

## EXCURSION NO. 8: LAS MENAS LATERITICAS DE Fe-Ni-Co DE CUBA ORIENTAL.

AUTORES: Francisco Formell (\*)

Waldo Lavaut (\*\*)

(\*) INSTITUTO DE GEOLOGIA Y PALEONTOLOGIA

(\*\*) EMPRESA GEOLOGO-MINERA DE SANTIAGO DE CUBA

### INTRODUCCION.

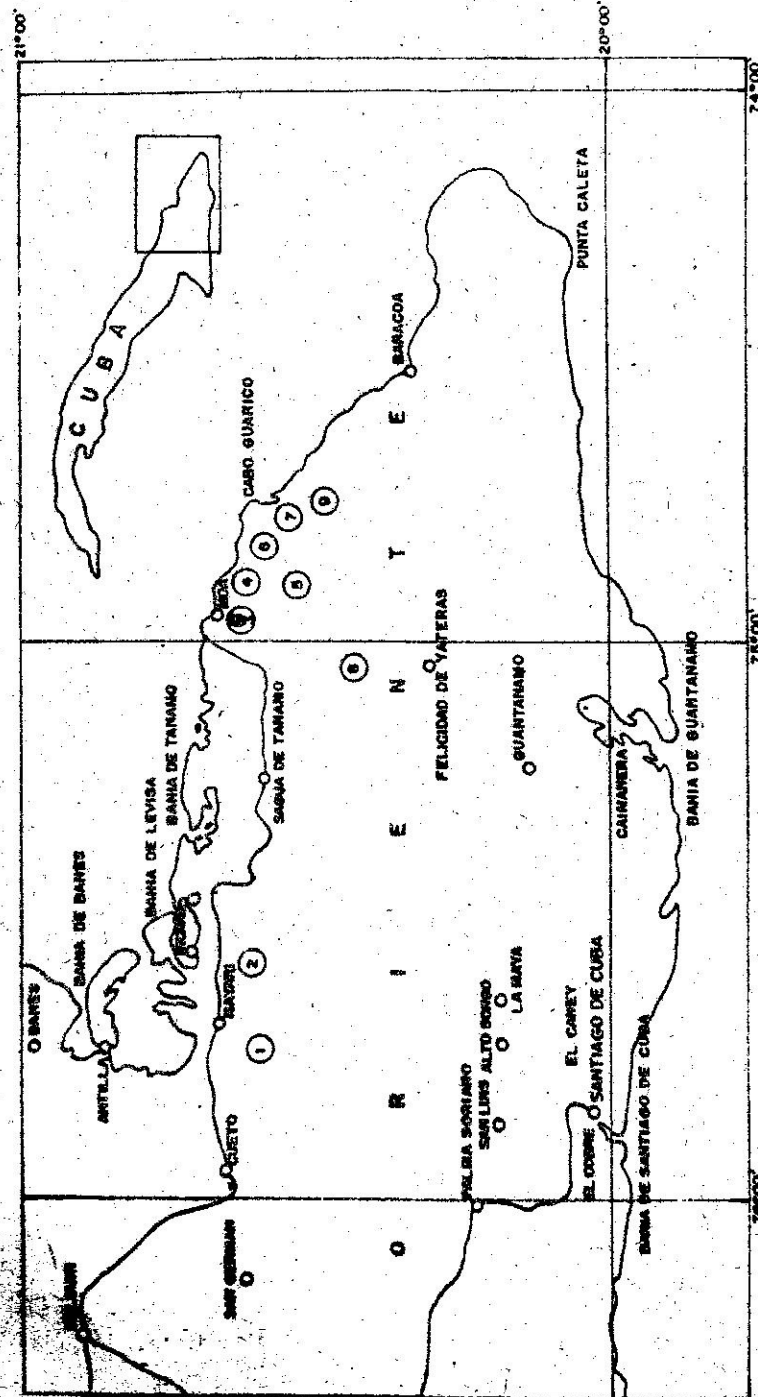
El descubrimiento de las lateritas de Cuba se le atribuye al europeo Cristobal Colón, el cual en su primer viaje a América en 1492, desde la desembocadura del río Moa las pudo observar, describiéndolas en su diario como "piedras de color de hierro". Sin embargo, no fué sino casi cuatrocientos años después, en 1905 que, como consecuencia de las afanosas búsquedas de mineral de hierro en la Isla, iniciadas en la primera mitad del siglo XVI, la compañía hispano-americana Bethlehem Cuban Iron Co. comienza a utilizar las lateritas cubanas como mineral de hierro, obteniéndose en una planta de Pennsylvania el primer acero de estas menas procedentes del yacimiento Pinares de Mayarí, que se le dió el nombre de aceros especiales o acero Mayarí. Pero esta empresa se abandonó en 1934, incluso después de haberse construido una fábrica metalúrgica en Felton, cerca de la ciudad de Mayarí, debido a la ausencia de una técnica avanzada para eliminar los altos contenidos de cromo que hacía frágil el acero obtenido de las lateritas cubanas.

Por otro lado, el níquel, que había sido descubierto en las lateritas cubanas en 1905, al ser éstas analizadas como mineral de hierro, permaneció siendo tratado como componente nocivo hasta 1930, debido a lo cual la mencionada compañía se limitó al estudio y explotación de la parte más superficial de la corteza de intemperismo de ultramafitas: las lateritas residuales, donde el contenido de níquel es relativamente bajo, incomparablemente bajo respecto a la ley de las menas de níquel minadas en el mundo en aquella época. El hecho de haber alcanzado por casualidad algunos pozos criollos de la exploración la parte inferior de la corteza de intemperismo y haber revelado altos contenidos de níquel, unido al resurgimiento de la extracción del níquel de las lateritas en 1930 en Nueva Caledonia y en el resto del mundo, es que se estudia la estructura zonal del perfil de intemperismo de las ultramafitas cubanas para ser tratado desde entonces como materia prima de níquel y cobalto con alto hierro no aprovechable aún y cromo. Según los geólogos norteamericanos de aquel entonces, estudiosos del mineral cubano W.D. Mc Millán y H.W. Davis, el contenido total teórico de esos cuatro elementos principales por tonelada de mineral seco valía 26 dólares, mientras que el aprovechamiento con los procesos metalúrgicos conocidos permitiría recuperar solamente la mitad de esa riqueza.

De esta manera, la compañía norteamericana Partners Mines Corporation, que en el período de 1935 al 1938 se había interesado en la posibilidad del empleo de las lateritas cubanas como materia prima para la extracción del níquel, compra extensas áreas en las regiones de Levisa y Moa, y entre 1939 y 1940 realiza la exploración del área de las treinta minas de la cuenca del río

# ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE LOS YACIMIENTOS NIQUELIFEROS DE LA PROVINCIA DE ORIENTE

ESCALA 1:1000000



- 1 YACIMIENTO PRADERAS DE MAYARI
- 2 YACIMIENTO RICARDO
- 3 YACIMIENTO BOCA (CON LAS AREAS DE SURQUEDA ATLANTICO Y PLAYA LA YACA)
- 4 PUNTA GORDA-CAYO GUAN SUR

- 5 PIOTO-CAMARIJOCA
- 6 CANTARRANA-NULA DEL DIABLO (DELTA)
- 7 STA TERESITA (POTOSI)
- 8 LA PANOSA-MONTE CRISTO, LAS MUNICIONES, CUPEYAL, PINAR DE CEIBA, CAYO FORTUNA, LA CLARITA
- 9 IBERIA

Levisa.

Esto trae como consecuencia la construcción de la planta niquelífera de Lengua de Pájaro en 1942-43, conocida como planta Nicaro, siguiendo el nombre del inventor del proceso metalúrgico que emplea: Ni-Caron, la cual a fines de 1943 produce el primer óxido de níquel extraído de las menas residuales cubanas. La exploración del yacimiento Pinares de Mayarí para materia prima de níquel estuvo retenida sin embargo, hasta 1957 en que la compañía Bethlehem realizó trabajos geológicos según una red de 400 x 400 pies obteniendo un cálculo de reservas con contenidos promedios de níquel de 1,45 % y 41,22 % de hierro. Esto se debió a que este yacimiento estuvo desde 1934 hasta 1942 bajo la propiedad de la compañía explotadora de los yacimientos de hierro magnetítico de Cuba en la región de Firmeza (Oriente), la Juraguá Iron Company, pasando de nuevo a manos de la Bethlehem en 1944-46. También en los años 1959-1960 la compañía Nicaro Nickel exploró la zona colindante no estudiada antes en la parte este del yacimiento Pinares de Mayarí, según una cuadrícula de 800 x 800 pies, arrojando un contenido de níquel de 1,24 % y hierro de 46,3 %. La planta de níquel de Nicaro, construida por los americanos y siendo propiedad de los E.U.A. es sometida a una reconstrucción que terminó a mediados de 1957 para elevar la producción hasta 22 680 toneladas de níquel al año. Hasta 1957 el monto total de la inversión norteamericana en Nicaro alcanzó los 85 millones de dólares. La reconstrucción preveía una nueva operación de separación del cobalto por medio de su precipitación de los licores ricos con  $\text{Na}_2\text{S}$ , con un tratamiento ulterior para la separación del níquel del precipitado.

Por otro lado, y como continuación de la asimilación acelerada del mineral laterítico cubano por los norteamericanos, en 1951 una filial de la compañía Nicaro Nickel se ocupó de un área de 15 km<sup>2</sup> en el curso inferior del río Moa por ambas orillas, que fue explorada entre 1952 y 1958 según una red cuadrada de 100 x 100 metros. Las reservas totales de la mina Moa fueron estimadas en 51,9 millones de toneladas de un mineral con 1,36 % de Ni, 0,13 % de Co y bajo contenido de magnesio, en lo cual se basaba el nuevo esquema tecnológico a emplearse en la planta Moa Bay (Oriente de Cuba), mucho más económico utilizando la lixiviación ácida sulfurosa en vez del esquema por lixiviación carbonato-amoniaco de la planta de Nicaro. La nueva industria constaba de dos fábricas con un valor total de 119 millones de dólares: una ubicada en Moa (Moa Bay) y otra en los E.U.A. en Port Nickel (estado de Louisiana). La producción anual de la empresa se calculó en 22700 toneladas de níquel, 2000 toneladas de cobalto y 83000 toneladas de sulfato de amonio. El gobierno cubano, a partir de 1960, asimiló y amplió estas industrias y hoy día existen cuatro plantas niquelíferas en el país.

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS MENAS LATERÍTICAS.

Las características químicas y mineralógicas generales de la zonalidad litológica de las cortezas de intemperismo de las ultrabasitas cubanas considerada más completa, así como su relación con la mineralización útil, se exponen en la Tabla No. 1, confeccionada sobre la base de los tres yacimientos más grandes de

TABLA N° 1

CLASIFICACION LITOLOGICO-GENETICA DE LA ZONALIDAD Y MENIFERACION DE LA CORTEZA DE INTERPERISMO DE HIPERBASITAS DE CUBA ORIENTAL POR LOS DATOS DE LA PROSPECCION DE LOS TRES PRINCIPALES YACIMIENTOS DE

LA REGION DE MOA.

LA REGION DE MOA.				COMPOSICION QUIMICA MINERALOGICA EN % DE PESO Y VOLUMEN CORRESPONDIENTEMENTE																
ZONALIDAD DE LA CORTEZA DE INTemperismo		ZONAS LITOLOGICAS	POTENCIA PROMEDIO (m.)	TIPOS NATURALES DE MENAS																
ZONAS GENETICAS	ZONAS				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	NiO	CaO	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
ZONA DE LA OCRETIZACION COMPLETA.	ZONA DE LA OCRETIZACION COMPLETA.	ZONA DE CONCRECIONES FERROSAS (PERDIGONES)	2,7	GIBBSITICO-HEMATITICO - GOETHITICAS	88,89	0,81	0,79	0,088	2,64	0,71	13,90	2,78	0,87	0,82	0,18	0,08	0,21	0,18	0,08	12,89
					GOETHITA+HEMATITA = 87,5 / GIBBSITA = 2,6 / CROMOESPINELIDOS = 2,6 / CUARZO = 1,6 / ARCILLOSOS = 1,0															
					MINERALES MANGANIFEROS = 0,83															
ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE OCRETIZACION INESTRUCTURALES (SIN CONCRECIONES)	1,9	GIBBSITICO - GOETHITICO - CAS	88,88	0,28	1,10	0,117	3,39	1,89	9,40	2,68	0,88	0,14	0,18	0,08	0,28	0,18	0,04	13,22
					GOETHITA + LIMONITA = 73,8 / GIBBSITA = 11,0 / CROMOESPINELIDOS = 3,7 / CUARZO = 2,0 / ARCILLOSOS = 2,9															
					MINERALES MANGANIFEROS = 1,06															
ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE OCRETIZACION INESTRUCTURALES (SIN CONCRECIONES)	4,5	GIBBSITICO - LIMONITICAS	81,24	0,31	1,81	0,188	7,08	8,87	7,77	2,87	1,24	0,11	0,12	0,04	0,28	0,18	0,08	18,08
					LIMONITA = 72,2 / GIBBSITA = 9,5 / CROMOESPINELIDOS = 3,3 / CUARZO = 1,8 / MINERALES ARCILLOSOS = 3,1															
					SERPENTINAS = 5,1 / MINERALES MANGANIFEROS = 2,44															
ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE OCRETIZACION INESTRUCTURALES (SIN CONCRECIONES)	5,0	SEMIOCRETIZACION - SERPENTINICAS	80,70	0,99	1,78	0,084	27,77	18,85	8,47	1,82	0,47	0,12	0,08	0,04	0,28	0,08	0,08	12,08
					LIMONITA = 41,2 / GIBBSITA = 3,6 / CROMOESPINELIDOS = 2,3 / CUARZO = 5 / MINERALES ARCILLOSOS = 13															
					SERPENTINAS = 51,2 / MINERALES MANGANIFEROS = 0,78															
ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE LAS MADRES LIXIVADAS Y LIXIVACION INICIAL	2,8	SERPENTINICAS FRIABLES	88,80	1,08	1,48	0,081	27,18	28,30	2,80	0,80	0,28	0,04	0,08	0,08	0,40	0,88	0,02	18,38
					LIMONITA = 18,1 / NO HAY GIBBSITA / CROMOESPINELIDOS = 1,7 / CUARZO = 4 / MIN. ARCILLOSOS = 14															
					SERPENTINAS = 82,5 / MINERALES MANGANIFEROS = 0,32															
ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE LA OCRETIZACION PARCIAL.	ZONA DE LAS MADRES MALIZADAS	3,3	SERPENTINICAS DURAS Y ROCA ESTERIL	88,84	1,78	0,89	0,038	28,88	28,88	1,03	0,37	0,16	0,02	0,04	0,08	0,30	0,20	0,08	12,30
					LIMONITA = 6,3 / NO HAY GIBBSITA / CROMOESPINELIDOS = 1,5 / CUARZO = 2,6 / MINERALES ARCILLOSOS = 7,5															
					SERPENTINAS = 72,2 MINERALES MANGANIFEROS = 0,19															
ZONA DE LAS MADRES MALIZADAS	ZONA DE LAS MADRES MALIZADAS	ZONA DE LAS MADRES MALIZADAS	8 > 1000 (8 < 12)	ESTERIL	88,88	1,71	0,88	0,011	28,88	28,88	0,78	0,34	0,10	0,01	0,04	0,08	0,30	0,20	0,08	12,34
					OLIVINO = 8,5 / PIROXENO ROMBICO = 48 7,5 / CLINOPIROXENO = 48 1 / SERPENTINAS = 48 40 / METALICO = 48 1 HASTA 2,3 HASTA 23.															
					HASTA 71,5.															



la principal región minera de Cuba. Como se ve, las zonas superiores de la corteza de intemperismo están lixiviadas en sílice y magnesio con enriquecimiento consecuente en hierro, níquel y cobalto, manganeso, cromo y aluminio y están constituidas fundamentalmente por goethitas, mientras que las zonas inferiores (base del perfil) son poco lixiviadas en sílice y magnesio y están compuestas por minerales arcillosos (montmorillonita, nontronita, beidelita, halloysita y ferrihalloysita) entrecrecidas con hidróxidos de hierro, minerales de capas mezcladas del tipo biotita-vermiculita y cloritas, serpentinas (antigorita, crisotilo, lizardita) y goethitas. Los minerales manganíferos están representados por hidróxidos de manganeso (asbolana, niquelamelana, todorokita, woodruffita, feitsknechtita, psilomelano) y los hidróxidos de aluminio por la gibbsita, raramente la bohemita.

Los minerales portadores de los componentes útiles de las menas cobalto-niquelíferas y sus proporciones es aún un tema en discusión, pero existen varios trabajos que puntualizan que el grueso del cobalto (80-90 %) se encuentra en las asbolanas oxidado hasta  $\text{Co}_2$ , y en la maghemita-magnetita, en forma de  $\text{Co}^{2+}$ , sólo el 10-20 %. Los cálculos estadísticos del coeficiente de correlación de los contenidos de Co y Mn en las cortezas de intemperismo de los yacimientos Punta Gorda, Las Camariocas y Piloto mostraron una dependencia lineal fuerte positiva en todas las zonas litológicas del perfil. En cuanto al níquel, la cuestión es más discutida, pero varios autores señalan el enlace del mismo con los hidróxidos de hierro y manganeso y con los filosilicatos en forma de níquel absorbido (níquel libre) y formando parte de la red cristalina isomórficamente. S.I. Sobol señala que en la goethita-hidrogoethita se encuentra entre el 58 y el 73 % del níquel en forma de  $\text{Ni}^{2+}$  y en la maghemita en la cantidad de 10-20 % del total. N.T. Voskresenskaya y J. Collazo señalaron que el 85 % de todo el níquel está relacionado con minerales hipergenéticos dentro de la corteza de intemperismo de las ultrabásitas: en los filosilicatos (serpentininas, montmorillonita, clorita) isomórficamente dentro de la estructura cristalina de los mismos y solamente cerca del 5 % del níquel figura en forma absorbida, mientras que en los hidróxidos de hierro y manganeso entra aproximadamente el 10 %.

Entre todos los tipos de cortezas de intemperismo ferro-cobalto-niquelíferas de las rocas ultrabásicas, las más extendidas y mejor desarrolladas en Cuba y por lo tanto, de mayor interés científico y práctico industrial, son las cortezas de intemperismo del tipo de manto para las cuales se ha preparado una clasificación especial (Tabla No. 2). Para ello se han tomado en consideración los resultados de los trabajos realizados durante varios años por diferentes autores (Buguel'skiy y Formell, 1967, 1969, 1973, 1974; Buguel'skiy Y.Y., 1975; Formell Cortina F., 1979, 1981) que permitieron establecer las condiciones de formación y definir las regularidades de la distribución espacio-temporal, la potencia y tipos de perfiles de las cortezas, relacionadas con la interacción de factores climáticos, geólogo-estructurales, geomorfológicos, hidrogeológicos, hidrodinámicos, que determinan varios tipos bien destacados de cortezas de intemperismo con perfiles característicos. Así, de acuerdo con las particularidades geomorfológicas, se distinguen cinco subtipos de cortezas de

TABLA N° 2

CLASIFICACION DE LAS CORTEZAS DE INTemperismo NIQUELIFERAS DE CUBA SEGUN FACTORES GEOMORFOLOGICOS.  
(POR FORRELL CORTINA, 1977)

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS	CANTIDAD DE PRECIPITACIONES ATMOSFERICAS (mm-año)	CARACT. HIDROGEOLOGICAS MODULO DE INFILTRACION SUBTERRANEA (L. seg/Km <sup>2</sup> )	POTENCIA DE LA CORTEZA (m)	TIPO DE PERFIL	DENOMINACION DEL TIPO DE PERFIL	EL DE REGIONES DE DIFUSION DE LAS CORTEZAS DE INTemperismo	EJEMPLOS DE YACIMIENTOS INDUSTRIALES
RELIEVE TECTONICO EROSIONAL DE ALTURAS MEDIAS RELICTOS DE EROSION QUEDADOS SOBRE TERRAZAS ANTIGUAS ALTURA RELATIVA 1200-1500 m AL SOLUTA 1200-1500 m ALTURA RELATIVA 1000-1200 m SUPERFICIES PENDIENTES ELEVADAS RELICTOS DE UN PEDIPLANO ANTIGUO MAYOR DESMEMBRADO H=400-500 m	3 000 - 2 200	EL INTERCAMBIO MAS INTENSO DE LAS AGUAS 2.5	NO ESTABLECIDA	INCOMPLETO	DE DESINTEGRACION	LOS PUNTOS MAS ALTOS DE LA COORDILLERA SIERRA DE NIPE, SIERRA DEL CRISTAL Y SIERRA DE MOA, LOMA DE MENSURA, PICO CRISTAL, PICO EL TOLDO.	NO EXISTEN
RELIEVE DE ELEVACIONES BAJAS Y LONOSIDAD FUERTEMENTE DESMEMBRADA EN AREAS PENDIENTES ALTAS H=500-1000-2000 m	2 200 - 1 800	INTERCAMBIO INTENSO DE LAS AGUAS 15-20	MEDIA 3-5 MAXIMA 10-15	REDUCIDO	OCROSO-KEROLITICO, A VECES CON QIBSITA	MESETA PINARES DE MAYARI, LOS MUJOS, EL PRADO, CUPAY, PILOTO, IBERIA, BUENA VISTA.	PINARES DE MAYARI
RELIEVE DE ELEVACIONES BAJAS Y LONOSIDAD FUERTEMENTE DESMEMBRADA EN AREAS PENDIENTES ALTAS H=500-1000-2000 m	1 800	INTERCAMBIO MEDIO DE LAS AGUAS 10-15	MEDIA 3-10 MAXIMA 20	COMPLETO	KEROLITICO-NON TRONITICO OCROSO.	ZONA PERIFERICA DE LAS ESTERIBACIONES NORTES DE LA SIERRA DE NIPE Y SIERRA DEL CRISTAL.	OCUAL, SOLIBAMO, RAMONA, MARTI.
RELIEVE DE TERRAZAS ABRASIVAS, ESCALONES ALTOS H=500-1000 m	300 - 1 800	INTERCAMBIO INTENSO DE LAS AGUAS 15-20	MEDIA 3-10 MAXIMA 30	REDUCIDO	KEROLITICO-OCROSO A VECES CON QIBSITA.	ATLANTIC, CANTARANA, MOA, CAMARIJOCAS, YAGUAJE.	MOA, ATLANTIC.
RELIEVE DE TERRAZAS ABRASIVAS, ESCALONES BAJOS H=200-5	1 800	INTERCAMBIO MEDIO DE LAS AGUAS 10-15	MEDIA 3-5 MAXIMA 10-15	COMPLETO	KEROLITICO-NON TRONITICO OCROSO, A VECES CON QIBSITA.	CUPAY, QUESIGUA, PLAYA LA VACA, PUNTA GORDA.	PUNTA GORDA
LLANURAS ABRASIVAS, ABRASIVO-DEGRADATIVAS Y DEMODATIVAS DE ONDULACIONES LEVES Y POCO DESMEMBRADAS H=100-50 m	100	INTERCAMBIO DIFICULTOSO DEL AGUA	NO ESTABLECIDA	INCOMPLETO	DE DESINTEGRACION	PROVINCIA LAS VILLAS, HABANA, CAMAGUEY.	NO EXISTEN

intemperismo ferrp-cobalto-niquelíferas de manto:

1. Cortezas desarrolladas sobre un relieve de montañas medias, erosivo-tectónicas, relictos de erosión elevados sobre el peniplano antiguo en cotas que varían de 700 a 1300 m de altura absoluta.

2. Cortezas desarrolladas sobre superficies extensas peniplanadas, elevadas, relictos del único peniplano antiguo intensamente desmembrado en cotas que varían de 500 a 800 m de altura absoluta.

3. Cortezas desarrolladas sobre un relieve de montañas bajas y colinas de los piedemontes muy desmembrados, a veces peniplanados, como resultado de procesos erosivo-abrasivos, erosivo-denudativos y denudativos, en cotas que varían de 50 a 500 m.

4. Como un subtipo especial se consideran las cortezas desarrolladas sobre el relieve de terrazas escalonadas. Puede dividirse en terrazas altas y terrazas bajas, pero aunque incluye las mismas características hidrodinámicas de los subtipos 2 y 3, sus particularidades geomorfológicas determinan regularidades de su distribución que aconsejan considerar estas cortezas como un subtipo independiente.

5. Cortezas desarrolladas en las llanuras abrasivo-denudativas, planas o débilmente onduladas y desmembradas, en cotas que varían de 100 hasta menos de 5 m.

A cada una de estas divisiones geomorfológicas corresponde un régimen hidrodinámico, el cual está condicionado por la cantidad de precipitaciones atmosféricas (Buguel'skiy y Formell, 1973). De esta manera, el factor climático condiciona el volumen de agua que llega al paisaje y las particularidades geomorfológicas de la región influyen en su traslado posterior a las rocas acuíferas. Mientras más elevado sea el relieve y más acentuadas las diferencias entre las divisorias de las aguas y las vaguadas, más rápidamente se desplazarán en las rocas las aguas subterráneas, cediendo el lugar a nuevas aguas que ingresan en el paisaje, producto de las precipitaciones atmosféricas; la cantidad de estas últimas y el grado de diferenciación del relieve, constituyen los factores fundamentales que condicionan la intensidad de la transferencia de aguas en las rocas acuíferas. A su vez, "la intensidad de la transferencia de aguas provoca la modificación de la composición química en relación con el desarrollo en el espacio y en el tiempo del proceso de interacción de las aguas subterráneas y las rocas por las cuales ellas circulan". (Brod'skiy, 1953). Esta interacción condiciona la intensidad de migración de los elementos químicos y por consiguiente, la intensidad de procesos de intemperismo, que determina, en última instancia, el tipo de perfil de la corteza que se obtendrá.

De acuerdo con el grado de intensidad de la transferencia de aguas, en las regiones de desarrollo de las cortezas de intemperismo ferro-cobalto-niquelíferas de Cuba, es posible distinguir cuatro zonas hidrodinámicas que concuerdan espacialmente con las principales unidades geomorfológicas (Buguel'skiy y Formell, 1973): (1) zona de transferencia de aguas muy intensas, (2) zonas de transferencia de aguas intensas, (3)

zonas de transferencia de aguas de intensidad media; y (4) zona de difícil transferencia de aguas.

En la clasificación, además de las características geomorfológicas e hidrodinámicas, para cada uno de los subtipos distinguidos se señalan: la cantidad de precipitaciones atmosféricas promedio, el módulo de infiltración, la potencia promedio y máxima de las cortezas, los tipos de los perfiles y la denominación de los perfiles característicos, así como ejemplos, tanto de cortezas típicas desarrolladas en cada subtipo de relieve, como de los yacimientos industriales de níquel relacionados con esos subtipos de cortezas.

Además de las cortezas de intemperismo *in situ* del tipo de manto en la región del nordeste de Oriente se observan acumulaciones de productos de la redeposición de las cortezas de intemperismo. Un ejemplo típico lo constituye el yacimiento Punta Gorda (Formell, 1980), donde los depósitos están representados por materiales ocreo-arcillosos con intercalaciones de sedimentos arcilloso-carbonatados que presentan fauna de edad Mioceno-Cuaternario. Estos redepositos son de génesis transicional en un medio posiblemente lagunar con comunicación con el mar; ellos yacen sobre la corteza de intemperismo desarrollada *in situ* y su potencia promedio es de 5 m. Su espesor y complejidad litológica se incrementan en dirección al norte y disminuyen en dirección contraria hasta desaparecer completamente del corte.

#### CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.

Los grandes yacimientos de níquel cubanos se desarrollan en la zona Nipe-Cristal-Baracoa, que constituye una zona estructurofacial independiente y posee una particular estructura compleja. En sus límites se distingue una serie de grandes complejos alóctonos y para autóctonos, constituidos por la serie vulcanógeno-sedimentaria cretácica y la asociación ofiolítica que incluye los más grandes macizos de rocas ultrabásicas y gabroides de Cuba (Adamovich y Chejovich, 1964). Esta zona representa una gigantesca antiformal ligeramente arqueada de dirección sublatitudinal. El núcleo de la antiformal está constituido por la serie vulcanógeno-sedimentaria del Cretácico Inferior-Superior, la cual puede ser considerada en calidad de para autóctono, inclusive autóctono y los flancos, por los macizos de rocas ultrabásicas, gabroides y formaciones metamórficas.

La serie cretácica vulcanógeno-sedimentaria de la zona Nipe-Cristal-Baracoa está constituida por andesitas, basaltos, dacitas, tobas estratificadas, tufitas, tobas silicíticas con horizontes de diabasas aglomerados, conglomerados y finas capas de calizas. En dependencia de la presencia de vulcanitas de composición ácida y del grado de metamorfismo de las rocas, en la serie vulcanógeno-sedimentaria se distinguen un grupo de formaciones. Su corte, desarrollado hacia el noroeste del macizo ultrabásico de la Sierra Cristal se compone de vulcanitas de composición ácida que se agrupan en la formación Bucuey de edad albiano-turoniano. Las vulcanitas básicas y medias y las rocas sedimentarias a ellas subordinadas del albiano-cenoniano distribuidas hacia el sureste del propio macizo ultrabásico



recibieron el nombre de Formación Santo Domingo. Análogos metamorfeizados de estas rocas vulcanógeno-sedimentarias se distribuyen hacia el sur del macizo ultrabásico de Moa-Baracoa y se agrupan en la Formación La Farola o Sierra del Purial (Cretácico Inferior-Superior hasta el Campaniano inclusive).

El complejo parautoctono cretácico descrito se cubre tectónicamente por los macizos alóctonos de rocas ultrabásicas y gabroides de Moa-Baracoa al este y Sierra Cristal al oeste y también estratigráficamente en la región de Sagua de Tánamo por la serie terrígena (Formaciones La Picota y Mícará) de edad maestrichtiano-paleoceno.

En la base de la serie terrígena maestrichtiano-paleocénica se desarrollan conglomerados abigarrados, potentes, mal sorteados y conglóbrachas de tipo basal que se distinguen bajo el nombre de Formación La Picota. La parte que yace más arriba en la serie terrígena tiene una composición flyschoides areno-limolítica y además posee numerosos horizontes de formaciones de deslizamientos submarinos (olistostromas) y paquetes característicos de turbiditas tufogénicas. Ella se distingue bajo el nombre de Formación Mícará.

En el macizo de Moa-Baracoa, cuya naturaleza alóctona no ofrece dudas, predomina la asociación de harzburgitas, dunitas, werhlitas, lherzolitas, lherzolitas plagioclásicas, piroxenitas y gabro-troctolitas y se desarrollan menas cromíticas con elevado contenido de aluminio. Las rocas plutónicas ultrabásicas y básicas forman una escama tectónica superior. La escama tectónica inferior cuyo corte aflora en los ríos Quibijan y Jojo está constituida por basaltos toleíticos globulares y rocas silíceas del Cretácico, de un espesor de varios cientos de metros. El espesor y la secuencia de las rocas que forman estas dos escamas tectónicas principales que constituyen el macizo de Moa-Baracoa recuerdan un corte invertido de la asociación ofiolítica incluyendo el fundamento melanocrático y la cobertura oceánica. El macizo cubre tectónicamente las rocas vulcanógeno-sedimentarias metamorfeizadas de la Formación La Farola y a la vez se cubre transgresivamente por la Formación Mícará del Maestrichtiano-Paleoceno, lo cual permite determinar una edad pre-maestrichtiana para el establecimiento del sobrecorrimento.

La situación es algo diferente en el macizo de Sierra del Cristal en el cual no hay rocas características de la parte superior de la asociación ofiolítica. El está compuesto por un complejo harzburgítico y dunito-harzburgítico y también por menas con elevada cantidad de cromoespinelas. La naturaleza alóctona se manifiesta sin dudas sólo en la parte oriental del macizo, pero en su borde occidental, según los datos geofísicos, se puede proponer la existencia de una raíz profunda como consideran Pavlov et al, 1973. Evidentemente, las anomalías gravimétricas positivas intensas que alcanzan 150-180 miligales evidencian un espesor significativo de las hiperbasitas en la parte occidental del macizo y su continuación debajo de la cuenca de Cauto-Nipe. El espesor de las ultrabasitas según distintos cálculos se valora en 4-12 km en el fondo de un brusco acortamiento de la corteza en esta parte de Cuba oriental hasta 14-16 km. Todo esto ha permitido a Mossakovskiy et al, 1989 proponer la existencia de un diapiro



mántico en la base de la parte occidental del macizo Sierra del Cristal.

El emplazamiento del macizo Sierra del Cristal no ocurrió de una sola vez. La parte suroccidental del macizo (Pinares de Mayarí) posee una edad precampaniana, debido a que aquí las ultrabasitas se cubren erosionalmente por los conglomerados campaniano-maestrichtianos de La Picota; sin embargo, en la parte oriental del macizo junto con las rocas precampanianas se desarrolla también una asociación vulcano-plutónica de composición ultrabásica más joven, de edad Maestrichtiano-Paleoceno, sobre la cual atestiguan los horizontes singenéticos de lavabrechas y tobas de composición ultrabásica que no se encuentran en partes de la Formación Micara adyacente al macizo; por consiguiente, la posición alóctona de esta parte del macizo parece estar vinculada con movimientos tectónicos más jóvenes, del Eoceno Medio-Tardío. De esta forma, se tienen todos los elementos para suponer que el proceso de emplazamiento de los sobrecorrimientos en la zona de Nipe-Cristal-Baracoa fue muy activo y bastante dilatado, abarcando el intervalo de tiempo desde el Campaniano hasta el Eoceno Medio inclusiva.

Después del Eoceno Medio, se estableció un régimen tectónico más tranquilo con movimientos fundamentalmente de bloques basculantes con tendencia general al levantamiento. Los depósitos sedimentarios desde el Eoceno Superior se desarrollaron fundamentalmente en la periferia septentrional de la zona con una composición terrígeno-carbonatada. A partir del Plioceno comenzó un levantamiento general de toda la zona que continúa hasta nuestros días. Con ese levantamiento se vincula la formación de las potentes cortezas de intemperismo que observamos hoy. Las cortezas comenzaron su formación evidentemente ya en el premaestrichtiano cuando las ultrabasitas surgieron a la esfera de erosión pero ellas fueron sucesivamente erosionadas y pasaron a formar parte de los conglomerados y depósitos terrígenos en general que se formaban durante los períodos de transgresión marina. Por eso las cortezas de intemperismo ferro-cobalto-niquelíferas que forman los enormes yacimientos cubanos tienen una edad Plioceno-Cuaternario.

#### DESCRIPCION DE LOS ITINERARIOS.

##### PRIMER DIA:

Viaje hasta la ciudad de Moa y alojamiento en la misma.

##### SEGUNDO DIA:

Mañana: Recorrido por los yacimientos Moa, Atlántico y Yamanigüey. Observar los perfiles de las cortezas de intemperismo de tipo manto-lineal con grandes espesores y las características del sistema de explotación a cielo abierto de las menas lateríticas. Tarde: Recorrido por el yacimiento Punta Gorda. Observar los perfiles de la corteza de intemperismo complicados con los productos de la redeposición de composición ocreo-arcillosa.

TERCER DIA:

Mañana: Visita a una planta de concentrado de níquel.

Tarde: Recorrido por áreas de Las Camariocas, Yagrumaje, Quemado del Negro y Cayo Guam.

Observar las características de las cortezas de intemperismo desarrolladas en distintas condiciones geomorfológicas, las cortezas sobre gabros y las menas cromíticas de Cayo Guam y sus rocas encajantes.

CUARTO DIA:

Mañana: Viaje a los yacimientos del grupo Nicaro.

Observar las características de los yacimientos desarrollados sobre un relieve de colinas muy desmembrado con perfiles completos de la corteza. Yacimientos Martí y antiguos Sol Líbano y Ocujal.

Tarde: Recorrido por el yacimiento Pinares de Mayarí.

Observar las características de las cortezas situadas sobre mesetas elevadas a 500-600 m sobre el nivel del mar con perfiles abreviados de la corteza.

Regreso a Moa.

QUINTO DIA:

Regreso de La Habana desde Moa.