

La mineralogía de la corteza de intemperismo
de las rocas ultrabásicas de la costa norte de
la provincia de Oriente, Nicaro, Moa

VLADIMIR KUDELASEK

VITEZSLAV ZAMARSKY

IRENA MARXOVA

LA MINERALOGIA DE LA CORTEZA DE INTEMPERISMO DE LAS ROCAS ULTRABÁSICAS DE LA COSTA NORTE DE LA PROVINCIA DE ORIENTE, NICARO, MOA

RESUMEN

Comprende el estudio mineralógico de los yacimientos ferromagnéticos de Nicaro y Moa, como tipos representativos de la corteza de intemperismo relacionada con las harzburgitas que constituyen el basamento rocoso ultrabásico de ambas localidades, previamente serpentinizadas; y también el proceso de laterización sufrido por las serpentinitas.

Se describe un perfil de cada uno de los yacimientos mencionados, consignando algunas características diferenciales entre ellos, macroscópicas y químicas. Se ofrece un amplio y detallado estudio de los resultados obtenidos con análisis de Rayos X, térmicos diferenciales y químicos efectuados sobre las muestras y testigos tomados a todo espesor en esas localidades.

Los resultados analíticos efectuados sobre las muestras de lateritas, señalan la presencia en ellas de buen número de especies minerales frecuentes en los productos de alteración de rocas ultrabásicas en el territorio cubano.

Las principales conclusiones son:

- 1) La laterización de la costra de intemperismo en las rocas ultrabásicas existentes entre Mayarí y Moa, tuvo lugar en el Terciario Superior (del Oligoceno al Mioceno). Este proceso, condicionado por el clima subtropical, continúa todavía efectuándose en las serpentinitas que aparecen expuestas y sometidas a los agentes exógenos.
- 2) Se establece que:
 - a) El yacimiento de Moa fue redepositado
 - b) El contenido de alúmina (Al_2O_3) es mucho mayor en Moa que en Nicaro
 - c) El contenido de los componentes industriales básicos (níquel, cobalto, hierro) es muy variable en los yacimientos de Nicaro y Moa, tanto en el sentido vertical como en el horizontal
 - d) En el yacimiento de Mayarí están poco desarrolladas las serpentinitas ricas en níquel.

INTRODUCCION

A la producción de los concentrados de Ni y Co, se dedica en el mundo en el tiempo actual, una gran atención. Esta situación se debe al amplio campo de utilización de estos metales, no sólo en la metalurgia en general, sino también en química, electrónica y otros

sectores. En escala mundial se plantea el aumento de la extracción de los minerales de Ni, para la próxima década, en valor múltiple con relación al estado actual. Esta situación dio origen a la investigación intensiva, no sólo de nuevos yacimientos con alto contenido del mineral, sino también de los yacimientos con contenido del metal más pobre relativamente, pero con grandes reservas y de fácil extracción. Derivado de esta situación, llegan a primer plano de interés, los yacimientos originados por el intemperismo laterítico de las rocas ultrabásicas y básicas, cuyos representantes en Cuba, son los yacimientos de Fe y Ni que se encuentran sobre todo en la parte norte de la provincia de Oriente. La importancia primordial que tiene la explotación de estos yacimientos, desde el punto de vista de la situación económica de Cuba, trae al mismo tiempo como consecuencia, la necesidad de llevar a cabo la exploración e investigación de los mismos. Los resultados de las investigaciones básicas, afectarán positivamente las posibilidades del uso más racional posible de estos yacimientos.

Breve situación geológica

Los yacimientos de los minerales de Ni y Fe en la costa norte de Oriente, representan yacimientos de la corteza de intemperismo tipo plataforma. Están relacionados con grandes macizos de las harzburgitas y harzburgitas serpentinizadas, las cuales se encuentran en las áreas influyentes de las montañas de la Sierra Cristal (yacimiento Nicaro), Sierra de Nipe (yacimiento Pinares de Mayarí) y Sierra de Moa (yacimiento de Moa). Todas las ocurrencias de los yacimientos de los minerales de Ni y Fe están caracterizados por una gran variabilidad de los componentes industriales básicos (Ni, Co, Fe), tanto en sentido vertical como horizontal.

Morfológicamente se relacionan con una meseta (plateau) (Pinares de Mayarí), o están situados en el terreno muy ondulado con el gran rebasamiento relativo (Nicaro), o se encuentran en el terreno ligeramente ondulado (Moa). La forma y la extensión de

los yacimientos de intemperismo laterítico dependen enteramente del relieve del terreno. En las partes llanas o de ligeros declives los cuerpos de mineral se conservaron, mientras que en las elevaciones bruscas surgió la erosión y el transporte.

Macrocópicamente el perfil estratigráfico ideal de estos yacimientos es el siguiente:

El fondo de las capas productivas lo forman las harzburgitas serpentinizadas estériles. El relieve del fondo es irregular, como típica es la presencia de bolsones en sentido vertical.

Arriba de las serpentinitas yacen las serpentinitas fuertemente desintegradas de variable espesor que representan el material de color gris-verde, amarillo-verde o amarillo-marrón claro. Estas capas generalmente son más ricas en Ni, Mg y SiO_2 y más pobres en Co, Fe y Al.

Por encima de las capas anteriores, típicas por su variable contenido y espesor, se encuentran porciones de las *lateritas blandas*, arcillosas de color rojo o marrón oscuro, características por tener menor contenido de Ni, Mg y SiO_2 y mayor contenido de Fe, Co y Al. Estas partes se transforman poco a poco en *lateritas ferruginosas*, que afloran en la superficie. Estas sí están caracterizadas por un color rojo-violáceo oscuro y por contener en cantidades considerables concreciones de Fe y por sus bajos contenidos de Ni, Mg y SiO_2 .

En realidad, el perfil estratigráfico descrito no está desarrollado en cada ocasión plenamente. Muy a menudo faltan algunos niveles completamente o se desarrollan parcialmente en forma lenticular.

El comienzo de la formación de la corteza de intemperismo se sitúa, según el Dr. De Vletber, al fin del Terciario e indudablemente la formación sigue hasta el tiempo actual, condicionada por el clima subtropical.

Todos los cuerpos del mineral individuales están geográficamente situados en tres yacimientos: el yacimiento Pinares de Mayarí, que pertenece a la parte occidental de la faja laterítica, el yacimiento Nicaro, que se encuentra en la parte central y el yacimiento laterítico de Moa, en la parte oriental del sector de las ocurrencias lateríticas. Los yacimientos se distinguen uno del otro según el relieve del terreno, según diferentes contenidos de los componentes industriales, según diferente correlación entre los niveles del perfil estratigráfico, sus espesores y, según diferente influencia de la redeposición del mineral.

YACIMIENTO PINARES DE MAYARÍ:

Se encuentra en la meseta con las cotas absolutas medias de 550 m aproximadamente sobre el nivel del mar. El rebasamiento relativo se aproxima a unos 100 m. El yacimiento es de gran extensión con relativos pequeños espesores de la corteza de intemperismo, en la cual, excepto las partes limitantes, no están desarrolladas las serpentinitas de color amarillo-verdosas ricas en Ni.

YACIMIENTO NICARO:

Está relacionado con el terreno muy ondulado con cotas absolutas medias de 300 m sobre el nivel del mar. El rebasamiento relativo se aproxima a unos 400 m o más. Lo típico para este yacimiento es que son relativamente pequeños, pero de muy variables espesores en la corteza de intemperismo y están fuertemente desarrolladas las serpentinitas de color amarillo-verdosas, ricas en Ni.

YACIMIENTO MOA:

El más grande de todos por su extensión, se encuentra en un relieve con ligeros declives, con las cotas medias absolutas de unos 180 m sobre el nivel del mar. El rebasamiento relativo llega hasta los 300 m. Lo característico son grandes espesores de la corteza laterítica, variable ocurrencia de las serpentinitas intemperizadas de color verde-amarillo, ricas en Ni y con fuerte influencia de la redeposición de los minerales.

A pesar de que actualmente ya el perfil estratigráfico está estabilizado, se puede observar en el mismo la estratificación fina discontinua, a menudo, con láminas entrecruzadas. Las capas finas macroscópicamente se diferencian tanto por su distinta granulometría, como por el color.

Los yacimientos de Moa y Nicaro, están actualmente en estado de explotación; el de Pinares de Mayarí, está en estado de exploración y desarrollo geológico.

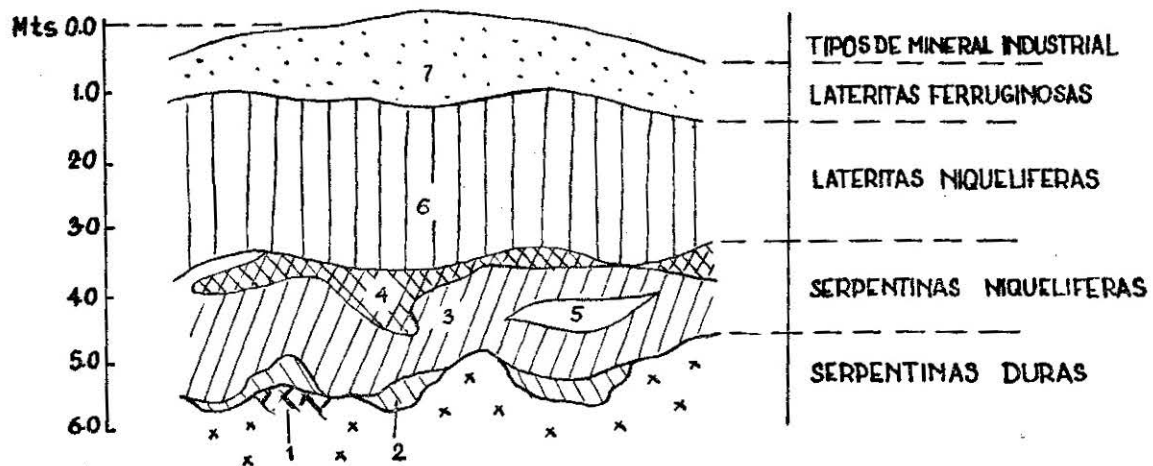
MINERALOGIA:

Hasta el momento, se han interesado en el estudio de la mineralogía de los yacimientos de Níquel-Hierro, Pinares de Mayarí, Nicaro y Moa, el geólogo Dr. De Vletber, el grupo de los investigadores geológicos del ICRM y últimamente A. Linchenat e I. Shirokova. A pesar de que cada uno de estos autores obtuvieron nuevos datos sobre la mineralogía y el último trabajo señalado contenía además la geoquímica, los minerales

PERFILES ESQUEMATICOS DEL MINERAL CON LA SITUACION DE LAS MUESTRAS TOMADAS

YACIMIENTO NICARO

mina Sol-Libano, bloque 0-10, parte Sur



YACIMIENTO MOA

zona B, area No2, parte Norte

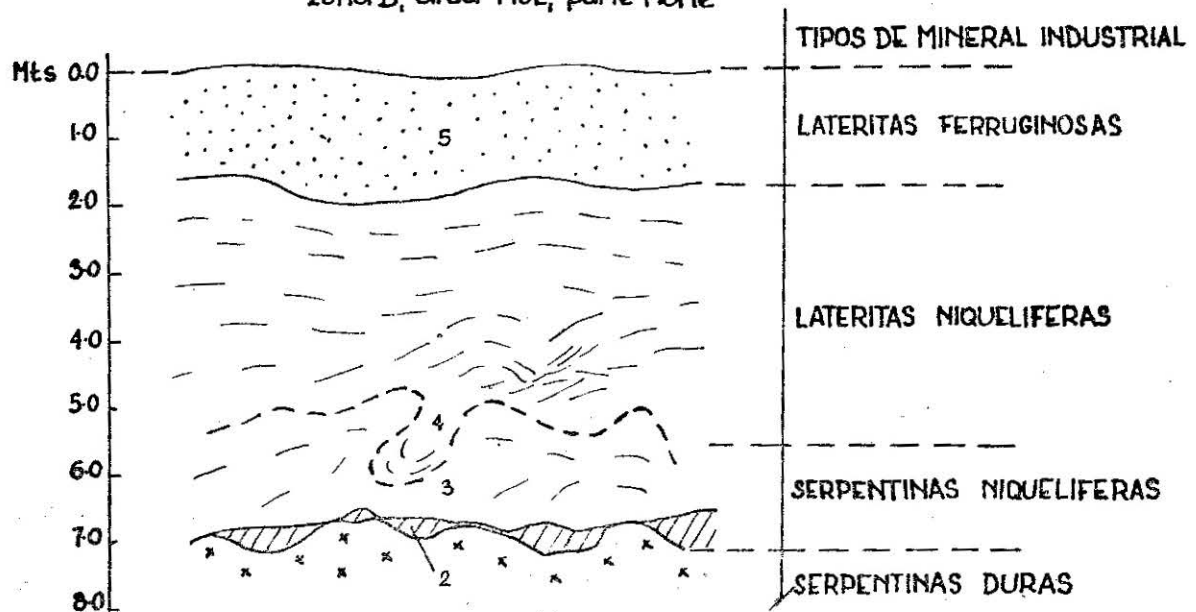


TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE RAYOS X

Tabla No. 2

	1		2		3		4		5		6		7	
	d	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d	i
1.	15,2	3,0	15,30	2,5	15,60	5,0	15,60	mf	—	—	—	—	—	—
2.	7,30	4,0	7,30	2,5	—	—	—	—	7,24	10	7,26	10	—	—
3.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,65	1
4.	4,62	6,5	4,58	6,8	4,77	3,4	—	—	4,61	4	—	—	4,58	1
5.	4,43	5,8	4,53	5,0	4,57	6,2	4,55	mf	—	—	4,56	mf	—	—
6.	4,22	5,0	4,21	4,8	4,21	5,4	—	—	4,18	2	—	—	4,15	9
7.	—	—	3,93	3,5	3,97	3,2	—	—	3,87	1	—	—	—	—
8.	3,66	10	3,65	6,0	3,64	2,8	—	—	3,61	10	3,61	8	—	—
9.	3,47	3,2	3,48	3,2	3,44	3,2	—	—	—	—	—	—	3,40	2
10.	3,27	2,8	—	—	3,27	2,2	—	—	—	—	—	—	—	—
11.	3,18	2,5	—	—	3,18	2,5	3,11	ms	—	—	—	—	—	—
12.	3,00	2,2	2,96	2,2	2,97	2,0	2,98	ms	—	—	—	—	2,965	2
13.	—	—	—	—	2,84	1,2	—	—	—	—	—	—	2,800	5
14.	2,60	4,0	2,58	4,0	2,59	3,0	2,62	f	2,59	9	2,625	6	2,59	10
15.	2,515	8,8	2,52	6,0	2,52	4,4	2,56	f	2,52	2	—	—	—	—
16.	2,44	5,0	2,46	5,0	2,46	3,6	—	—	2,445	2	2,480	6	2,445	10
17.	—	—	—	—	—	—	—	—	2,41	2	2,425	6	—	—
18.	—	—	2,26	2,0	2,27	1,8	—	—	2,225	1	—	—	2,24	4
19.	2,16	2,8	2,15	2,0	—	—	—	—	2,157	7	2,118	3	2,19	8
20.	2,09	1,8	—	—	2,09	1	—	—	—	—	—	—	2,00	2
21.	1,80	1,4	1,81	1,0	1,80	0,8	—	—	1,824	4	—	—	1,805	2
22.	1,71	1,6	1,72	1,4	1,71	1,8	1,71	s	1,738	3	—	—	1,72	9
23.	1,67	1,2	—	—	1,67	2,0	1,66	s	—	—	1,685	4	1,69	4
24.	1,61	1,2	1,58	1,1	1,61	1,6	—	—	1,558	5	—	—	1,615	4
25.	1,53	3,2	1,53	3,0	1,58	2,0	—	—	1,534	5	1,527	10	1,565	9
26.	—	—	—	—	—	—	1,51	mf	—	—	—	—	—	—

1 Muestra No. 2, Nicaro Sol Líbano

2 Muestra No. 3, Nicaro Sol Líbano

3 Muestra No. 4, Nicaro Sol Líbano

4 Nontronita: K. Jasmund (1955) p. 126, muestra 19

5 Antigorita: V. I. Micheev (1957) p. 753, muestra 815a

6 Nepouita: V. I. Micheev (1957) p. 758, muestra 820

7 Goethita: I. I. Ginzburg (1953) p. 71

Leyenda de la intensidad:

f — línea fuerte s — línea suave mf — muy fuerte ms — muy suave

TABLA COMPARATIVA DE LAS REACCIONES TERMICAS

Tabla No. 3

Muestra	Endorreacciones			Exo	Endorreacciones			Exo	Endo	Exo	Endo	Exo
Sol-Líbano 2 (4)	160	310	340	—	470	—	670	—	780	830	850	900?
Sol-Líbano 3	170	310	350	—	470	—	625	—	725	—	810	850
Sol-Líbano 4 (2)	180	280	350	—	445	—	—	—	—	—	780	800
1 x	125	300	337	395	457	—	610	—	—	795	835	877
3 x	157	255	340	390	470	—	615	—	—	795	835	877
5 x	145	?	345	—	475	—	605	—	—	?	820	850
12 x	125	290	350	375?	?	520	602	—	795	805	862	—

Nontronitas de las serpentinas de los Urales según Ginzburg I. I. (1951)
(Tabla 295 oag. 650)

niquelíferos no se determinaron de una manera definitiva. Debido a esta situación, queremos contribuir con este trabajo al reconocimiento de los minerales niquelíferos, refiriéndonos sobre todo a los yacimientos de Nicaro y Moa.

Las muestras para el estudio fueron tomadas en los cortes mineros, desde abajo hasta arriba, en la mina Sol-Líbano (Nicaro) y en la zona "B" (Moa). El detalle del muestreo se adjunta en la tabla No. 1.

Observando macroscópicamente el perfil de la corteza de intemperismo en estos yacimientos vemos que no se presenta homogéneo, contiene variadas secciones que se diferencian, tanto por el color, como por la textura. El yacimiento de Moa tiene características de un yacimiento redepositado, de acuerdo a como bien se señaló en el estudio de A. Linchenat e I. Shirokova. Las características de la redeposición no se pueden observar en la misma escala en el yacimiento de Nicaro.

Los dos yacimientos estudiados se diferencian bruscamente uno del otro, desde el punto de vista químico, por el mayor contenido de Al_2O_3 en Moa, mientras que en Nicaro los contenidos de Al_2O_3 en las partes bajas del perfil, aparecen hasta diez veces menores con relación a los de Moa. Otras diferencias en los análisis químicos se presentarán más adelante en las características de las muestras.

Nicaró:

Por encima de las serpentinas duras se encuentran capas de un material verdoso-amarillento grisáceo que conserva la textura de la serpentina. El material se destruye mecánicamente con gran facilidad y por las

caras de fractura aparecen, en forma de láminas finas, los minerales de manganeso. A esta capa corresponde la muestra No. 2. Sobre la capa anterior sigue una capa de un material de un color amarillo-verde de textura hojosa fina (laminillas delgadas). Las hojas individuales están unidas unas con otras y macroscópicamente el material aparece en forma arcillosa blanda. A esta ocurrencia se refiere la muestra No. 3.

La muestra No. 4, corresponde a un material muy blando arcilloso de color amarillo-marrón claro o rosado claro y representa unas regiones de forma muy irregular que por su situación estratigráfica yace sobre las posiciones ya descritas.

Antes de comenzar el estudio, se extrajeron de estas muestras las fracciones de minerales pesados. Los minerales pesados estuvieron representados fundamentalmente por magnetita, cromita y espinela cromífera.

Los resultados de los análisis de rayos X, confeccionados en la Tabla No. 2 señalan que las muestras Nos. 2, 3 y 4 corresponden en sus líneas a la nontronita y a la antigorita. Como se ve en los cálculos de los análisis químicos desde la muestra No. 2 hasta la muestra No. 4, aumenta la composición de la nontronita y disminuye la composición de la antigorita y se acercan a la nepouita. De esta dependencia corresponde la intensidad de las líneas espectrales; a esto corresponde principalmente la línea basal 001 Nicaro No. 2 $d = 15.2$, $i = 3.0$; Nicaro No. 3 $d = 15.3$, $i = 3.5$; Nicaro No. 4 $d = 15.6$, $i = 5.0$, en la nontronita. Las líneas presentadas corresponden con los valores de las tablas. (Ver la Tabla No. 2). Sólo la muestra No. 2 de Nicaro tiene la posición del valor $d = 15.2$ un poco más bajo que los valores tabulares. Los valores $d = 7.3$ en las

TABLA COMPARATIVA DE LAS CURVAS DE LOS ANALISIS TERMICOS DIFERENCIALES

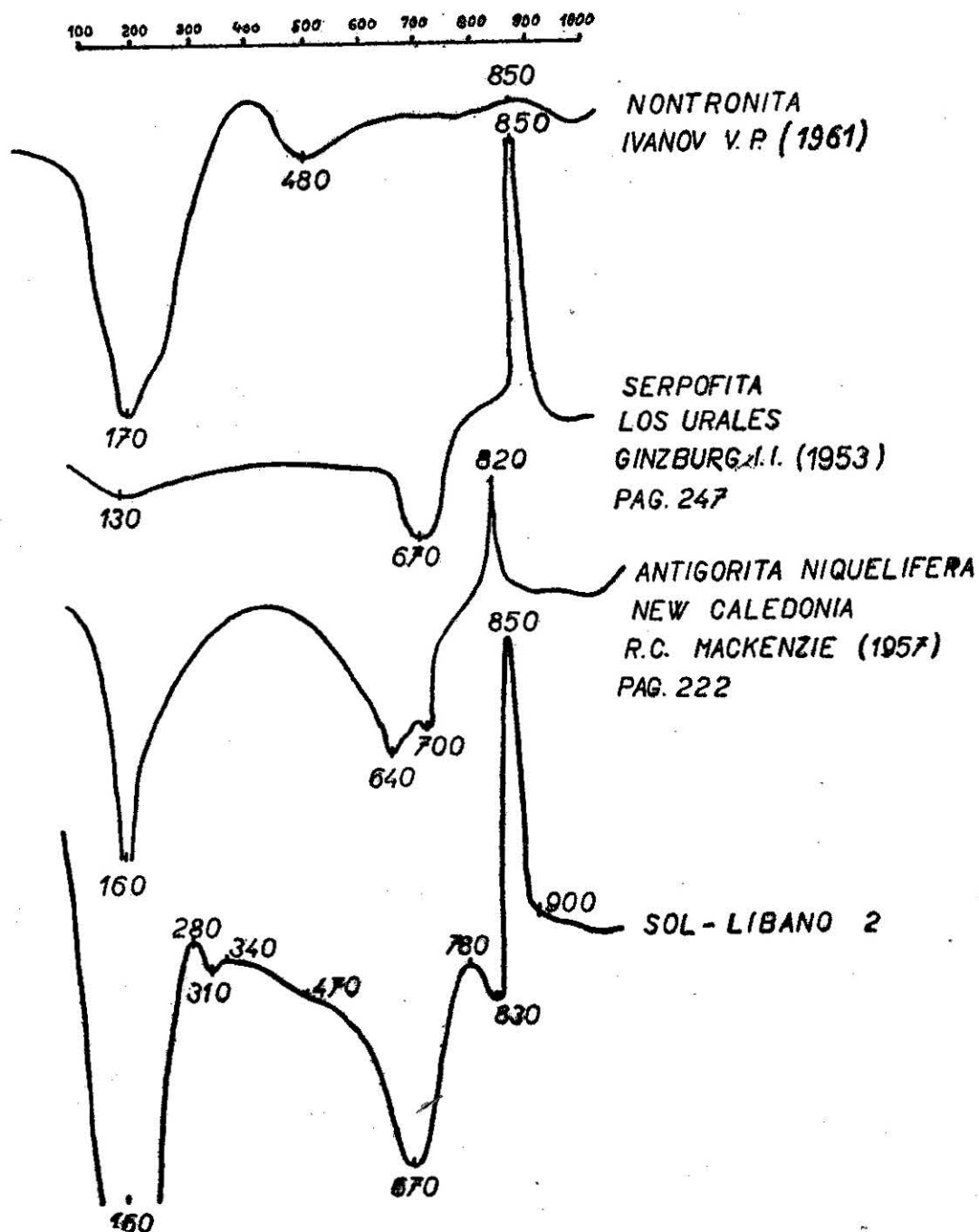


TABLA COMPARATIVA DE LAS CURVAS
DE LOS ANALISIS TERMICOS DIFERENCIALES

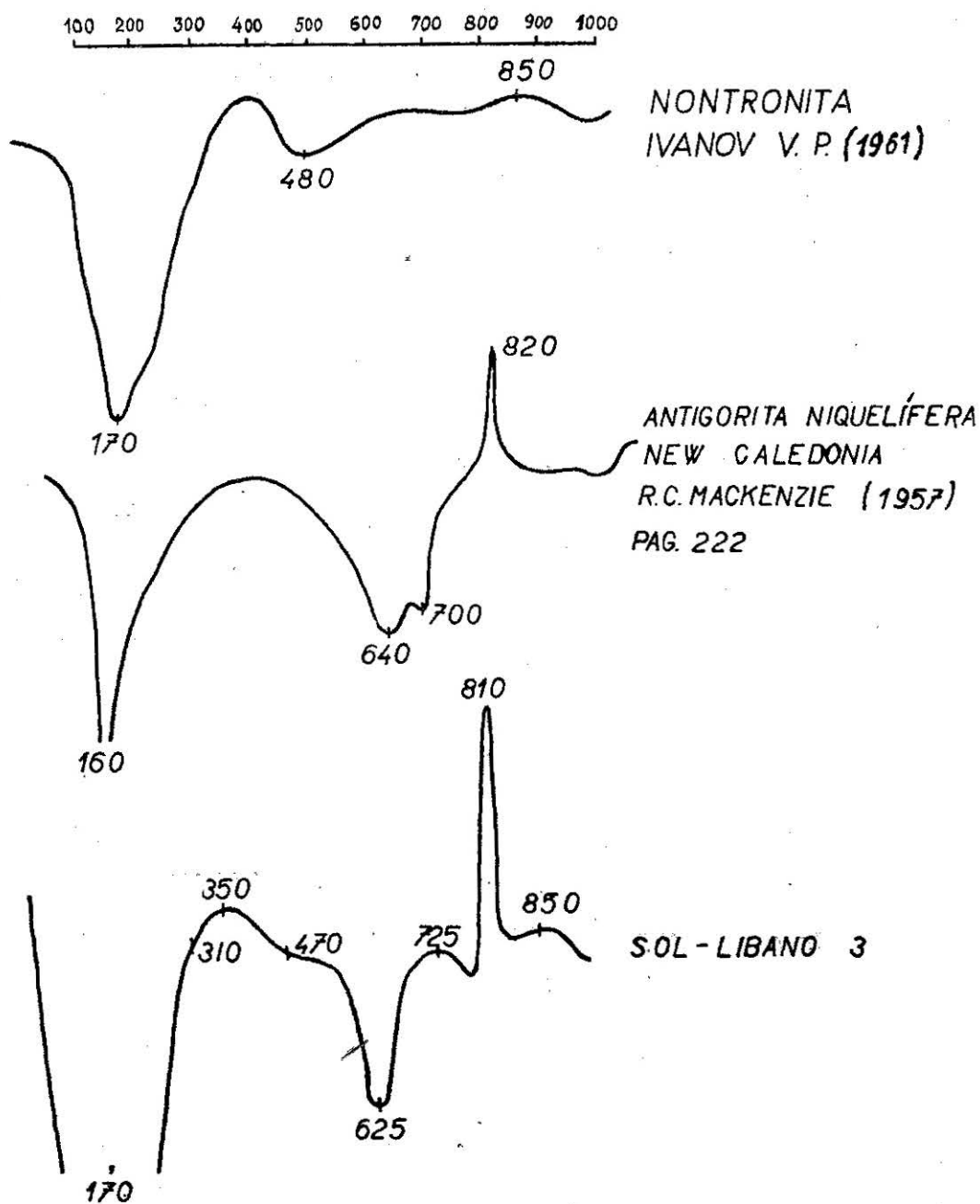
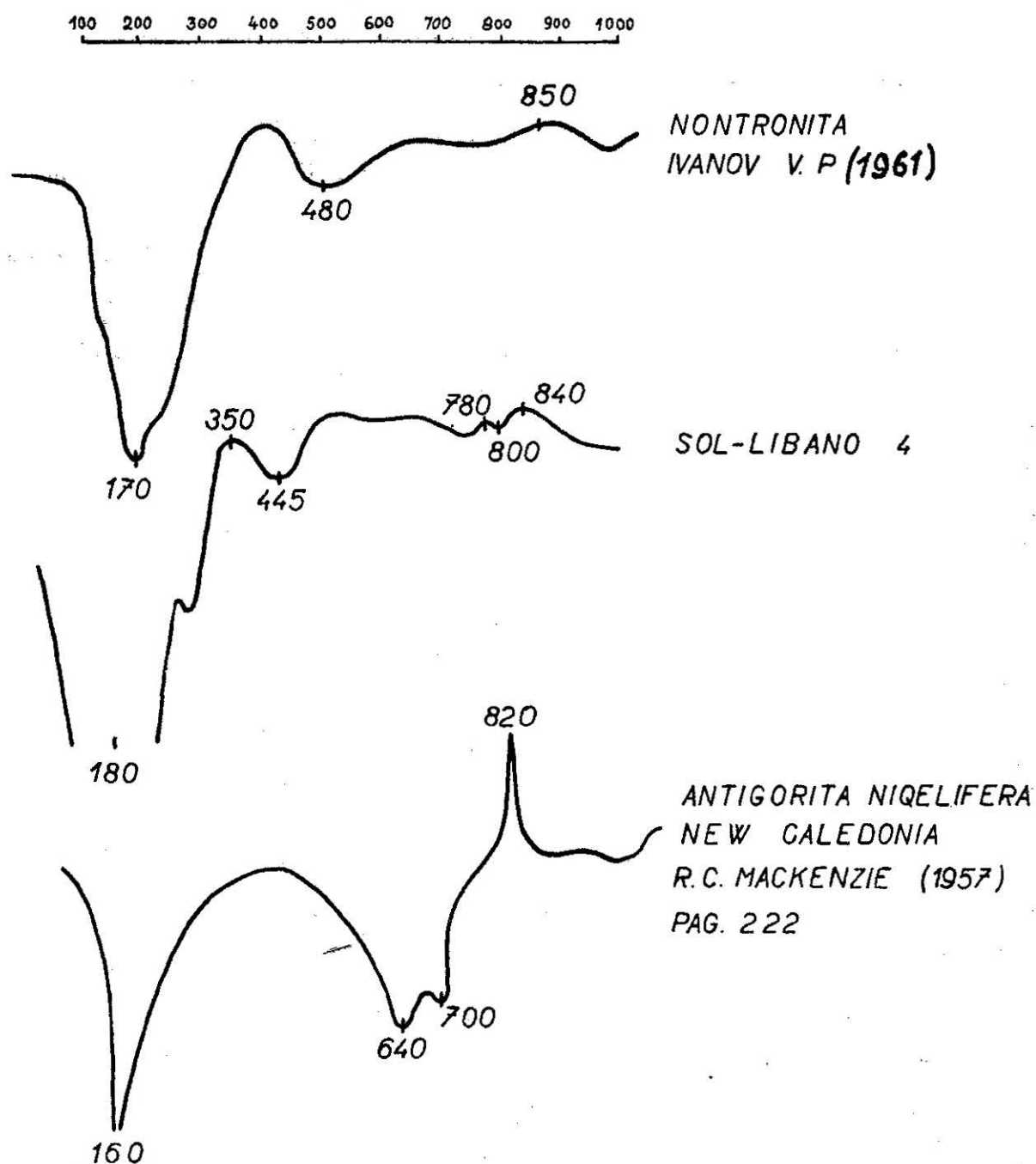


TABLA No 4c

TABLA COMPARATIVA DE LAS CURVAS DE LOS ANALISIS TERMICOS DIFERENCIALES



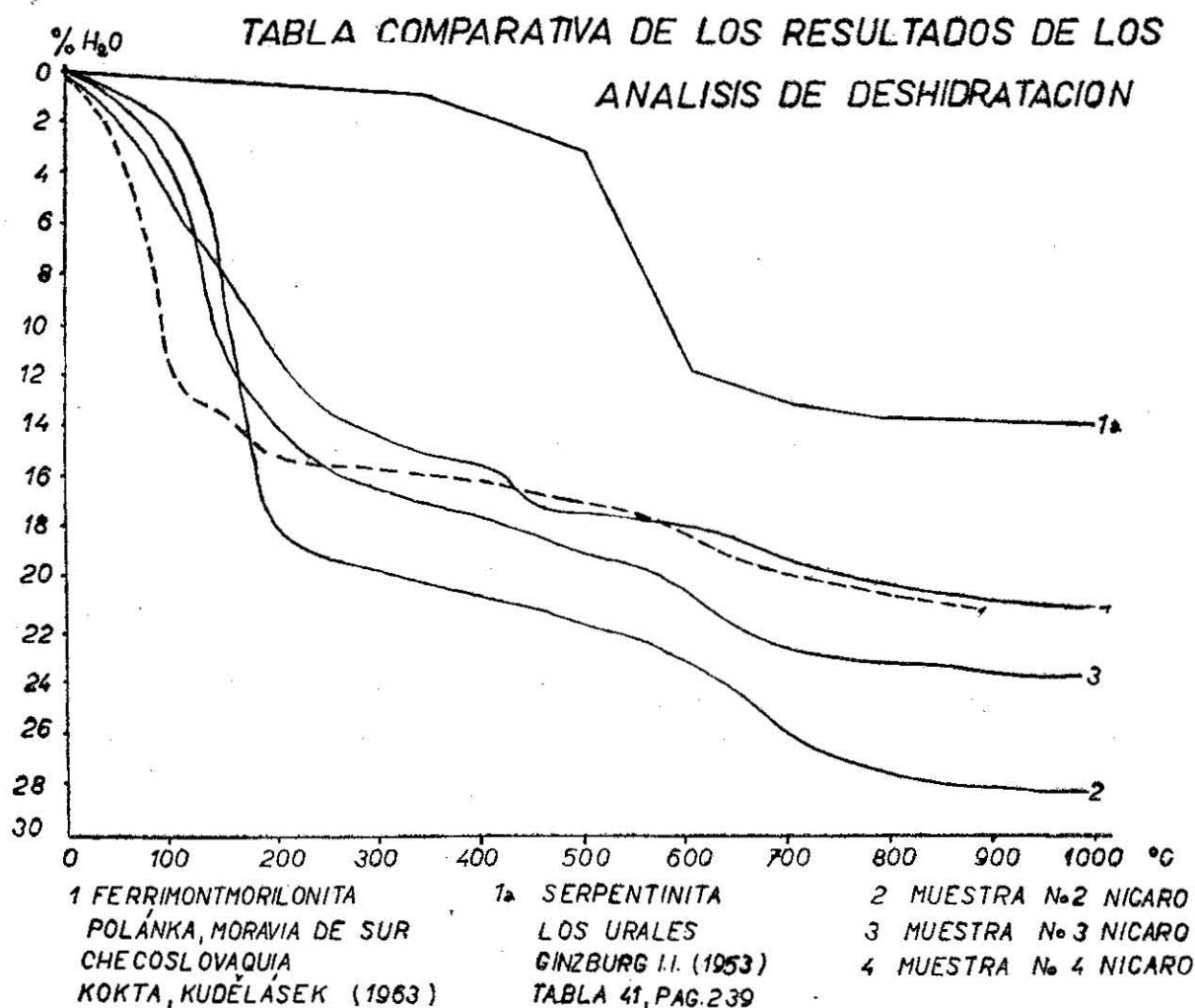
muestras Nos. 2 y 3 corresponden con la línea de la antigorita y de la nepouita d_{200} y es posible que tenga coincidencia con la línea de segundo orden d_{200} de la nontronita. Las otras líneas por su posición e intensidad corresponden a las líneas de la nontronita, de la antigorita y de la nepouita, según la composición de las muestras individuales.

Las líneas restantes no ocupadas, concuerdan con las líneas de los minerales de los hidróxidos de hierro.

Los mismos resultados se obtuvieron de los análisis térmicos diferenciales y por deshidratación. En la tabla No. 3 comparamos las reacciones endotérmicas y exotérmicas de las muestras Nos. 2, 3 y 4 con algunas nontronitas de las serpentinas de los Urales. En las tablas 4a, 4b y 4c, comparamos la trayectoria de las

curvas de las muestras Nos. 2, 3 y 4 con la nontronita, según Ivanov V. P. (1961), con la antigorita niquelífera de la Nueva Caledonia según Mackenzie R. C. (1957), y con la serpofita según Ginzburg I. I. (1953). Las reacciones endotérmicas de baja temperatura desde los 160°C hasta los 180°C corresponden al agua capilar de la nontronita; la endorreacción suave desde los 300°C hasta los 310°C corresponde a la hidrogeothita o turgita; y el intervalo desde los 445°C hasta los 470°C, corresponde a la nontronita. La reacción endotérmica fundamental (en las tablas 4a y 4b) en el periodo desde los 625°C hasta los 670°C pertenece a la serpofita o a la antigorita niquelífera. La reacción fuerte exotérmica en la muestra No. 2, a los 850°C y en la muestra No. 3, a los 810°C, corresponde a la serpofita de los Urales o a la antigorita niquelífera de

TABLA No 5



Nueva Caledonia según R. C. Mackenzie (1957) página 222; y la reacción exotérmica más débil en la muestra No. 3 a los 850°C, en la muestra No. 4 a los 840°C corresponde a la reacción exotérmica de la nontronita.

La trayectoria de las curvas obtenidas por medio de los análisis de deshidratación de las muestras Nos. 2, 3 y 4 de Nicaro es prácticamente idéntica. El contenido menor del agua capilar y del agua cristalina en las muestras Nos. 3 y 4 desplaza las curvas en el diagrama hacia arriba. La disminución del agua de los hidróxidos es igual en todas las muestras. (Ver la tabla No. 5). Se hizo una comparación de los minerales

estudiados con la ferrimontmorillonita y la serpentinita. La liberación del agua capilar en las muestras estudiadas, está desplazada casi a unos 180°C (compare las curvas de los análisis térmicos diferenciales con relación a la ferrimontmorillonita de Polánka). Este fenómeno se puede explicar refiriéndolo con la disminución del agua de los hidróxidos de hierro, los cuales están presentes en pequeñas cantidades en las muestras estudiadas. En el gráfico podemos observar que en las muestras 2, 3 y 4, es decir, en el perfil estratigráfico de abajo hacia arriba, aumenta la impureza de hidróxido de hierro. Al mismo tiempo en el mismo sentido disminuye la cantidad del agua capilar, lo que

TABLA No. 6 NICARO
Muestra No. 2

Temp. en °C	Pérdida del agua En %
110	18.45
110-235	0.75
235-320	1.00
320-420	1.00
420-530	1.20
530-780	5.00
780-850	1.00

TABLA No. 7 NICARO
Muestra No. 3

Temp. en °C	Pérdida del agua En %
110	15.79
110-250	1.94
250-320	1.20
320-520	2.40
520-690	3.20
690-840	0.80

TABLA No. 8 NICARO
Muestra No. 4

Temp. en °C	Pérdida del agua En %
110	0.14
110-240	1.20
240-320	2.80
320-520	2.20
520-640	1.00
640-780	0.40
780-835	0.40
835-900	0.20

TABLA No. 9

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	32.92	5487	5487	3590	1936	— 39
Al ₂ O ₃	0.26	16	—	—	—	—
Cr ₂ O ₃	0.23	15	968	—	968	—
Fe ₂ O ₃	14.29	937	—	—	—	—
FeO	0.48	67	—	—	—	—
MnO	0.14	20	—	—	—	—
NiO	2.39	317	5386	5386	—	—
CoO	0.01	—	—	—	—	—
MgO	19.93	4982	—	—	—	—
CaO	0.15	27	27	—	27	—
K ₂ O	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	—	—	—	—	—	—
SO ₃	—	—	—	—	—	—
H ₂ O 530° - 900°	6.00	3333	—	—	—	—
H ₂ O 320° - 530°	2.20	1222	5528	5590	1936	+ 2
H ₂ O 235° - 320°	1.00	556	—	—	—	—
H ₂ O 110° - 235°	0.75	417	—	—	—	—
H ₂ O 110°	18.45	10238	10238	—	—	10238
	99.89	27634	27634	12566	4867	10201

se nota en el gráfico mediante el desplazamiento de las curvas hacia arriba.

La disminución de la cantidad del agua en cada uno de los periodos de temperatura aparece en las tablas Nos. 6, 7 y 8.

A partir de los resultados de los análisis de rayos X, análisis térmicos diferenciales y de los de deshidratación, podemos determinar los minerales estudiados como una mezcla de antigorita, con contenido de componente de nepouita, y de nontronita con impurezas de hidróxidos de hierro.

TABLA No. 10		Sol-Líbano		Muestra No. 3		
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	36.67	6112	6112	2734	2490	+ 888
Al ₂ O ₃	0.30	34	—	—	—	—
Cr ₂ O ₃	0.12	8	1245	—	1245	—
Fe ₂ O ₃	19.25	1203	—	—	—	—
FeO	0.35	49	—	—	—	—
MnO	0.23	32	—	—	—	—
NiO	2.46	321	4102	4102	—	—
CoO	0.02	—	—	—	—	—
MgO	14.80	3700	—	—	—	—
CaO	0.20	36	36	—	36	—
K ₂ O	TS	—	—	—	—	—
Na ₂ O	TS	—	—	—	—	—
SO ₃	TS	—	—	—	—	—
H ₂ O 520° - 900°	4.00	2222	—	—	—	—
H ₂ O 330° - 520°	2.40	1333	5300	2734	2490	+ 76
H ₂ O 250° - 320°	1.20	667	—	—	—	—
H ₂ O 110° - 250°	1.94	1078	—	—	—	—
H ₂ O 110°	15.79	8771	8771	—	—	8771
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	99.73	25566	25566	9570	6261	9735

TABLA No. 11		Sol-Líbano		Muestra No. 4 (2)		
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	36.05	6005	6005	1402	4524	+ 79
Al ₂ O ₃	2.78	273	—	—	—	—
Cr ₂ O ₃	0.69	45	2262	—	2262	—
Fe ₂ O ₃	31.10	1944	—	—	—	—
FeO	—	—	—	—	—	—
MnO	0.37	52	—	—	—	—
NiO	2.81	376	—	—	—	—
CoO	0.09	12	2104	2104	—	—
MgO	6.50	1625	—	—	—	—
CaO	0.22	39	—	—	—	—
K ₂ O	TS	—	—	—	—	—
Na ₂ O	TS	—	—	—	—	—
SO ₃	TS	—	—	—	—	—
H ₂ O 320° - 900°	4.20	2333	—	—	—	—
H ₂ O 240° - 320°	2.80	1555	5921	1402	4519	—
H ₂ O 110° - 240°	3.66	2033	—	—	—	—
H ₂ O 110°	9.14	5077	5077	5077	5	+ 5072
	<u>100.41</u>	<u>21369</u>	<u>21369</u>	<u>4908</u>	<u>11310</u>	<u>5151</u>

Las tablas Nos. 9, 10 y 11 contienen los resultados de los análisis químicos y el recálculo de ellos a las fórmulas teóricas de antigorita y nontronita como los componentes principales de las muestras estudiadas.

REFERENCIAS A LAS TABLAS

Nos. 9, 10 y 11

- 1 — Por ciento de peso
- 2 — Cocientes moleculares ($\times 10^4$)
- 3 — Agrupamiento de los cocientes moleculares según su capacidad de mezclarse isomórficamente.
- 4 — Cálculo del componente: $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{MgO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (antigorita)
- 5 — Cálculo del componente: $6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{R}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (nontronita).
- 6 — El resto elevado del agua se puede considerar como agua capilar.

No. 10:

- 1 — Por ciento de agua.
- 2 — Cocientes moleculares ($\times 10^4$)
- 3 — Agrupamiento de los cocientes moleculares según su capacidad de mezclarse isomórficamente.
- 4 — Cálculo del componente: $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{MgO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (antigorita).
- 5 — Cálculo del componente: $6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{R}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (nontronita).
- 6 — El resto se refiere a una cierta forma de sílice.

No. 11:

- 1 — Por ciento de peso.
- 2 — Cocientes moleculares ($\times 10^4$)
- 3 — Agrupamiento de los cocientes moleculares según su capacidad de mezclarse isomórficamente.
- 4 — Cálculo del componente: $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{MgO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (antigorita).
- 5 — Cálculo del componente: $6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{R}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (nontronita).
- 6 — El resto del agua lo consideramos como agua capilar.

El cálculo de los análisis químicos nos da aproximadamente la correlación entre los minerales principales sin tener en cuenta la presencia de clorita y componentes de hierro hidratados, los cuales se verificaron mediante los análisis de rayos X y análisis térmicos diferenciales. La relación entre los componentes fundamentales dadas por los cocientes moleculares es la siguiente:

SOL-LIBANO Muestra No. 2:

Antigorita — 72.08%
Nontronita — 27.92%

SOL-LIBANO Muestra No. 3:

Antigorita — 57.24%
Nontronita — 37.45%
 SiO_2 — 5.31%

SOL-LIBANO Muestra No. 4:

Antigorita — 30.12%
Nontronita — 69.52%
 SiO_2 — 0.48%

Las muestras Nos. 6 y 7 de Sol-Líbano representan la parte superficial de la corteza de intemperismo.

La muestra No. 6 está formada por un material rojo-marrón oscuro, blando y plástico sin textura.

La muestra No. 7 representa un mineral marrón-rojo oscuro con el tono violáceo. Característica es la presencia de las concreciones.

Los resultados de los análisis térmicos diferenciales de estas dos muestras, señalan dos reacciones endotérmicas bruscas en el período de temperatura de los 150°C y 340°C . A continuación, si comparamos las curvas de las muestras Nos. 6 y 7 con las curvas de turgita, goethita y hidrohematita (vea las tablas Nos. 12 y 13), tenemos que la trayectoria de las curvas estudiadas, correspondientes a las muestras investigadas, corresponden plenamente con la curva de la turgita, la cual con su contenido de agua característico ocupa lugar entre la hidrohematita y goethita.

Siempre contiene mayor cantidad de agua que la hidrohematita, el agua cristalina en un 4.10% y el agua molecular de un 2% a un 5%. El análisis químico de la muestra No. 6 expresa 9.5% de agua cristalina y 3.6% de agua molecular. El análisis químico de la muestra No. 7 se presenta en la tabla No. 14.

TABLA No. 12

Tipo del mineral	1ra. reacción endotérmica en $^\circ\text{C}$	2da. reacción endotérmica en $^\circ\text{C}$
Hidrohematita	$125^\circ - 150^\circ$	—
Hidrogoethita	$92^\circ - 105^\circ$	$339^\circ - 370^\circ$
Goethita	—	$339^\circ - 370^\circ$
Lepidocrocita	—	$342^\circ - 350^\circ$
Turgita	$125^\circ - 150^\circ$	$339^\circ - 370^\circ$

TABLA No 13

TABLA COMPARATIVA DE LAS CURVAS
DE LOS ANALISIS TERMICOS DIFERENCIALES

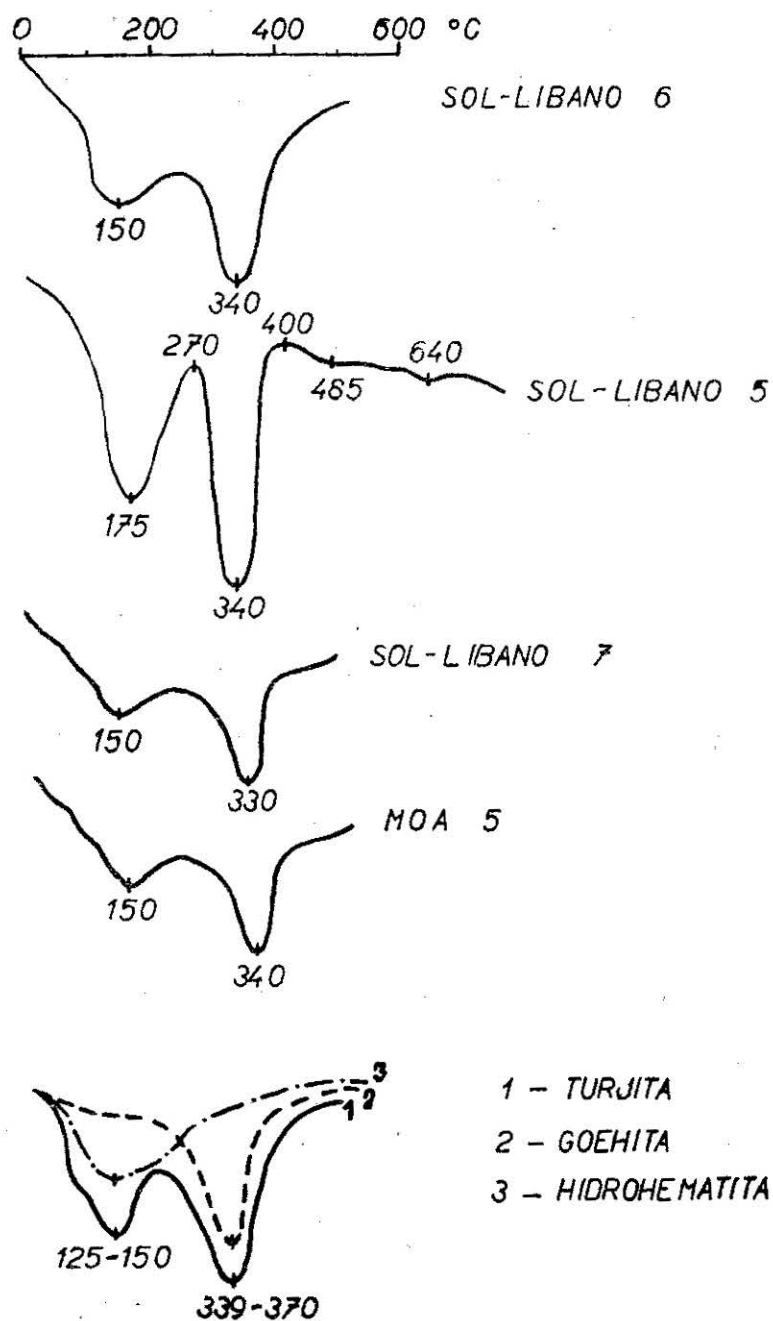


TABLA No. 14 **Sol - Líbano No. 7**

		%
SiO ₂	—	6.92
Cr ₂ O ₃	—	2.68
Al ₂ O ₃	—	9.51
Fe ₂ O ₃	—	67.50
FeO	—	—
MnO	—	0.30
NiO	—	1.16
CoO	—	0.09
CaO	—	0.13
MgO	—	0.70
K ₂ O	—	—
Na ₂ O	—	—
H ₂ O ⁺	—	9.50
H ₂ O ⁻	—	3.16
		<hr/> 99.65

Las impurezas en el hidrato de Fe, es decir, en la muestra No. 7 no fueron identificadas por no tener los resultados del análisis de rayos X.

En las posiciones bajas de la corteza de intemperismo, a veces se encuentran lentes o regiones irregulares de un mineral rojo que corresponde a la muestra llamada Sol-Líbano No. 5. Macroscópicamente se nota como un material homogéneo plástico de color rojo-marrón claro.

El análisis de los rayos X de la muestra No. 5 ha sido comparado con la goethita, con la cual concuerdan las posiciones de las líneas espectrales. En algunos casos las líneas son de diferentes intensidades, por ejemplo las 2.71, 2.45, etc. Probablemente el mineral tiene la estructura parecida a la de la goethita.

Las líneas no ocupadas por la goethita concuerdan con las de la nontronita. Siempre aparecen en la menor intensidad, lo que demuestra la presencia de estos minerales en forma de impurezas en los hidróxidos de Fe. (Vea la tabla No. 15).

La curva del análisis ATD está caracterizada por 2 endorreacciones principales en el período de los 175°C y 340°C.

La trayectoria de la curva corresponde a la turgita antes descrita, solamente la 1ra. reacción está desplazada por la presencia del crisotilo y de la nontronita.

Las endorreacciones más suaves en el período de los 485°C y 640°C pertenecen a la nontronita 1ra. y a la antigorita 2da.

El análisis químico aparece en la tabla No. 16 y está caracterizado por elevados contenidos de Al, Cr, Mn, Co y menores contenidos de Mg, Ni y H₂O, tanto cristalina como molecular. Este cambio del quimismo demuestra que el material ha sido redepositado de las partes superficiales de la corteza de intemperismo, con las cuales corresponde químicamente, teniendo al mismo tiempo mayores contenidos de crisotilo y de nontronita.

TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE RAYOS X

Tabla No. 15

	1		2		3	
	d	i	d	i	d	i
1.	—	—	—	—	15.6	mf
2.	5,10	1,0	5,00	2	—	—
3.	4,45	3,5	—	—	4,55	mf
4.	4,20	7,0	4,18	10	—	—
5.	3,67	2,0	—	—	—	—
6.	3,57	2,0	—	—	—	—
7.	3,38	2,0	3,36	3	—	—
8.	2,97	3,0	2,98	2	2,98	ms
9.	2,84	1,5	—	—	—	—
10.	2,71	4,0	2,69	8	—	—
11.	2,59	3,0	2,57	2	2,62	f
12.	2,52	5,0	—	—	2,56	f
13.	—	—	2,47	2	—	—
14.	2,49	9,0	2,45	9	—	—
15.	2,26	2,0	2,25	3	—	—
16.	2,20	2,5	2,18	5	—	—
17.	2,17	0,5	2,09	1	—	—
18.	2,02	0,5	2,00	1	—	—
19.	1,89	1,0	1,11	2	—	—
20.	1,81	2,0	1,80	4	—	—
21.	1,72	3,0	1,72	7	—	—
22.	1,71	2,0	—	—	1,71	s
23.	1,64	1,0	1,685	3	1,66	s
24.	1,61	2	1,60	3	—	—
25.	1,57	2	1,563	5	—	—
26.	1,56	1,5	—	—	1,51	mf

1 Muestra No. 5, Nicaro, Sol Líbano

2 Goethita, V. I. Mischev (1957), p. 442, muestra 309

3 Nontronita, K. Jasmund (1955), p. 126, muestra 19

Leyenda de la intensidad:

mf — muy fuerte

ms — muy suave

f — línea fuerte

s — línea suave

TABLA No. 16 Sol-Líbano No. 5

	%
SiO ₂	— 13.08
TiO ₂	— 0.05
Al ₂ O ₃	— 3.17
CrO ₃	— 1.28
Fe ₂ O ₃	— 65.05
FeO	— —
MnO	— 0.45
NiO	— 1.46
CoO	— 0.08
MgO	— 1.81
CaO	— 0.20
K ₂ O	— TR
Na ₂ O	— TR
SO ₃	— TR
H ₂ O 390° - 900°	— 1.63
H ₂ O 290° - 390°	— 6.60
H ₂ O 110° - 230°	— 0.97
H ₂ O 110°	— 4.63
	100.46

En las posiciones inferiores de la corteza, en las serpentinas no intemperizadas se encuentran unos minerales verdes, los cuales rellenan las grietas o cavernas pequeñas. Este mineral está representado por las muestras Nos. 1a y 1c.

Muestra No. 1a. Está formada por un mineral de color verde de hierba claro a veces con el tono azul. La dureza es de 2.3.

Muestra No. 1c. Está formada de un material duro, pero un poco frágil, de color verde-blanco con tono gris. Dureza 2.1.

La ocurrencia de estos dos minerales es esporádica y aparecen por lo general en las cotas altas y los declives bruscos en el yacimiento.

Los resultados de los análisis de rayos X de la muestra No. 1a de Sol-Líbano, muestran que la posición de las líneas espectrales y sus intensidades corresponden a la Alfa-cerolita. (Vea la tabla No. 17).

Alfa-cerolita, que pertenece al grupo de la serpentinita, tiene su reacción exotérmica característica alrededor de los 800°C, la cual no tiene β - cerolita y garnierita.

TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE RAYOS X

Tabla No. 17

	1		2	
	d	i	d	i
1.	7,28	9	7,31	10
2.	4,45	7	4,34	6
3.	3,60	8	3,56	8
4.	3,30	5	—	—
5.	2,60	5	2,56	4
6.	2,43	7	2,42	6
7.	—	—	2,28	2
8.	2,10	3	2,06	4
9.	—	—	1,74	6
10.	—	—	1,58	2
11.	1,52	10	1,52	10
12.	—	—	1,40	2
13.	1,30	8	1,30	8

1 Muestra No. 1a, Nicaro, Sol Líbano
2 δ cerolita V. I. Mischev (1957)

Tabla No. 19

	1		2		3		4	
	d	i	d	i	d	i	d	i
1.	7,249	10	7,24	10	7,26	10	7,38	9
2.	4,514	8	4,61	4	4,54	3	4,604	7
3.	3,623	9	3,61	10	3,61	8	3,695	10
4.	3,336	6	—	—	—	—	—	—
5.	2,642	5	—	—	2,625	6	—	—
6.	2,583	4	2,59	9	—	—	—	—
7.	2,527	4	2,52	2	—	—	—	—
8.	2,434	8	2,445	2	2,480	6	2,463	9
9.	—	—	—	—	2,425	6	—	—
10.	2,154	4	2,157	7	—	—	—	—
11.	2,118	4	—	—	2,118	3	—	—
12.	2,079	4	—	—	—	—	2,098	3
13.	1,527	10	1,534	5	1,527	10	1,528	10
14.	1,315	5	1,312	4	1,317	5	1,306	6

1 Muestra No. 1c, Nicaro, Sol Líbano.
2 Antigorita, V. I. Mischev (1957) p. 753, muestra 815a.
3 Nepouita, V. I. Mischev (1957) p. 758, muestra 823.
4 Serpentinita, V. I. Mischev (1957) p. 758, muestra 822.

TABLA No. 16 Sol-Líbano No. 5

	%
SiO ₂	— 13.08
TiO ₂	— 0.05
Al ₂ O ₃	— 3.17
CrO ₃	— 1.28
Fe ₂ O ₃	— 65.05
FeO	— —
MnO	— 0.45
NiO	— 1.46
CoO	— 0.08
MgO	— 1.81
CaO	— 0.20
K ₂ O	— TR
Na ₂ O	— TR
SO ₃	— TR
H ₂ O 390° - 900°	— 1.63
H ₂ O 290° - 390°	— 6.60
H ₂ O 110° - 230°	— 0.97
H ₂ O 110°	— 4.63
	100.46

En las posiciones inferiores de la corteza, en las serpentinas no intemperizadas se encuentran unos minerales verdes, los cuales rellenan las grietas o cavernas pequeñas. Este mineral está representado por las muestras Nos. 1a y 1c.

Muestra No. 1a. Está formada por un mineral de color verde de hierba claro a veces con el tono azul. La dureza es de 2.3.

Muestra No. 1c. Está formada de un material duro, pero un poco frágil, de color verde-blanco con tono gris. Dureza 2.1.

La ocurrencia de estos dos minerales es esporádica y aparecen por lo general en las cotas altas y los declives bruscos en el yacimiento.

Los resultados de los análisis de rayos X de la muestra No. 1a de Sol-Líbano, muestran que la posición de las líneas espectrales y sus intensidades corresponden a la Alfa-cerolita. (Vea la tabla No. 17).

Alfa-cerolita, que pertenece al grupo de la serpentinita, tiene su reacción exotérmica característica alrededor de los 800°C, la cual no tiene β - cerolita y garnierita.

TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE RAYOS X

Tabla No. 17

	1		2	
	d	i	d	i
1.	7,28	9	7,31	10
2.	4,45	7	4,34	6
3.	3,60	8	3,56	8
4.	3,30	5	—	—
5.	2,60	5	2,56	4
6.	2,43	7	2,42	6
7.	—	—	2,28	2
8.	2,10	3	2,06	4
9.	—	—	1,74	6
10.	—	—	1,58	2
11.	1,52	10	1,52	10
12.	—	—	1,40	2
13.	1,30	8	1,30	8

1 Muestra No. 1a, Nicaro, Sol Líbano
2 δ cerolita V. I. Mischev (1957)

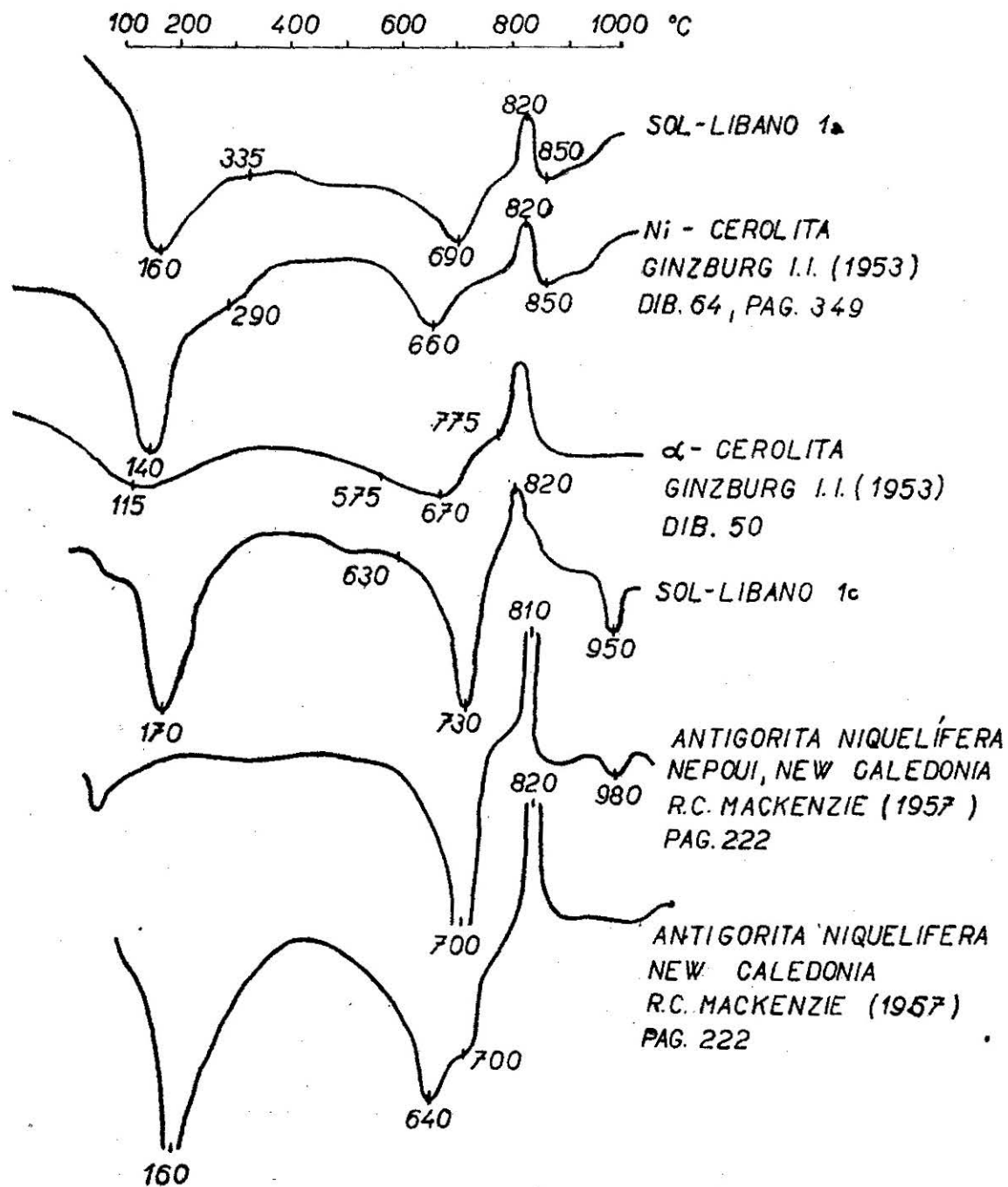
Tabla No. 19

	1		2		3		4	
	d	i	d	i	d	i	d	i
1.	7,249	10	7,24	10	7,26	10	7,38	9
2.	4,514	8	4,61	4	4,54	3	4,604	7
3.	3,623	9	3,61	10	3,61	8	3,695	10
4.	3,336	6	—	—	—	—	—	—
5.	2,642	5	—	—	2,625	6	—	—
6.	2,583	4	2,59	9	—	—	—	—
7.	2,527	4	2,52	2	—	—	—	—
8.	2,434	8	2,445	2	2,480	6	2,463	9
9.	—	—	—	—	2,425	6	—	—
10.	2,154	4	2,157	7	—	—	—	—
11.	2,118	4	—	—	2,118	3	—	—
12.	2,079	4	—	—	—	—	2,098	3
13.	1,527	10	1,534	5	1,527	10	1,528	10
14.	1,315	5	1,312	4	1,317	5	1,306	6

1 Muestra No. 1c, Nicaro, Sol Líbano.
2 Antigorita, V. I. Mischev (1957) p. 753, muestra 815a.
3 Nepouita, V. I. Mischev (1957) p. 758, muestra 823.
4 Serpentinita, V. I. Mischev (1957) p. 758, muestra 822.

TABLA No 18

TABLA COMPARATIVA DE LAS CURVAS
DE LOS ANALISIS TERMICOS DIFERENCIALES



que pertenecen al grupo de la caolinita. En la tabla No. 18 comparamos las trayectorias de las curvas térmicas de la muestra 1a. con la cerolita niquelífera y la Alfa-cerolita.

El análisis de rayos X de la muestra No. 1c, Sol-Líbano, muestra idéntica posición e intensidad a todas las líneas espectrales determinantes y secundarias de la antigorita y de la nepouita. Vea la tabla No. 19. El análisis térmico diferencial de la muestra No. 1c, tiene sus mínimas reacciones endotérmicas a los 170°C y a los 730°C, y una reacción suave a los 950°C. El máximo de la reacción exotérmica ocurre a los 820°C. La trayectoria de la curva es característica para los minerales del grupo de las serpentinitas-antigoríticas que contienen níquel. La comparación de estas antigoritas niquelíferas con las antigoritas niquelíferas de

Nueva Caledonia, está en la tabla No. 18 según R. C. Mackenzie (1957), las variedades magnésicas y niquelíferas de la antigorita dan el máximo exotérmico entre los 800°C y los 830°C. Para la antigorita niquelífera de Thio, Nueva Caledonia (que contiene 6% NiO), él presenta el comienzo de la reacción exotérmica principal alrededor de los 650°C y su máximo alrededor de los 780° C. En la Muestra No. 1c está el comienzo a los 630°C y el máximo a los 730°C. De los resultados de los análisis de rayos X y de los análisis térmicos diferenciales podemos decir que la muestra investigada No. 1c de Sol-Líbano es antigorita magnésica con contenido de componentes de nepouita.

Los análisis químicos de las muestras Nos. 1a y 1c y los cálculos de ellos, aparecen en las tablas Nos. 20 y 21.

TABLA No. 20

Sol-Líbano 1a.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	50.80	8467	8467	6937	1530	—
R ₂ O ₃	TR					
MnO	0.07	10	6937	6937	—	—
NiO	11.53	1543				
CaO	1.19	212				
MgO	20.69	5172				
H ₂ O ⁺	8.60	4777	4777	3468	1309	—
H ₂ O [—]	7.54	4189	4189	—	—	4189
	<u>100.42%</u>	<u>20181</u>	<u>20181</u>	<u>17342</u>	<u>2839</u>	<u>4189</u>

Referencias a la tabla No. 20

- 1 — Por ciento de peso.
- 2 — Cocientes moleculares ($\times 10^4$)
- 3 — Agrupamiento de los cocientes moleculares según su capacidad de mezclarse isomórficamente.
- 4 — Cálculo del componente: SiO₂.MgO.O.5H₂O. (δ - cerolita).
- 5 — El resto que corresponde a SiO₂ (ópalo)
- 6 — El resto. El agua capilar pertenece a los dos minerales.

La relación entre los componentes, calculados en % Urales, Ginzburg I. I. (1951), tabla 104, pág. 263, moleculares, es decir, en relación de $RO : SiO_2 : H_2O^+$ tenemos:
 $= 0.81 : 1 : 0.56$; comparado con la cerolita de los

- 1 — Muestra No. 1 $RO : SiO_2 : H_2O^+ = 0.98 : 1 : 1.03$
 2 — „ „ 2 $RO : SiO_2 : H_2O^+ = 1.05 : 1 : 0.73$
 3 — „ „ 3 $RO : SiO_2 : H_2O^+ = 0.93 : 1 : 0.63$

TABLA No. 21

Sol-Líbano No. 1c

	1	2	3	4	5	6
SiO_2	41.26	6877	6877	6036	841	—
R_2O_3	TR					
MnO	0.03	4	4			+4
NiO	4.13	552	9055	9055		
CaO	0.68	121				
MgO	33.53	8382				
H_2O^+	11.63	6461	6461	6036	425	
H_2O^-	8.83	4705	4705			+4705
	100.09	27102	27102	21127	1266	4709

Referencias a la tabla No. 21

- 1 — Por ciento de peso.
 2 — Cocientes moleculares ($\times 10^4$)
 3 — Agrupamiento de los cocientes moleculares según su capacidad de mezclarse isomórficamente.
 4 — Cálculo del componente: $2SiO_2 \cdot 3MgO \cdot 2H_2O$ (antigorita)
 5 — El resto que corresponde a SiO_2 (ópalo).
 6 — El resto con agua capilar y óxidos de Mn que hacen películas muy finas en las muestras investigadas.

El cálculo del análisis químico en la fórmula teórica de la antigorita, de nuevo asegura la presencia de la antigorita magnésica con contenido de componentes de nepouita.

La presencia de componentes de nepouita en la antigorita magnésica y la posición de las venas en las serpentinitas —en el límite entre las serpentinitas duras y las rocas intemperizadas— dice que el origen de estas venas de antigorita es hipergenético.

RESUMEN

De los resultados de los análisis obtenidos por los resultados de rayos X, análisis térmicos diferenciales, análisis de deshidratación y los análisis químicos, podemos considerar la corteza de intemperismo del yacimiento Nicaro de tipo antigorita-nontronita. De los cálculos aproximados de los análisis químicos, se ve que desde las serpentinas duras hacia arriba, aumenta el componente nontronítico y al mismo tiempo disminuye adecuadamente el componente antigorítico. Estos componentes se transforman hacia arriba en los hidróxidos de hierro.

De acuerdo con Ginzburg (1951), puede notarse en el horizonte niquelífero principal, que hacia la superficie, la influencia de la oxidación, donde el Fe^{2+} se cambia al Fe^{3+} , disminuye el contenido Mg, el cual parcialmente está sustituido por el Ni y hacia abajo en el perfil, aumenta el contenido del agua molecular.

Estas relaciones están presentadas en la tabla número 22.

TABLA No. 22

			FeO	MgO	NiO	H ₂ O—	
Sol-Líbano	No. 7		—	0.70	1.16	3.16	Posiciones superficiales de hidróxido de Fe.
„	„	No. 4	—	6.50	2.81	9.14	
„	„	No. 3	0.35	14.80	2.46	15.79	El horizonte “niquelífero”
„	„	No. 2	0.48	19.93	2.39	18.45	principal.

YACIMIENTO MOA

La corteza de intemperismo del yacimiento Moa, como ya fue mencionado en la introducción, está caracterizada por la fuerte influencia de la redeposición, por eso las muestras tomadas caracterizan los tipos macroscópicos.

Del material que yace por arriba de las serpentinitas fue tomada la muestra Moa No. 2, después de ésta le sigue la muestra Moa No. 3.⁽⁶⁾ (Vea la tabla No. 1). La muestra Moa No. 2, representa un material blando de fácil desintegración de color amarillo-verde. Esta posición contiene a veces unos estratos finos claros de un mineral blanco, que no fue investigado por nosotros, se trata probablemente de la magnesita. Este horizonte está a veces cruzado por los sarros — 2 — de los minerales de Mn. El horizonte descrito está desarrollado irregularmente y generalmente es de poco espesor.

La muestra Moa No. 3⁽⁶⁾ comprende un material de color amarillento-verdoso claro, blando. Bajo la “lupa” tiene la textura micoidal fina. Este horizonte es típicamente estratificado, conteniendo micropliegues, flexuras hasta la estratificación diagonal. Estas posiciones contienen láminas finas de los minerales de Mn y lentes o nidos de un material fino blando de color rojo-marrón.

De la muestra Moa No. 3⁽⁶⁾ se realizó el análisis de los rayos X. El resultado de éste lo comparamos con la montmorillonita, la nontronita, la schuchardita y la

antigorita. La línea basal $d = 15.2$ es la más cercana a la línea basal de la nontronita $d_{001} = 15.3$ y también las otras líneas determinantes según los valores de B. I. Micheev ($d = 4.45$, $i = 10$; $d = 2.552$, $i = 10$; $d = 3.07$, $i = 8$), corresponden a la posición de las líneas espectrales de la muestra investigada; solamente sus intensidades son algo más bajas y también todas las líneas espectrales secundarias son iguales a los valores d e i de la montmorillonita. La línea $d = 5.06$, y la línea $d = 2.79$ concuerdan solamente con las líneas de la montmorillonita $d_{003} = 5.1$ y $d = 2.75$.

La mayoría de las líneas espectrales sin embargo coinciden tanto en la posición como en la intensidad con la schuchardita. En el difractograma no fue sin embargo identificada la línea basal d_{001} , la cual según los valores tabulares tiene un valor alrededor de: $d = 14.5$. El difractograma de la muestra investigada sin embargo muestra la línea de segundo orden de la schuchardita $d_{002} = 7.25$, y de ella, las líneas correspondientes de los órdenes más bajos $d_{003} = 4.80$; $d_{004} = 3.61$; $d_{005} = 2.90$. (Vea la tabla No. 23).

Según los resultados de los análisis de rayos X de la muestra Moa No. 3, se trata de la schuchardita, la cual es parcialmente descompuesta y cambia, posiblemente, en mineral del grupo de la montmorillonita.

El análisis térmico diferencial de la muestra Moa No. 3⁽⁶⁾ tiene tres notables endorreacciones a los 145°, 600° y 815°C y las exorreacciones a los 735° y 840°C,

TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE RAYOS X

Tabla No. 23

1			2			3			4			5			6		
d	i		d	i		d	i		d	i		d	i		d	i	
1.	15,20	4	14,50	10		—			15,30	10		15,60	mf		—		
2.	7,25	3	7,25	2		—			—			—			7,24	10	
3.	5,06	3	—			—			5,10	6		—			—		
4.	4,80	6	4,83	2		4,76	9		—			—			—		
5.	4,60	9	4,62	5		—			4,45	10		4,55	mf		4,61	4	
6.	—		4,22	1		—			4,26	4		—			—		
7.	4,09	4	—			3,923	2		—			—			4,18	2	
8.	3,61	10	3,617	6		3,566	10		—			—			3,61	10	
9.	3,42	2	3,351	—		—			—			—			—		
10.	3,19	2	3,102	1		3,192	1		—			3,11	ms		—		
11.	3,04	3	—			3,017	1		3,07	8		2,98	ms		—		
12.	2,90	3	2,876	5		2,858	6		—			—			—		
13.	2,79	1	—			—			2,75	2		—			—		
14.	2,65	4	2,647	4		2,648	2		—			2,62	f		—		
15.	2,58	4	2,569	4		2,580	2		2,552	10		2,56	f		2,59	9	
16.	2,47	4	—			—			2,497	6		—			2,445	2	
17.	2,41	6	2,400	5		2,394	4		—			—			2,410	2	
18.	2,28	1,5	2,294	1		2,274	2		—			—			—		
19.	2,22	1,5	2,213	1		2,212	2		—			—			2,225	1	
20.	2,15	1,5	—			—			—			—			2,157	7	
21.	2,08	1,5	2,088	2		—			—			—			—		
22.	2,04	4	—			2,028	5		—			—			—		
23.	2,00	3	2,017	2		2,001	3		—			—			—		
24.	—		—			—			—			—			1,824	4	
25.	1,73	1,5	1,737	2		1,731	3		—			—			1,738	3	
26.	1,70	3,5	—			1,688	3		1,691	7		1,71	s		—		
27.	1,65	4d	1,675	4		1,670	3		—			1,66	s		—		
28.	1,58	3d	—			1,572	3		—			—			1,558	5	
29.	1,54	5	1,533	7		1,538	4		—			—			—		
30.	—		—			—			—			1,51	mf		1,503	3	

1 Muestra No. 3⁽⁶⁾ Moa

2 Schuchardita, Bazyli Ostrovicki (1965), p. 67, muestra 1

3 Schuchardita, V. I. Mischev (1957), p. 798, muestra 873

4 Montmorilonita, V. I. Mischev (1957), p. 806, muestra 881c

5 Nontronita, K. Jasmund (1955) p. 196, muestra 19

6 Antigorita, V. I. Mischev (1957), p. 753, muestra 815a

Leyenda de la intensidad:

mf — muy fuerte

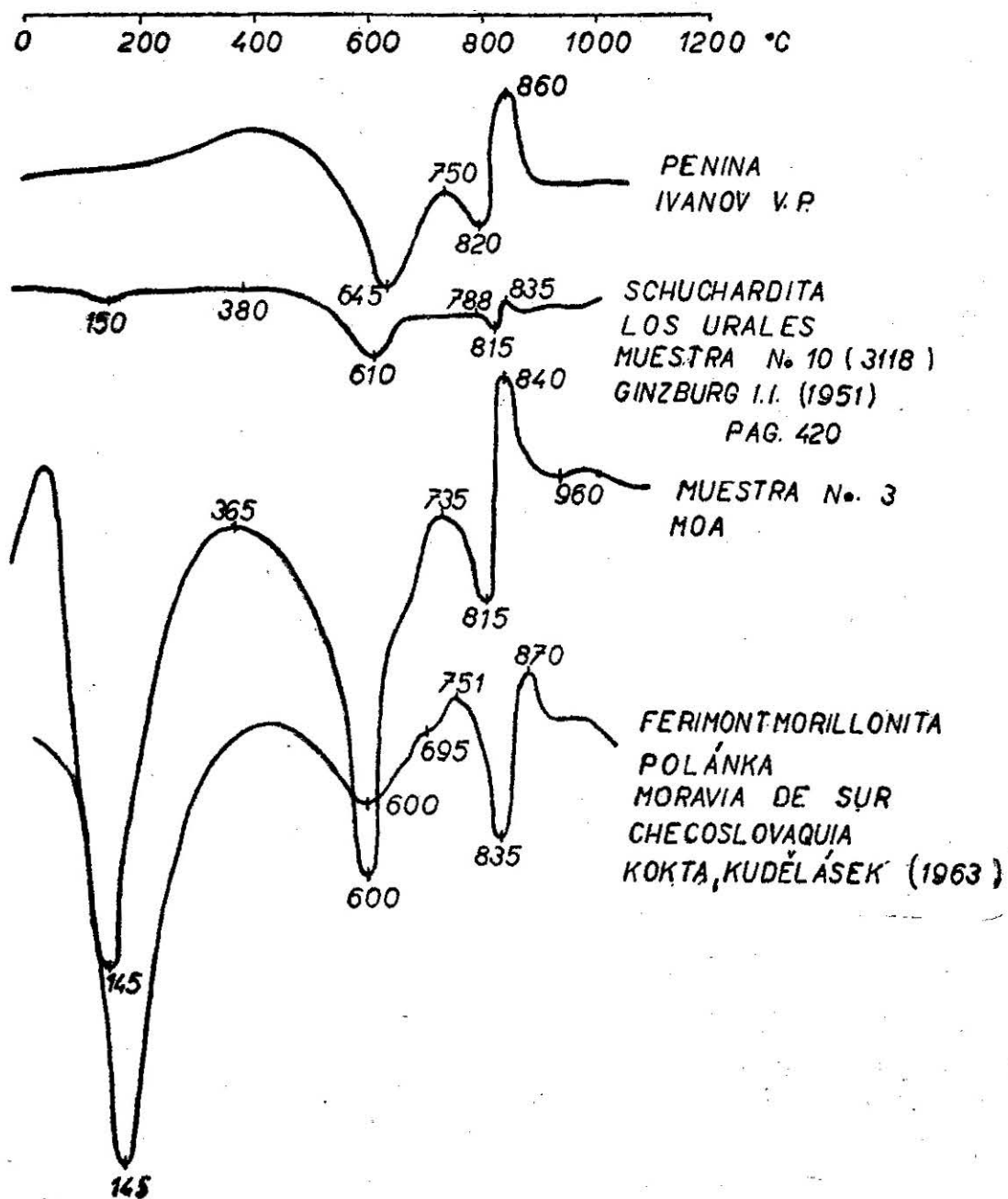
ms — muy suave

f — línea fuerte

s — línea suave

TABLA No 24

TABLA COMPARATIVA DE LAS CURVAS
DE LOS ANALISIS TERMICOS DIFERENCIALES



y una reacción suave endotérmica a los 650°C. Los dos tipos de reacciones concuerdan con las curvas de la schuchardita de los Urales. El transcurso de la curva de esta muestra con sus mínimos de las endorreacciones y sus máximos de las exorreacciones se aproxima a la pennina. Solamente la reacción endotérmica de pennina a los 645°C está en la muestra investigada desplazada a unos 600°C, igual como en la schuchardita (610°C).

La primera endorreacción que ocurre a los 145°C es típica para los minerales del grupo de la montmorillonita, la segunda endorreacción comienza a los 365°C, lo cual es típico para la nontronita, también la reacción endotérmica suave a los 650°C, es típica para la montmorillonita, igual que la reacción exotérmica suave a los 960°C. La trayectoria de la curva de la muestra investigada se acerca mucho a la ferrimontmorillonita de Polánka (Checoslovaquia), la cual es de origen clorito-niquelífero, la diferencia está con la reacción a los 600°C de la montmorillonita que es más suave, y con la reacción a los 835°C que es más fuerte que las

reacciones de la muestra investigada. (Vea la ~~tabla~~ No. 24).

El análisis de la deshidratación plenamente ~~corresponde~~ al transcurso de la clorita parcialmente ~~descom-~~puesta. En el gráfico No. 25 comparamos el transcurso de la curva de la muestra investigada con la schuchardita de Kremze, de la parte sur de Bohemia según ~~Vie-~~lensky J. (1955). El transcurso de la curva de la ~~mues-~~tra bien corresponde al de la schuchardita de Kremze, la que tiene un poco mayor contenido de agua molecular y por eso la curva de la schuchardita está ~~despla-~~zada un poco para abajo.

Todos los resultados descritos anteriormente ~~dan~~ como resultado final que la muestra Moa No. 3^(e) es schuchardita, la cual es parcialmente transformada en un mineral del grupo de la montmorillonita, que probablemente, es la ferrimontmorillonita que se encuentra entre la nontronita y la montmorillonita.

El análisis químico de la muestra investigada y el cálculo del mismo se presenta en la tabla No. 26.

TABLA No 25

TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE DESHIDRATACION

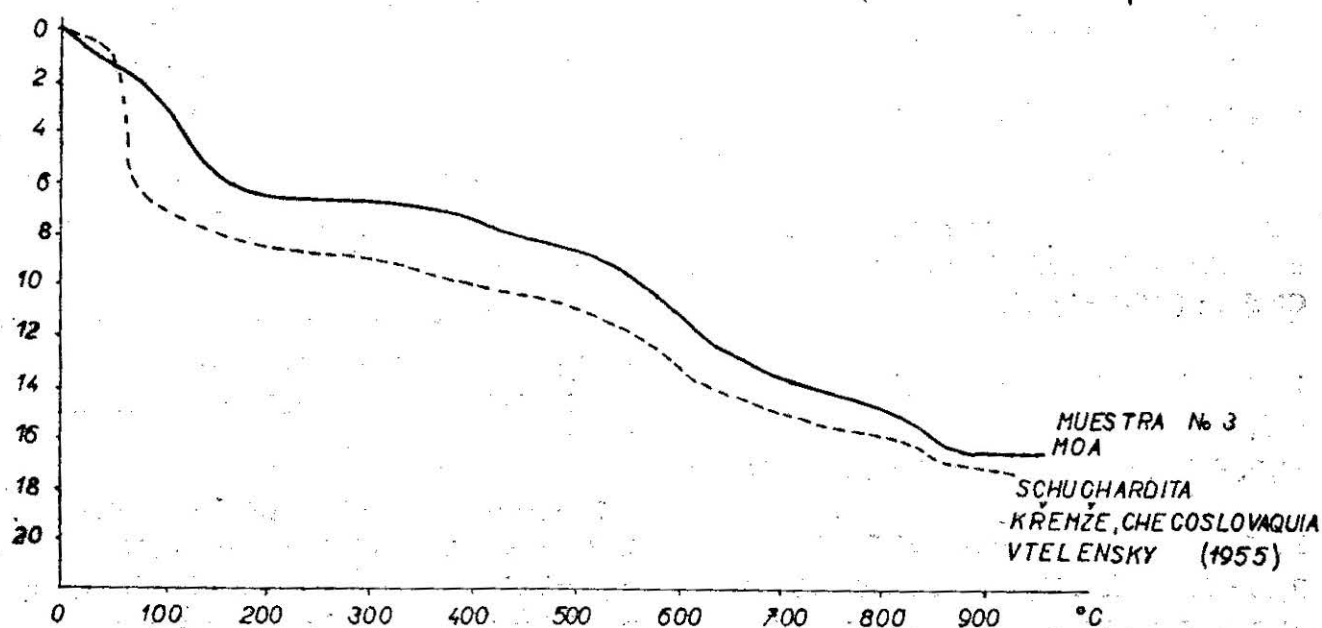


TABLA No. 26 Moa No. 3⁽⁶⁾

	1	2	3	4
SiO ₂	32.10	32.04	5340	5340
Al ₂ O ₃	13.46	13.43	1317	1954
Cr ₂ O ₃	0.28	0.28	19	
Fe ₂ O ₃	9.98	9.89	618	
FeO	2.55	2.54	354	5978
MnO	0.21	0.21	30	
NiO	2.11	2.11	282	
CoO	0.05	0.05	6	
MgO	20.80	20.74	5190	
CaO	0.65	0.65	116	
H ₂ O 320°-1050°	9.66	9.66	5356	6256
H ₂ O 120°-320°	1.62	1.62	900	
H ₂ O 110°	6.80	6.78	3766	3766
	100.27	100.00	23294	23294

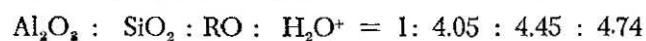
1 — Por ciento del peso.

2 — Por cientos del peso recalculado a 100%

3 — Cocientes moleculares (x 10⁴)

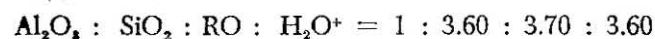
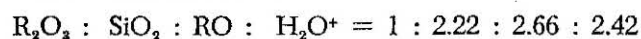
4 — La unión de los cocientes moleculares según la capacidad de la mezcla isomórfica.

Las relaciones calculadas en los porcentos moleculares son las siguientes:



Presentamos para la comparación las relaciones correspondientes de las schucharditas de los Urales según Ginzburg (1951) pág. 420.

No. 9 schuchardita verde los Urales



No. 10 schuchardita amarillo-verde los Urales

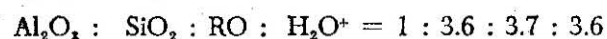
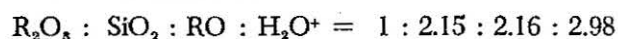


TABLA No. 27 Moa No. 2

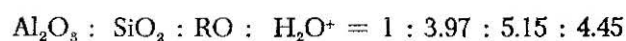
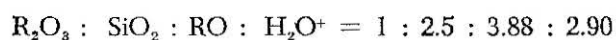
	1	2	3
SiO ₂	31.20	5200	5200
Al ₂ O ₃	13.33	1307	2005
Cr ₂ O ₃	0.17	11	
Fe ₂ O ₃	10.99	687	
FeO	2.89	401	6830
MnO	0.15	21	
NiO	2.85	382	
CoO	0.01	—	
MgO	23.96	5990	
CaO	0.20	36	
H ₂ O 320°-1050°	8.85	4916	5827
H ₂ O 110°-320°	1.64	911	
H ₂ O 110°	3.91	2172	2172
	100.15	22034	22034

1 — Por ciento del peso.

2 — Cocientes moleculares (x 10⁴)

3 — La unión de los cocientes moleculares según la capacidad de la mezcla isomórfica.

La relación calculada en los porcentos moleculares de la muestra Moa No. 2, es la siguiente:



El aumento del contenido de RO en comparación con la muestra Moa No. 3⁽⁶⁾ se debe probablemente a la impureza de la antigorita.

Las muestras Moa Nos. 2 y 3⁽⁶⁾ se aproximan por su quimismo a la schuchardita, de acuerdo con los resultados de los análisis realizados con la muestra Moa No. 3⁽⁶⁾ ya antes descrita.

La muestra Moa No. 4 que forma los nidos en el horizonte estratigráfico de la muestra Moa No. 3⁽⁶⁾ está representada por un mineral blando de color rojo, macroscópicamente aparece homogéneo y plástico.

TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE RAYOS X

Tabla No. 28

	1		2		3		4		
	d	i	d	i	d	i	d	i	
1.	15,20	1	15,2	6	14,5	10	—	—	1 Muestra No. 4, Moa
2.	—	—	—	—	7,25	2	—	—	2 Beidelita, V. I. Micheev (1957), p. 809, muestra 885b
3.	—	—	5,05	4	—	—	5,165	1	3. Schuchardita, Bazyli Ostrovicki (1965)
4.	4,85	4,0	—	—	4,83	2	—	—	
5.	4,76	4,3	4,51	10	4,62	5	4,58	1	4 Goethita, I. I. Ginzburg (1953) p. 71
6.	4,19	7,4	—	—	4,22	1	4,15	9	
7.	3,55	3,2	—	—	3,617	6	—	—	
8.	3,39	1,8	3,36	4	3,351	1	3,40	2	
9.	3,03	1,0	3,03	4	3,102	1	2,965	2	
10.	2,86	1,3	—	—	2,876	5	—	—	
11.	2,72	3,2	—	—	—	—	—	—	
12.	2,68	4,7	2,60	10	2,647	4	2,685	10	
13.	2,56	2,3	2,54	10	2,569	4	2,59	2	
14.	2,52	3,2	—	—	—	—	—	—	
15.	2,43	6,6	2,38	4	2,400	5	2,445	10	
16.	2,23	2,6	2,24	2	2,213	1	2,245	4	
17.	2,18	2,8	2,14	2	—	—	2,19	8	
18.	2,06	0,8	—	—	2,088	2	2,00	1	
19.	1,80	1,8	—	—	—	—	1,805	2	
20.	1,79	0,8	—	—	—	—	—	—	
21.	1,71	3,0	1,70	6	1,737	2	1,720	9	
22.	1,62	1,2	1,64	10	1,675	4	1,69	4	
23.	1,56	1,2	—	—	1,533	7	1,565	4	

El análisis de los rayos X (Vea la tabla No. 28), mostró que las líneas en cuanto a la posición coinciden con la goethita, pero no siempre concuerdan en cuanto a la intensidad. Las demás líneas corresponden a la schuchardita y beidelita. Se trata probablemente sobre la transición de la estructura entre clorita y beidelita. La línea basal $d = 15.20$ concuerda solamente

con la beidelita y las demás líneas corresponden a este mineral. Solamente la línea $d = 4.51$ de la beidelita tiene mayor diferencial. Con la muestra Moa No. 4 concuerda la línea $d = 4.76$ de la schuchardita.

Según los resultados del análisis químico se trata más bien de la impureza de la beidelita en la turgita. Vea la tabla No. 29.

El análisis químico dio el siguiente resultado:

TABLA No. 29

Muestra Moa No. 4

	%
SiO ₂	10.45
TiO ₂	0.07
Cr ₂ O ₃	1.96
Al ₂ O ₃	13.95
Fe ₂ O ₃	51.30
FeO	—
MnO	0.65
NiO	1.16
CoO	0.06
CaO	0.20
MgO	2.86
K ₂ O	trazas
Na ₂ O	trazas
SO ₃	0.10
H ₂ O 390°-900°	3.20
H ₂ O 230°-390°	7.40
H ₂ O 110°-230°	0.16
H ₂ O 110°	6.44
	<hr/> 99.96

El análisis térmico diferencial de esta muestra manifestó las reacciones endotérmicas principales a los 145°C y a los 345°C, lo que demuestra la presencia de la turgita. Las demás endorreacciones ya menos claras a los 545°C y a los 875°C y las exorreacciones a los 900°C muy suaves corresponden a la beidelita. La endorreacción muy suave a los 620°C corresponde probablemente a la clorita.

En la tabla No. 30 se compara la muestra Moa No. 4 con el transcurso de las curvas de la beidelita y las cloritas de los Urales fuertemente descompuestas.

El resultado del análisis químico presenta la disminución del contenido de Ni, Mg, SiO₂ y el aumento del contenido de Cr, Fe, Al y Mn lo que representa el material redepositado de los horizontes superiores y por su composición se aproxima más a la muestra Moa No.

5. La muestra Moa No. 5 fue tomada de la parte superficial del perfil de la corteza de intemperismo. El material es de color rojo-marrón oscuro y contiene además de la fracción fina una gran cantidad de las concreciones de ferruginosas en forma de granos de diferentes tamaños.

Del material investigado se efectuó el análisis químico y el análisis térmico diferencial. El último señala dos efectos endotérmicos notables, a los 150°C y a los 330°C los que de nuevo justifican la presencia de la turgita. Los demás efectos térmicos no están suficientemente claros para poder evaluarlos. (Vea la tabla No. 13).

El análisis químico de la muestra Moa No. 5 es el siguiente:

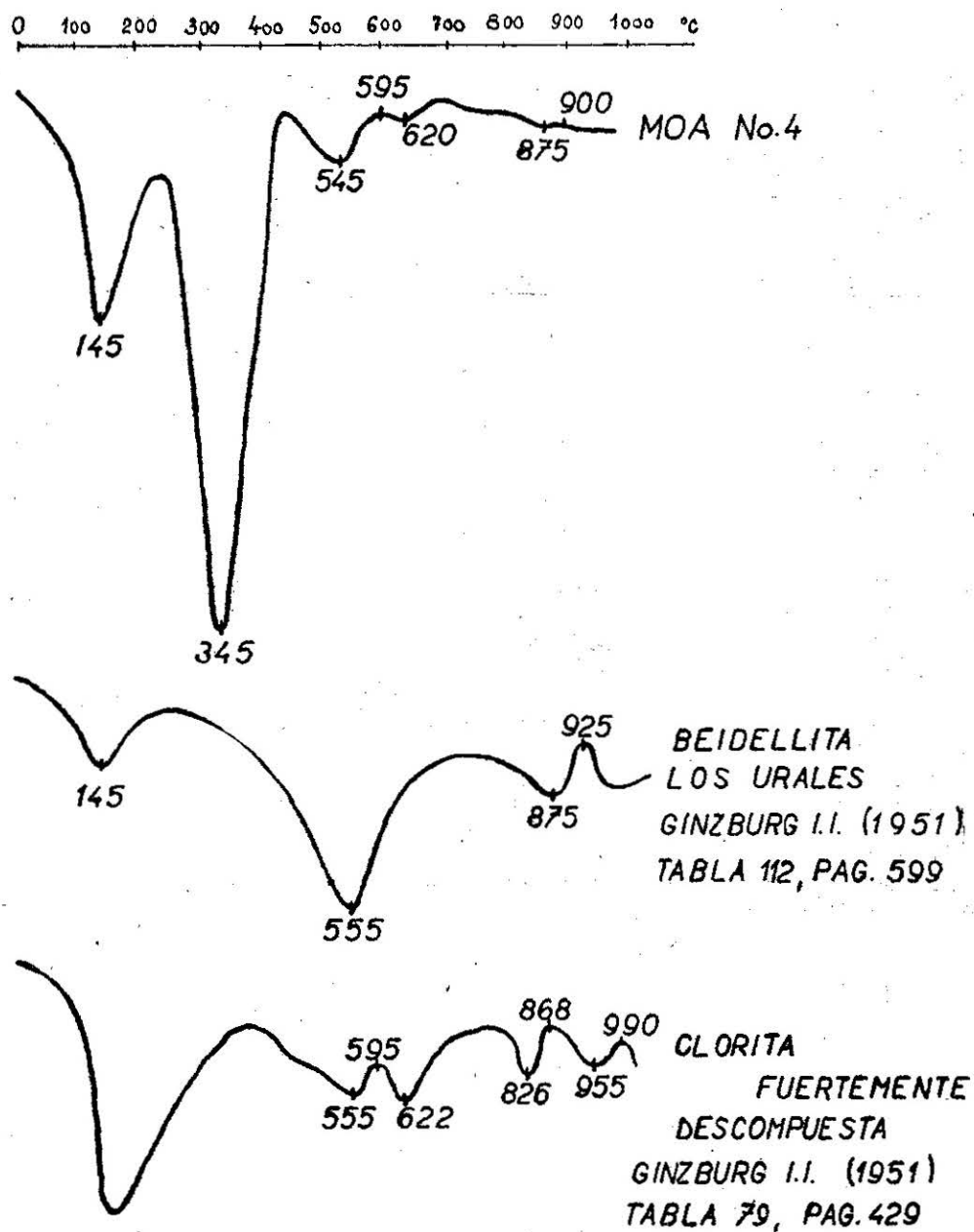
TABLA No. 31

Muestra Moa No. 5

	%
SiO ₂	1.08
TiO ₂	0.10
Al ₂ O ₃	14.00
Cr ₂ O ₃	3.16
Fe ₂ O ₃	69.50
FeO	—
MnO	0.25
NiO	0.36
CoO	0.06
MgO	0.25
CaO	No se determinaron
K ₂ O	" " "
Na ₂ O	" " "
SO ₃	" " "
H ₂ O ⁺	9.90
H ₂ O	2.08
	<hr/> 99.49

TABLA No 30

TABLA COMPARATIVA DE LAS CURVAS
DE LOS ANALISIS TERMICOS DIFERENCIALES



En el análisis de esta muestra se ve la fuerte disminución de los contenidos de Ni, Mg, SiO₂ y el aumento del contenido de Fe, Cr y Ti. En el perfil de la corteza a pesar de que no ha sido tomado idealmente en comparación con el de Nicaro, se observa la misma migración de los elementos como en el yacimiento Nicaro.

El tipo de yacimiento podemos considerarlo como "tipo de clorita".

Con este trabajo hemos obtenido básicos resultados para la Mineralogía de estos yacimientos mundiales y esperamos que se continúen estos trabajos mineralógicos y después geoquímicos desarrollados más detalladamente, aunque creemos que estos primeros resultados básicos puedan servir en algo a la industria.

Métodos para la investigación de los minerales

Método de análisis de rayos X.

Las muestras Nicaro Nos. 2, 3, 4 y 5, y Moa Nos. 3 y 4 fueron analizadas con el difractómetro Müller - Phi-

lips con el método de ionización y registro con el tubo de Geiger-Müller. Lámpara de Cu, filtro Ni, 38 kW, 16 mA. El traslado del tubo G-M registró 2°/min, con un registro de 2 cm/min.

Las muestras Nicaro 1a y 1c fueron analizadas con el método Guinier-Wolf. En estas condiciones: 40 kW, 25 mA, Lámpara Cu, filtro Ni, exposición de 20 horas, con la muestra girada.

Análisis térmicos diferenciales y termogravimétricos.

Todas las muestras fueron analizadas en el derivatógrafo (aparato automático húngaro), con el registro fotoeléctrico que hace 3 curvas. Para el análisis pesamos una muestra de 500 mg, velocidad 100°.

Para terminar, quisiéramos enviar nuestro agradecimiento al Vyzkumny ústav stavebních hmot (Instituto de Investigación de los materiales de construcción), en Brno - Komárov, sobre todo por la realización de algunos análisis y análisis químicos de control. Nuestro agradecimiento pertenece también a los compañeros Dr. Guillermo Aguilera y Dr. Roberto del Monte, por la ayuda en los análisis químicos.

BIBLIOGRAFIA

1. De Vletber, D. R.: Cómo se formó el mineral de níquel cubano. Una lección en la génesis de la laterita. Eng. and Mining Journal, X, 1955, vol. 156, No. 10, pp. 84-87 y 178.
2. Ginzburg, I. I., Rukavichnikova, I. A.: Mineraly drevnei kory vyvetrivaniya Urala. Moscu 1953.
3. Ivanova, V. P.: (1961) Termogramy mineralov. Zap. Vses. Miner. obch. No. XC. Vyp. I.
4. Jasmund, K.: Die Silicatischen Tonminerale. Monographien zu Angewandte Chemie und Chemie-Ingenieur-Technik. Weinheim 1955.
5. Kokta, J., Kudelásek, V./1963/: Niklonosné nerosty od Polanky. Casopis pro mineralogii a geologii, r. 10. c. 1/1965.
6. Linchenat, A., Shirokova, I.: Individual characteristics of nickelyferous Iron / laterits / deposits of the northeastern part of Cuba / Pinares de Mayari, Nicaro and Moa. Congreso International de Geología en India, 1964-1965.
7. Mackenzie, R. C.: The Differential Thermal Investigation of Clays. Mineralogical Society, London 1957.
8. Micheev, V. I.: Rentgenometricheskij opredelitel mineralov. Moscu 1957.
9. Ostrowicki Bazyli /1965/: Nickel Minerals of the Weathering Zone of Serpentinites at Szklary /Lower Silesia/. Polska acad. Nauk. Mineralogical Transactions No. 1.
10. Strunz, H.: Mineralogische Tabellen, 3. Aufl. Leipzig 1957.
11. Vtelensky, J.: Príspevek ke geochemii niklu na lozisku Kremze. Záverečná zpráva UNS Kutná Hora.
12. Informes sobre las labores de exploración geológica del yacimiento de hierro y níquel de Nicaro efectuado en 1939-1961, con el cálculo de reservas para el 1ro. de Enero de 1962.
13. Informe sobre los trabajos de exploración geológica del yacimiento de hierro y níquel de Moa y cálculo de reservas del mismo.
14. Informe sobre los trabajos geológicos de exploración efectuados en el yacimiento de hierro y níquel, Nicaro 1962-63.