Mg, Al) and the relation ore/overburden.

GENERALIDADES

El territorio de Cuba oriental es el área del país con mayor desarrollo de cortezas de intemperismo lateríticas (Figura 1) dada la coincidencia de varios factores favorables como la amplia propagación de rocas ofiolíticas máficas y ultramáficas, que ocupan un área de unos 3 400 km², agrupadas en seis macizos: Holguín, Nipe-Cristal, Moa-Baracoa, Puriales y Sierra del Convento. Estos macizos fueron obducidos hasta la superficie durante la colapsación de la paleoestructura volcánica de Cuba, manteniendo una elevada base erosional (+50 hasta +900 m) en su mayor área durante un tiempo

geológico no menor de 80-85 millones de años, es decir desde el cenomaniano. Las condiciones climáticas favorables al intemperismo en el área del Caribe, incluida Cuba, desde el cretácico superior (post-campaniano) y la prolongada estabilidad tectónica de estos territorios ofiolíticos, favorecieron la peniplanización (más de 800 km² en Cuba oriental), con el desarrollo de una potente corteza de intemperismo laterítica zonal de 10 m de espesor promedio. Estos peniplanos actualmente son desmembrados por la erosión conjuntamente con la corteza de intemperismo, estableciéndose más de un ciclo erosivo desde la periferia hacia el interior de los mismos con la formación de terrenos cerrosos de menor altura cada vez.



SIMBOLOGÍA

PARA LOS CAMPOS MENÍFEROS LATERÍTICOS

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. YACIMIENTO PINARES DE MAYARÍ | 7. SANTA TERESITA |
| 2. YACIMIENTO NICARO | 8. LA FANGOSA (MONTECRISTO, LAS MUNICIONES, CUPEYAL, PINAR DE CEIBA, CAYO FORTUNA, LA CLARITA) |
| 3. YACIMIENTO MOA | 9. IBERIAS |
| 4. PUNTA GORDA-YAGRUMAJE | 10. PILOTO |
| 5. LAS CAMARIOCAS | |
| 6. CANTARANA-LA DELTA | |

FIGURA 1. Esquema de distribución de los yacimientos niquelíferos de Cuba oriental.

Las rocas madres que componen el sustrato de la corteza de intemperismo son toleítas oceánicas (Figura 2), representadas fundamentalmente por harzburgitas (76 % de olivino y 23 % de ortopiroxeno) y gabroides (gabro olivínico, gabro troctolita, diabasa y otros). Minoritariamente existen otras rocas ultramáficas: lherzolitas, wehrlitas, piroxenitas y dunitas. Los gabroides y dunitas excepcionalmente forman cuerpos relativamente grandes, de más de un kilómetro cuadrado. El grado de serpentización de estas rocas es frecuentemente alto (40-90 %) con variaciones en la intensidad de la serpentización, en forma areal direccional y verticalmente según la potencia (85-90 % en la superficie hasta 30-45 % en profun-

didades someras). Es variable también el tipo de serpentina predominante, teniendo mayor difusión el grado lizardítico de serpentización. La fisuración tectónica de las rocas es muy significativa, por lo que existe dos tipos principales: agrietamiento tectónico masivo (multiplanar, multidireccional) debido a la cinética del spreading, y fracturación tectónica local direccional (fallamiento y milonitización hasta las melanges), producida por los fenómenos geodinámicos de emplazamiento y plegamiento geológica ulterior durante el desarrollo geológico histórico de los territorios. Estas fisuraciones son independientes de la provocada por el intemperismo que se superpone a ambas.

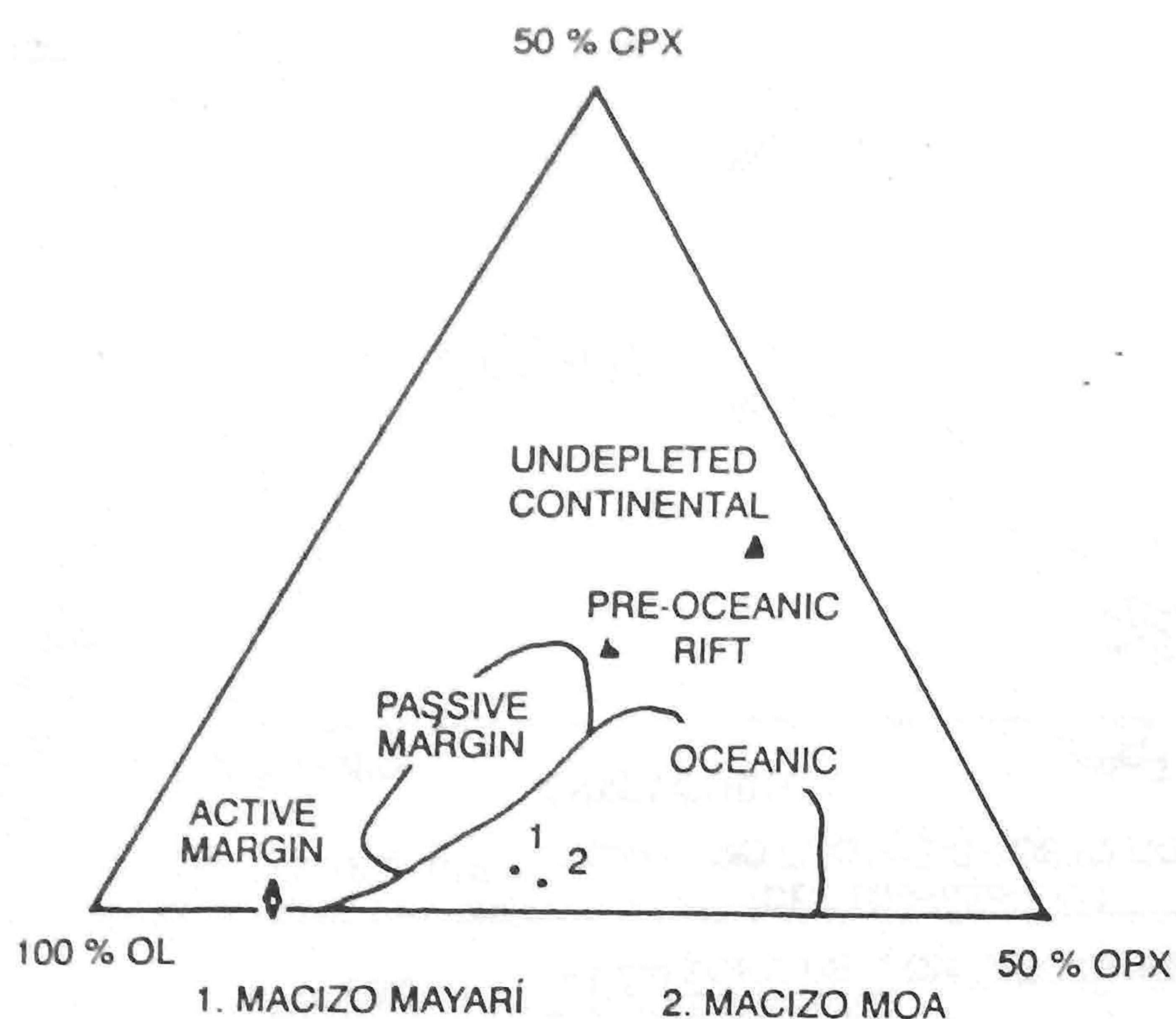


FIGURA 2. Lugar de las composiciones modales de las peridotitas de los macizos ofiolíticos Mayarí (Sierra-Nipe-Cristal) y Moa (Sierra Moa-Baracoa) en el diagrama de Bonatti-Michael (W. Lavaut, 1996).

Las cortezas de intemperismo lateríticas de gran potencia (más de 5 m) y valor industrial, se ubican en peniplanos elevados pertenecientes a terrenos montañosos (Pinares de Mayarí en la Sierra de Nipe; Luz y Canadá en la Sierra Cristal; Piloto, Iberia y La Fangosa en la Sierra Moa-Baracoa), así como en las superficies con suaves pendientes (5-15°) de pedimentación premontañosa (yacimientos Levisa, Martí, Punta Gorda, Las Camariocas, La Delta, Cantarana y Santa Teresita). Estos dos tipos geomorfológicos internamente presentan ondulaciones en la superficie del terreno y baja lomosidad, remanentes de los primeros ciclos erosionales de peniplanización, lo que indica que esta no concluyó.

Las condiciones microclimáticas de los territorios con corteza de intemperismo de importancia industrial (Sierras de Nipe-Cristal y Moa-Baracoa) muestran los niveles promedios más altos de lluvia en Cuba oriental: 2 000 y 3 000 mm/año respectivamente (Figura 3), donde las fluctuaciones diarias y estacionales de temperatura son muy significativas, (hasta 10-15 °C), considerando la diferencia climática vertical. Los niveles de radiación solar, rehumectación y drenaje del terreno presentan ciclos diarios y estacionales significativos. La temperatura media del aire es en el invierno 22-26 °C y en verano 30-32 °C. El módulo de infiltración subterránea de las aguas alcanza 10-25 L/s para 1 km². Los terrenos lateríticos están surcados por un sistema hidrográfico importante, compuesto por cañadas, arroyos y pequeños ríos que desembocan en arterias fluviales regionales como los ríos Mayarí, Levisa, Sagua, Moa, Cayo Guam, Jiguaní, Toa, y otros, lo que unido a la altitud de la base erosional,

condiciona un enérgico drenaje hidráulico, favorecido por la porosidad de los terrenos lateríticos, lo que provoca la erosión parcial de estos y la transportación de los limos lateríticos al shelf oceánico.

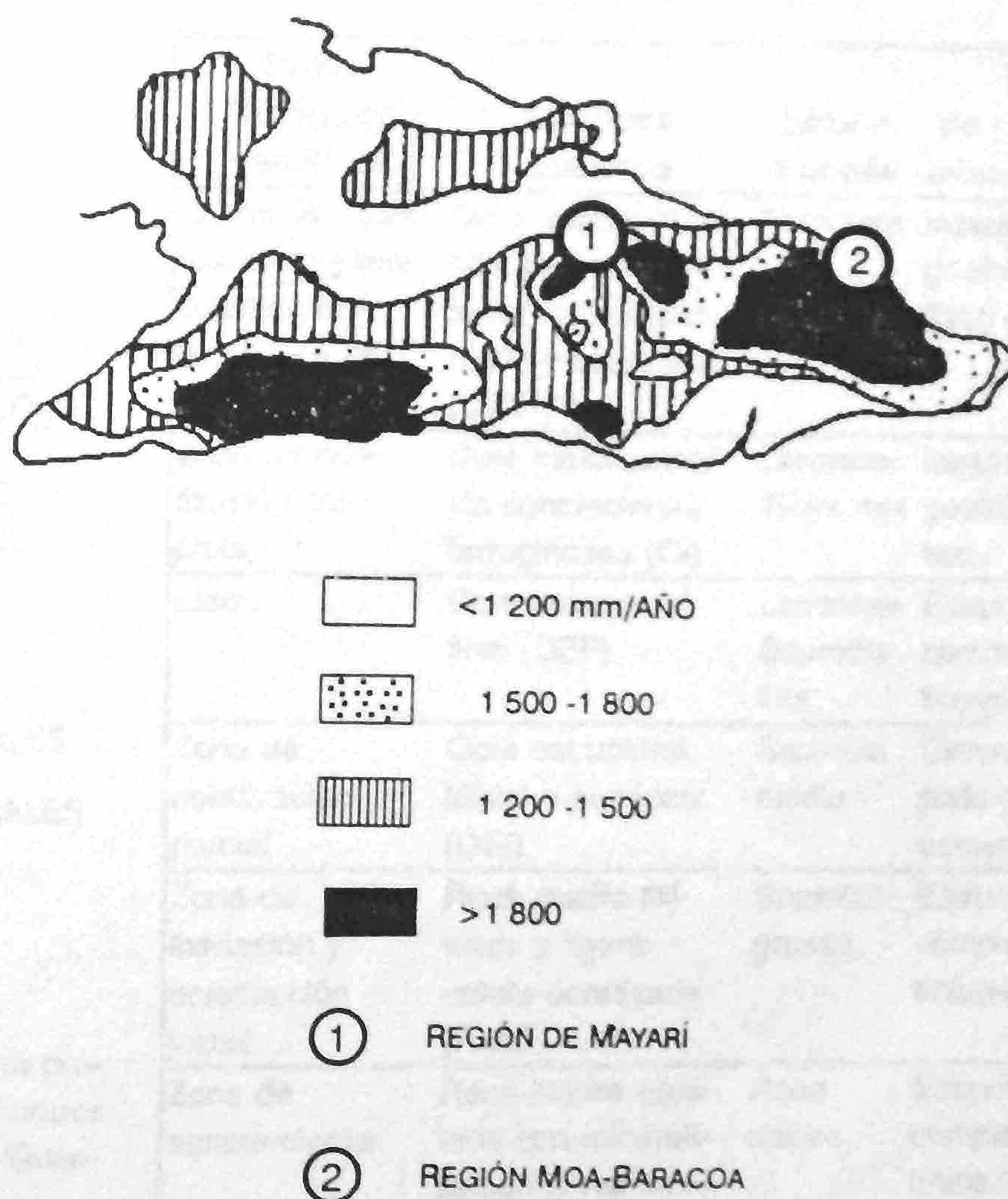
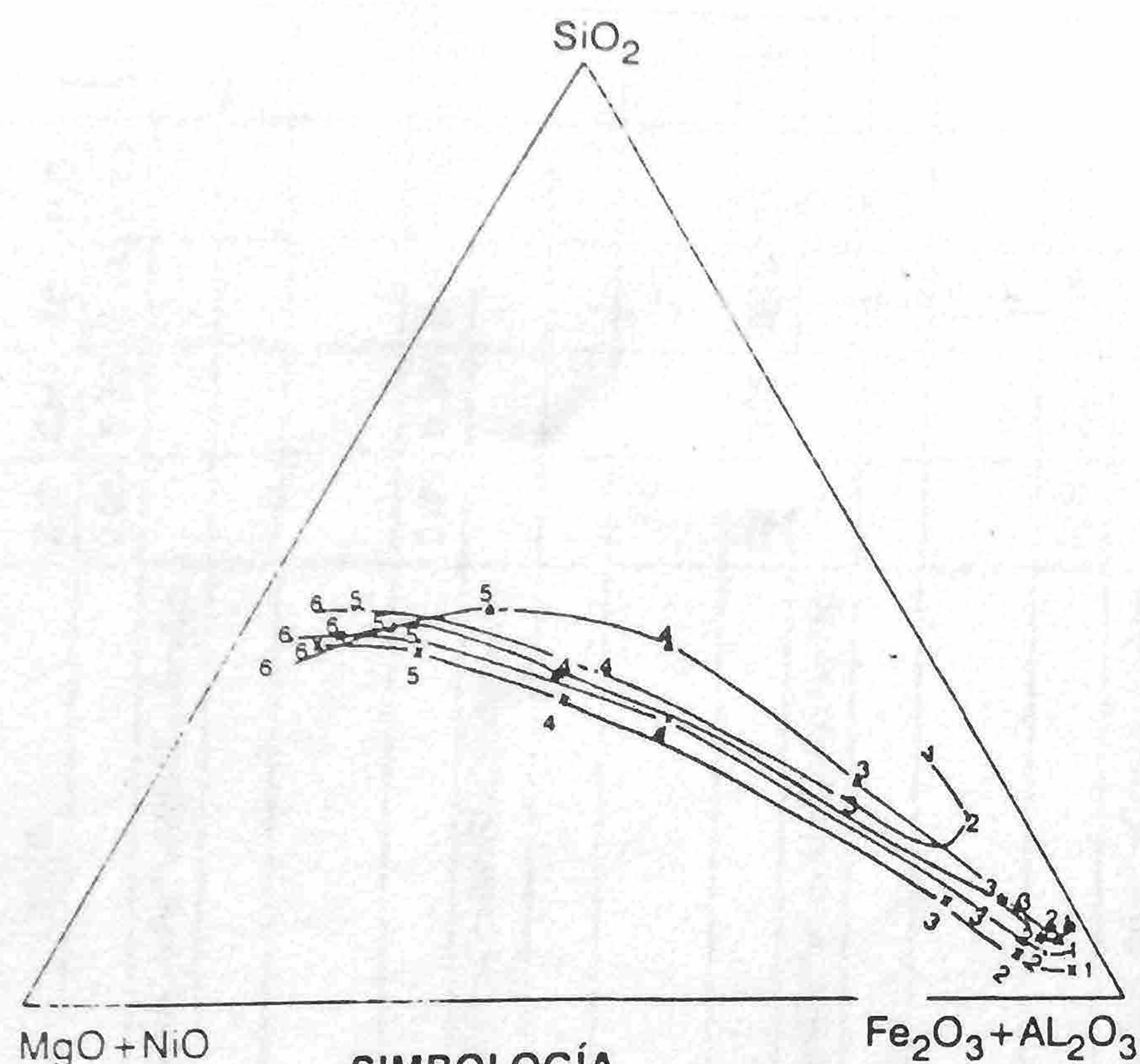


FIGURA 3. Distribución de lluvias (Gagua *et al.*, 1976).

Zonalidad litológica y tipos de perfiles de intemperismo

La estructura litológica de las cortezas de intemperismo lateríticas de Cuba oriental, definida por factores genéticos, se expresa fehacientemente por su zonalidad vertical y tipos de perfiles. La zonalidad litológica de un perfil completo de intemperismo (Figura 4) comprende seis litotipos: dos inestructurales superficiales y cuatro estructurales internos que componen las partes central y baja de la corteza de intemperismo por debajo de los cuales yace la roca madre no intemperizada (Tablas 1 y 2).

La potencia, zonalidad y tipo de perfil de la corteza de intemperismo localmente dependen de las características microclimáticas (régimen de lluvias y temperaturas), geomorfológicas (pendiente del terreno) y tipo de roca madre (composición química y mineral) sobre la cual se desarrolla la corteza de intemperismo y su grado de fisuración tectónica. La combinación de estos factores condiciona genéticamente la diversidad de perfiles, y por tanto el valor industrial de la corteza de intemperismo.



| YACIMIENTOS | ZONALIDAD LITOLÓGICA DE LA CORTEZA DE INTEMPERISMO |
|-------------------|--|
| PILOTO | 1 ZONA DE CONCRECIONES FERROSAS |
| MONTECRISTO | 2 ZONA DE OCRES INESTRUCTURALES |
| LAS CAMARIOCAS | 3 ZONA DE OCRES ESTRUCTURALES FINALES (LIMONÍTICOS) |
| PUNTA GORDA | 4 ZONA SEMIOCRES ESTRUCTURALES (SERPENTÍNICO-ARCILLOSOS) |
| PINARES DE MAYARÍ | 5 ZONA DE LIXIVIACIÓN |
| | 6 ZONA DE AGRIETAMIENTO |

FIGURA 4 Diagramas de composición con las tendencias de los procesos de intemperismo de ultramafitas en diferentes condiciones geomorfológicas y microclimáticas en las regiones de Moa, Guantánamo y Mayarí.

Así las cortezas de mayor (>10 m), mediana (5-10 m) y poca (< 5 m) potencia, se han desarrollado en terrenos con pendientes entre 5-10°; 10-15° y 20-30° respectivamente. El ángulo crítico para la conservación de la laterita se considera 35°. Al mismo tiempo, para semejantes pendientes del terreno y de la roca madre, las cortezas más potentes se han formado en regiones con microclimas de abundantes precipitaciones atmosféricas, verbigracia: región Moa-Baracoa. Las cortezas menos potentes se ubican sobre las rocas poco serpentinizadas, muy piroxénicas o antigoríticas.

El grado de difusión de los perfiles completos de intemperismo se controla por la existencia de un sistema equilibrado de los factores meteorizantes que condiciona el desarrollo de todas las zonas litológicas por la vía de la transición paulatina de una parte del material de una zona a la otra, con la conservación de todas ellas al mismo tiempo. Generalmente se hallan en cortezas potentes areales, lineales o mixtas bajo una fuerte influencia del manto freático sobre la mitad inferior de la corteza de intemperismo (alta hidratación o inundación), facilitado por microclimas lluviosos (2 000-3 000 mm/año). Estadísticamente estos perfiles son más comunes en la región

Moa-Baracoa, predominando en el yacimiento Punta Gorda (87 %), Las Camariocas (67 %) y Piloto (75 %). También existen en la región de Mayarí yacimientos Ocujaí, Ramona, Martí, Canadá, y muy poco en Pinares de Mayarí.

TABLA 1. Estructura litológica de las cortezas de intemperismo de ultramafitas de Cuba oriental (W. Lavaut, 1987)

| Zonas litológicas genéticas | Litotipos cubanos | Léxico francés | Tipos de perfiles de intemperismo ² |
|---|--|--------------------------|---|
| Zonas de deshidratación y globulación de hidróxidos de hierro | Ocre inestructural con concreciones ferruginosas (perdigón y coraza) (OICP) ⁽¹⁾ | Ferricreta | Inestructural goethítico-hematítico gibbsítico |
| Zona de ocreización completa | Ocre inestructural sin concreciones ferruginosas (OI) | Limonita= Tierra roja | Inestructural goethítico-gibbsítico |
| Idem. | Ocre estructural final (OEF) | Limonita= Saprolita fina | Estructural incompleto goethítico-gibbsítico |
| Zona de ocreización parcial | Ocre estructural inicial o semiocre (OEI) | Saprolita media | Estructural completo goethítico-serpentinico |
| Zona de lixiviación y ocreización inicial | Roca madre lixiviada y ligeramente ocreizada (RML) | Saprolita gruesa | Estructural incompleto serpentinico-arcilloso |
| Zona de agrietamiento | Roca madre agrietada con mineralización zonal hipergénica filoniana y masiva (RMA) | Roca madre | Estructural incompleto serpentinico querolítico |

Roca madre no intemperizada (RMF)

Entre paréntesis: las siglas de los litotipos, según la terminología actualmente empleada en Cuba (W. Lavaut, 1987), así como la terminología de la escuela francesa (P.S., con modificaciones por el autor); J.J. Trescases (Nueva Caledonia) denomina «Saprolita» a todos los litotipos estructurales de intemperismo *in situ* y J.P. Golightly (INCO Metals Ltd. Canadá) considera «Saprolita» solamente los litotipos ocres estructurales iniciales y las rocas madres lixiviadas, por lo que es un término vago para aplicaciones litológicas.

² La denominación de los perfiles presupone la existencia de las zonas litológicas ubicadas por encima (en el caso del perfil estructural completo, también por debajo). Las zonas de las rocas madres lixiviadas y agrietadas constituyen la base (fondo) de todos los tipos de perfiles. En caso de ausencia de la laterita, estas zonas constituyen perfiles estructurales incompletos serpentinicos.

Los perfiles estructurales incompletos (limoníticos) se desarrollan en terrenos con drenaje más intenso de las aguas o menos lluviosos, que mantienen condiciones oxidantes aerobias prácticamente en todo el espesor de la parte friable de la corteza de intemperismo. Se encuentran ampliamente difundidos en la meseta de Pinares de Mayarí, periferia del yacimiento Las Camariocas y están presentes en casi todos los yacimientos.

TABLA 2. Característica geoquímica promedio de las cortezas de Intemperismo de rocas ultramáficas de Cuba oriental. (Quilismo y minerales en %)

| Zonas litológicas | Peso volumétrico (g/cm³) | Potencia promedio (m) | Fe ₂ O ₃ | FeO | NiO | CoO | SiO ₂ | MgO | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | MnO | TiO ₂ | Na ₂ O | K ₂ O | CaO | SO ₄ | P ₂ O ₅ | PPI |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|------|------------|-----------|------------------|----------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------------------|---|------------------|------|-----------------|-------------------------------|-------|
| OICP | 1,516 | 2,10 | 59,24 | 0,33 | 0,60 | 0,051 | 6,98 | 1,09 | 14,47 | 2,64 | 0,42 | 0,49 | 0,07 | 0,05 | 0,35 | 0,14 | 0,03 | 12,91 |
| | | MG= | -37,9 | - | -61,9 | -69,9 | -19,6 | -46,4 | 0 | -32,9 | -63,7 | 50 | Ti>Al>Si>Cr>Fe ³⁺ >Mg>Ni>Mn>Co | | | | | |
| | | | Goet.=64,1 | | | MtMg=1,24 | | Mn=0,81 | | Crom=3,00 | | | | | | | | |
| OI | 1,27 | 1,99 | 64,35 | 0,31 | 1,06 | 0,114 | 5,85 | 1,37 | 9,75 | 2,65 | 0,78 | 0,22 | 0,07 | 0,05 | 0,36 | 0,15 | 0,03 | 12,23 |
| | | MG= | -16,7 | - | -37,5 | -54,8 | -46,3 | -68,6 | 0 | -19,8 | -59,7 | 24,1 | Ti>Al>Fe ³⁺ >Cr>Ni>Si>Co>Mn>Mg | | | | | |
| | | | Goet.=69,7 | | | MtMg=1,27 | | Mn=0,99 | | Crom=3,16 | | | | | | | | |
| OEF | 1,04 | 5,04 | 60,98 | 0,33 | 1,34 | 0,199 | 8,61 | 3,45 | 7,70 | 2,61 | 1,53 | 0,14 | 0,07 | 0,05 | 0,35 | 0,14 | 0,03 | 12,09 |
| | | MG= | 38,5 | - | -37,9 | 136,3 | -77,4 | -83,9 | 0 | 13,7 | 101,2 | -35,6 | Co>Mn>Fe ³⁺ >Cr>Al>Ti>Ni>Si>Mg | | | | | |
| | | | Goet.=65,0 | | | MtMg=1,21 | | Mn=1,87 | | Crom=3,02 | | | | | | | | |
| OEI | 0,96 | 2,54 | 32,43 | 0,81 | 1,59 | 0,062 | 28,1 | 15,75 | 5,67 | 1,69 | 0,56 | 0,16 | 0,07 | 0,05 | 0,37 | 0,09 | 0,03 | 11,76 |
| | | MG= | -9,3 | - | -49,6 | -12,2 | -65,5 | -73,7 | 0 | -4,2 | 5,8 | 81,3 | Ti>Mn>Al>Cr>Fe ³⁺ >Co>Ni>Si>Mg | | | | | |
| | | | Goet.=33,3 | | | MtMg=2,56 | | Mn=0,69 | | Crom=2,04 | | | | | | | | |
| RML | 1,36 | 2,19 | 16,20 | 1,08 | 1,43 | 0,032 | 36,88 | 27,16 | 2,57 | 0,80 | 0,24 | 0,04 | 0,07 | 0,05 | 0,40 | 0,09 | 0,02 | |
| | | MG= | -20,4 | - | 14,9 | -50,7 | -64,1 | -72,2 | 0 | -24,2 | -31,8 | -26,1 | Ni>Al>Fe ³⁺ >Cr>Ti>Mn>Co>Si>Mg | | | | | |
| | | | Goet.=14,6 | | | MtMg=2,38 | | Mn=0,31 | | Crom=1,46 | | | | | | | | |
| RMA | 2,26 | 7,40 | 7,52 | 2,12 | 0,46 | 0,024 | 37,9 | 36,13 | 0,95 | 0,39 | 0,13 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,41 | 0,1 | 0,02 | |
| | | MG= | 6,6 | - | 30,2 | 51,6 | -18,4 | -25,7 | 0 | -31,9 | -2,9 | -17,9 | Co>Ni>Fe ³⁺ >Al>Mn>Ti>Si>Mg | | | | | |
| | | | Goet.=5,9 | | | MtMg=3,16 | | Mn=0,16 | | Crom=1,04 | | | | | | | | |
| RMF | 2,525 | nx1 000 (n < 12) | 5,79 | 3,01 | 0,29 | 0,013 | 38,2 | 39,92 | 0,78 | 0,47 | 0,11 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,33 | | | |
| | | | Oliv.=37,0 | | Ortpx=20,0 | | | Clpx=1,3 | | Serpent.=41,7 | | | | | | | | |

MG=Movilidad geoquímica: Acumulativos>0; Inertes=0; Poco móviles (0,-30); Móviles (-30,-60); Muy móviles (-60,-100). El cuarzo es hipergénico (ópalo, calcedonia, marshallita principalmente). Goet.=Goethita; Gib.=Gibbsita; Arc.=Arcillas; MtMg=Magnetita+Maghemita; Mn=Minerales mangániferos; Crom=Cromoespinelas; Oliv=Olivino; Ortpx=Ortopiroxeno; Clpx=Clinopiroxeno; Serpent=Serpentina.

Los perfiles inestructurales son típicos de cortezas de intemperismo poco potentes, surgidas en terrenos con un drenaje muy intenso de las aguas en condiciones de fuertes pendientes (20-30°), o en lugares llanos poco lluviosos (< 1 000 mm/año), así como en rocas madres resistentes al intemperismo (ultramafitas antigoríticas o piroxenitas). Ellos existen tanto en la región de Moa (Cupey, periferias de la Delta y Las Camariocas) como en Mayarí (Levisa, Pinares de Mayarí y otros) ver Figuras 1 y 3.

A la laterita, como a otras formaciones geológicas en condiciones de intemperismo superficial, le es inherente el desarrollo de deluvios, coluvios y proluvios en su parte superficial, en dependencia de la intensidad de la lluvia, la pendiente del terreno, y la densidad y tipo de vegetación localmente presentes. En la región de Moa, cerca del litoral, se han establecido rocas sedimentarias con un significativo aporte del material de las cortezas de intemperismo *in situ*, surgidas en condiciones de shelf o lagunares. Este proceso continúa en la actualidad debido a la erosión y transportación al océano del material laterítico, principalmente por las corrientes de agua. Tales formaciones no son cortezas de intemperismo propiamente, aunque en condiciones continentales también se han sometido a los procesos de intemperización, por lo que es necesario tratarlas con mucho cuidado. Los datos aquí expuestos abarcan solamente las cortezas lateríticas *in situ*.

Dinámica geoquímica

El proceso de generación meteórica de las zonas litológicas ocurre bajo la acción de tres fenómenos geoquímicos básicos: hidratación, lixiviación e hidrólisis en soluciones naturales químicamente agresivas.

La hidratación inicial provoca una intensa serpentinización de la ultramafita, facilitando la lixiviación de los elementos químicos alcalinos (Na, K, Ca, Mg) y del silicio de los silicatos con la acumulación simultánea del resto de los elementos químicos que componen la roca: Al, Ti, Fe, Cr, Ni, Co, V, Cu, Zn, Zr, Mn, Nb, Ga, Au, Pt, Pd y otros (Figuras 5 y 6), lo cual es típico del estadio inicial del proceso de intemperismo de las ultramafitas. El estadio final consiste en la hidrólisis de los productos intermedios del intemperismo, con la generación de ocre (goethización y gibbsitización) y la redistribución geoquímica de parte de los elementos químicos residuales que adquieren movilidad total o parcial en este medio geoquímico (Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn, Co, Ni, Au, Pt, Pd). Durante la hidrólisis final en medio ácido (pH de 3 a 5) en la parte superior inestructural de la corteza de intemperismo se produce la removilización parcial del Fe^{3+} y Cr^{3+} paralelamente desde la zona de concreciones, concentrándose en la zona infrayacente de los ocre inestructurales sin concreciones ferruginosas. Al mismo tiempo, el silicio experimenta una sensible reducción de su poder migracional con tendencia a la acumulación en estado libre (marshalita, ópalo y cuarzo en drusas y cepillos a veces) pero en bajas concentraciones, de 1 a 4 % como promedio.

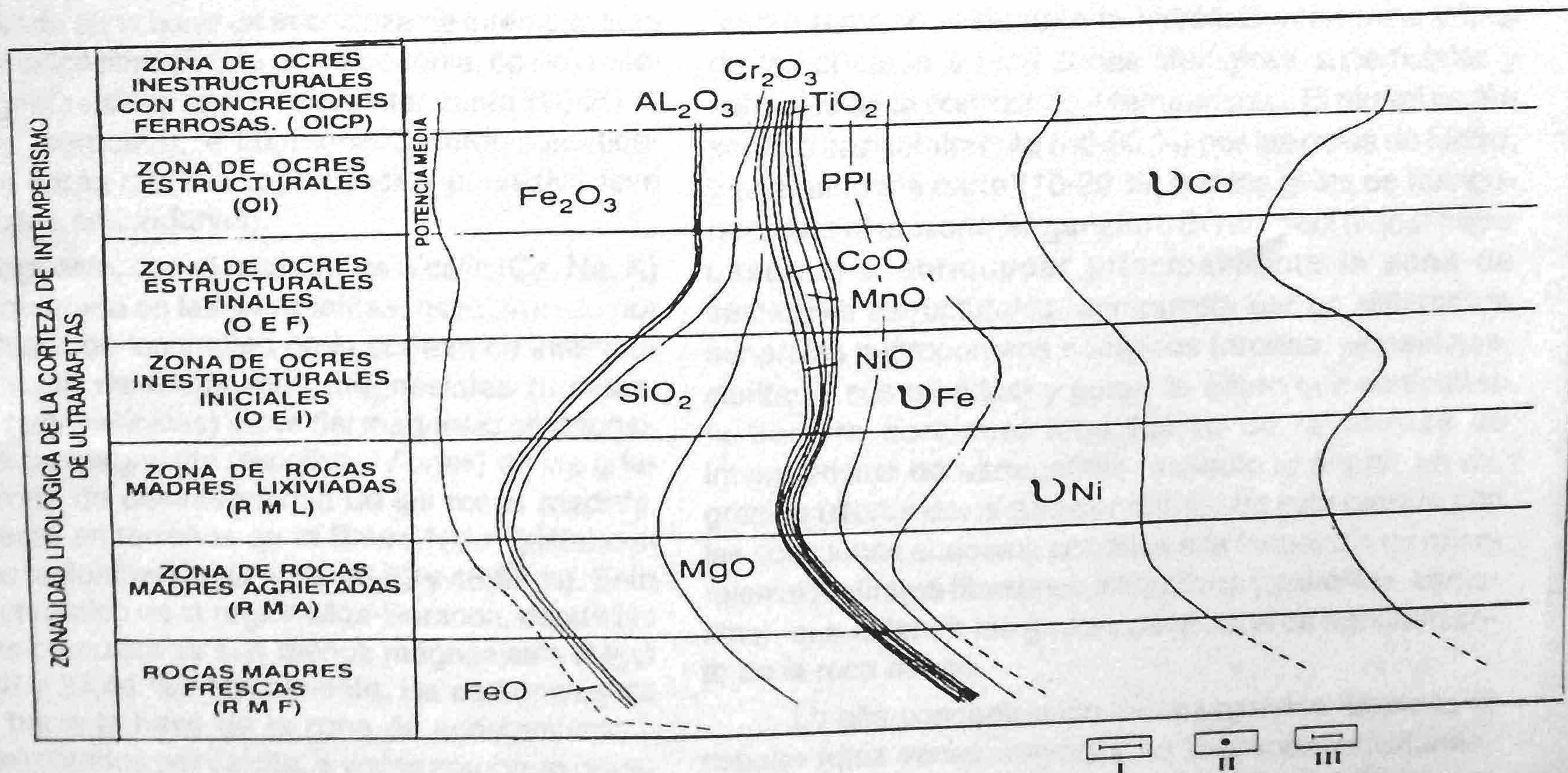


FIGURA 5. Diagrama de distribución de los macroelementos en la corteza de intemperismo de rocas ultramáficas de Cuba oriental. Aclaración: Para mejor graficación se aumentó la escala: $\text{MnO} \times 2$, $\text{Ti}_2\text{O}_3 \times 100$ y $\text{CoO} \times 200$; v = coeficiente de variación de los contenidos Fe, Ni, Co.

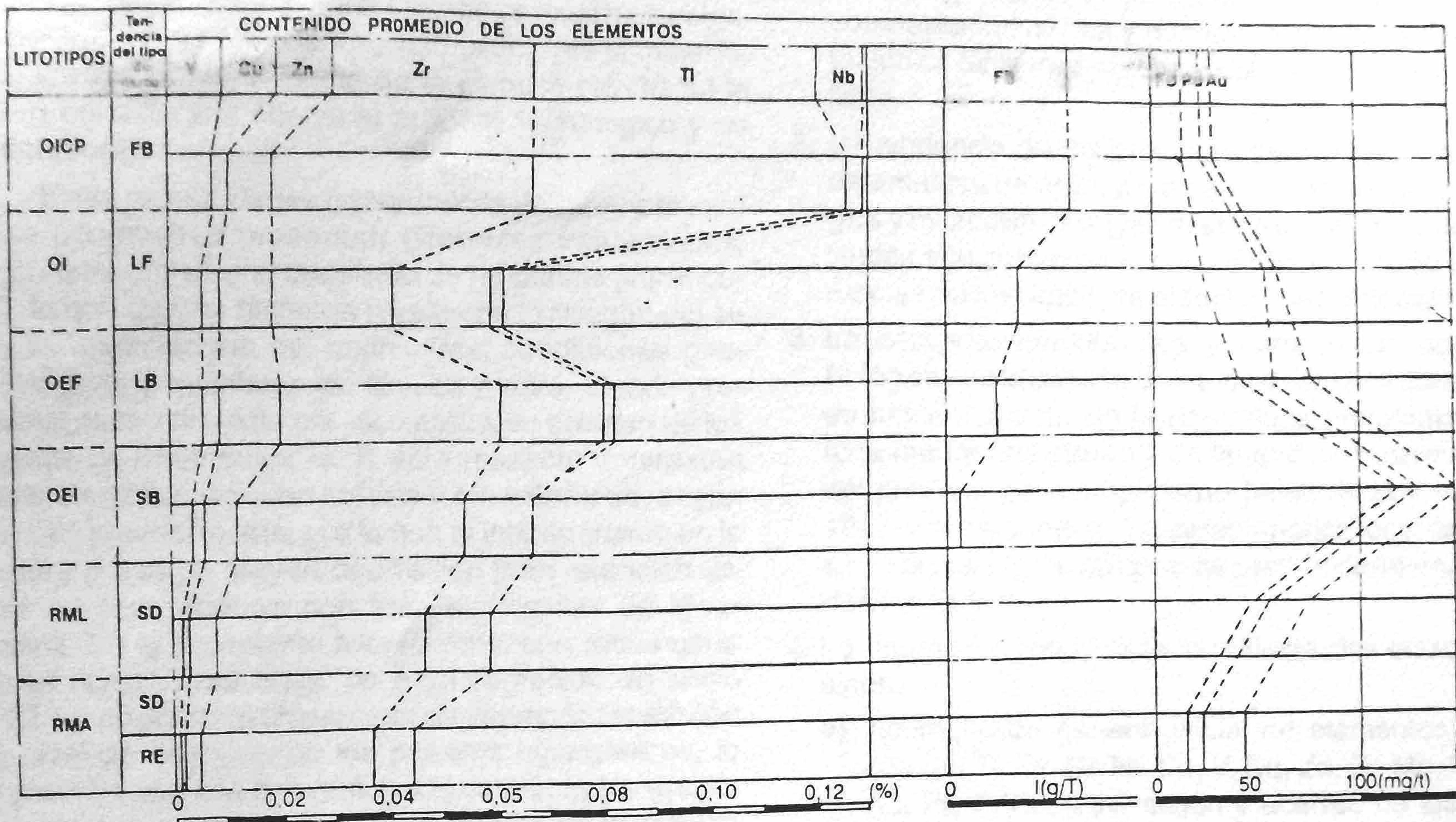


FIGURA 6. Diagrama de distribución de los microelementos en las menas y litotipos de la corteza de intemperismo de ultramafitas de Cuba oriental. Tipos de menas: FB=Ferruginosas LF, LB=Limoníticas SB, SD=Serpentínicas RE=Estéril.

La parte principal de la sílice lixiviada es acarreada y depositada en la base de la corteza de intemperismo en forma de sílice libre (5-6 % de calcedonia, ópalo) rellenando las grietas de la zona de agrietamiento (10-20 % de querolita, serpofita), e impregnando metasomáticamente a las rocas madres (opalitización pervasiva leve hasta cuarcitas secundarias).

El magnesio, con el resto de los álcalis (Ca, Na, K) de ínfimo contenido en las ultramafitas, es acarreado por las aguas fuera de los límites de la corteza de intemperismo. En caso de rocas muy magnesianas (dunitas, peridotitas muy olivínicas) parte del magnesio se deposita en forma de magnesita (repollos, riñones) en las grietas de la zona de desintegración de las rocas madres, principalmente en terrenos de la Sierra Nipe-Cristal con ultramafitas tectonitas (MgO entre 45,53 y 46,97 %). Esto no es característico de la región Moa-Baracoa, donde las ultramafitas cumulativas son menos magnesianas (MgO entre 35,80 y 37,44 %). Usualmente, los carbonatos se depositan hacia la base de la zona de agrietamiento y están representados por calcita, a veces con cierto grado de contaminación con magnesio y sílice. La parte superior de la zona de agrietamiento se rellena con minerales infiltrativos silicáticos (querolita, serpofita, ópalo) generalmente más niquelíferos y abundantes hacia el techo de esta zona (menas de tipo serpentínica dura, SD) y estériles en la parte central e inferior, donde su cantidad disminuye significativamente.

El níquel, el manganeso y el cobalto son energicamente removidos durante la hidrólisis intermedia y final de los silicatos en las zonas litológicas superficiales y centrales de la corteza de intemperismo. El níquel es absorbido casi totalmente (60-90 %) por las geles de hierro, y una pequeña parte (10-20 %) por las geles de manganeso que al unísono se generan. El resto del níquel migra pasando a enriquecer principalmente la zona de semiocres estructurales, compuesta por un sistema de minerales microporosos silicáticos (arcillas, serpentinas, cloritas y sus híbridos) y geles de hierro que conforman la barrera sorcional más fuerte de la corteza de intemperismo de ultramafitas respecto al níquel. La migración ulterior del níquel por debajo de esta barrera con las soluciones acuosas, conduce a la formación de minerales niquelíferos filonianos infiltrativos (querolitas, serpofitas), que rellenan las grietas de la zona de agrietamiento de la roca madre.

La alta concentración del manganeso respecto al cobalto (diez veces mayor) y su liberación simultánea, conducen a la sorción de casi todo el Co (80-90 %) por los minerales de manganeso (asbolanas y otros), principalmente amorfos, en base a la afinidad geoquímica de estos elementos, concentrándose ambos en la zona de ocreos estructurales finales, en la parte central de la corteza de intemperismo de ultramafitas.

Esto conduce a un sensible empobrecimiento del contenido de Ni, Co y Mn de las zonas inestructurales, que por lo general son escombreadas durante la minería, unido al incremento sensible de la gibbsita (15-30 %) la cual es considerada nociva al proceso tecnológico y no es portadora de níquel.

Estas regularidades geoquímicas del intemperismo de las ultramafitas presentan diferentes intensidades, según se muestra en el diagrama de tendencia (ver Figura 4), lo que denota distintos niveles de lixiviación del silicio, en dependencia del microclima, condiciones geomorfológicas y quimismo de la roca madre, siendo preponderante la influencia microclimática en el curso de los procesos de intemperismo. A este respecto contrastan grandemente las regiones Mayarí y Moa-Baracoa, según se señaló anteriormente, por lo que el intemperismo en la meseta Pinares de Mayarí ocurre con gran retención del silicio en comparación con los yacimientos de Moa-Baracoa. En el yacimiento Montecristo, con rocas ultramáficas cumulativas altas, de gran contenido de silicio (41,02 %), se observa un proceso de intemperización con bajo nivel de hidrólisis de los silicatos hipergénicos, lo que provoca una alta concentración de minerales arcillosos en todas las zonas litológicas friables de la corteza de intemperismo (19,32-28,62 %), constituyendo las peores condiciones de hipergénesis de la región Moa-Baracoa.

A tenor de estas regularidades, los litotipos de la corteza de intemperismo se diferencian intrínsecamente de un yacimiento a otro, provocando disimilitudes en las características tecnológicas y la potencialidad económica de los yacimientos, incluso dentro de ellos mismos. El potencial económico del yacimiento dependerá también de la proporción existente de perfiles inestructurales, lo cual es función principalmente de las condiciones geomorfológicas del terreno: grado de difusión de las pendientes abruptas (20-30°) y nivel de amesetamiento alcanzado.

CONCLUSIONES

1. La zonalidad litológica de la corteza de intemperismo de rocas ultramáficas en Cuba oriental, no es función de la altimetría del terreno respecto al nivel del mar,

sino del gradiente de peniplanización (pendientes), la composición química y mineral, el grado de fisuración tectónica de la roca madre, y del microclima de la localidad.

2. La tendencia de los procesos de intemperización de ultramafitas es única para cada localidad geomorfológica y microclimática (yacimiento) con marcadas disimilitudes aún dentro de la misma región, siendo las diferencias microclimáticas el factor más determinante.
3. La composición química y mineral de las zonas litológicas de la corteza de intemperismo de ultramafitas es función directa de la naturaleza petrológica de la roca madre (substrato) y de la tendencia de evolución del proceso de intemperismo (nivel de lixiviación del silicio y el magnesio). La característica local se expresa en la proporción de tipos de perfiles de intemperismo desarrollados.
4. La migración geoquímica manifiesta dos estadios básicos:
 - a) Acumulación general inicial de elementos metálicos (Al, Ti, Fe, Cr, Ni, Co, V, Cu, Zn, Zr, Mn, Nb, Ga, Au, Pt, Pd) con lixiviación y acarreo de los álcalis (Na, K, Ca, Mg) y el silicio.
 - b) Redistribución parcial vertical de elementos metálicos (Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn, Ni, Co, Au, Pt, Pd) según las barreras geoquímicas (sorcionales, cambios de pH).
5. El potencial económico de la corteza laterítica de ultramafitas es determinado por los factores geológicos señalados, en dependencia principalmente del proceso tecnológico de procesamiento de las menas y el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- Bulletin du Bureau de Recherches Geologiques et Minières*, no. 3, Paris, 1978.
- GOLIGHTLY, J.P.: *Nickeliferous laterite deposits. Economic Geology*, 75th Anniversary volume, pp. 710-735, 1981.
- KARTASHOV, I.P. et. al.: *Antropógeno de Cuba*, XI Congreso INQUA, Nauka, 1982 (en ruso).
- LAVAUT, W.L.: *Control litológico-mineralógico de la mineralización en el campo mineral: Yacimientos Punta Gorda, Las Camariocas y Piloto*, Tesis doctoral, Moscú, 1987.

APROVECHAMIENTO DE RECURSOS MINERALES

