

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
FILIAL MINERO-METALURGICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

TRABAJO DE GRADO  
"ALGUNAS CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS DEL YACIMIENTO MARTI,  
NICARO, ORIENTE"

PROFESOR GUIA:

ING. CARLOS A. CROMBET H.

GRADUANDO:

HERMES DIAZ TRUJILLO

APROBADO POR:

PROFESOR GUIA

APROBADO POR:

J. DE DEPARTAMENTO

SANTIAGO DE CUBA  
1975



Indice		Pág.
	Resumen.....	3
Capítulo I	Introducción.....	4
Capítulo II	Síntesis histórica de las investigaciones geoquímicas.....	11
Capítulo III	Metodología de las investigaciones.....	18
Capítulo IV	Desarrollo del trabajo y discusión de los resultados obtenidos.....	28
Capítulo V	Conclusiones y Recomendaciones.....	57
	Bibliografía.....	63
	Relación de anexos gráficos.....	65
	Relación de tablas.....	66



## Resumen

El presente trabajo: " Algunas características geoquímicas del Yacimiento Martí, Nicaro, Oriente ", posee desde un punto de vista científico-técnico, el objetivo de aportar conclusiones y recomendaciones de valor teórico-práctico, las cuales puedan contribuir en algo al logro de una explotación más racional y efectiva del área estudiada. Para esto, se emplearon diferentes métodos geoquímicos, conjugando los resultados obtenidos, con los métodos geológicos, petrográficos y geomatemáticos efectuados en la misma área.

El objeto fundamental del trabajo lo constituyen los datos de contenido de elementos y componentes químicos y los espesores de los horizontes o capas de la corteza de intemperismo, obtenidos mediante las perforaciones en red de exploración (25x25 m.) realizadas en el Grupo V del Yacimiento Martí.

El tiempo total requerido para la realización del trabajo, fue de seis meses aproximadamente, comenzando en Enero y finalizando en Junio del presente año 1975.

Se puede señalar, entre las conclusiones más importantes de este trabajo, la selección de bloques de mejores cualidades geólogo-geoquímicas y tecnológicas dentro del Grupo V del Yacimiento Martí, recomendándose a la vez, la necesidad de valorar dicha selección, mediante las investigaciones y trabajos que realiza la Empresa Comandante René Ramos Latour de Nicaro.

El trabajo consta de cinco capítulos, una relación bibliográfica que incluye catorce títulos, ocho anexos gráficos y doce tablas.



## Introducción.

El presente trabajo, cuyo título es "Algunas características geoquímicas del Yacimiento Martí, Nicaro, Oriente" posee dos objetivos fundamentales, uno de ellos de carácter docente y el otro de carácter científico-técnico.

El objetivo docente consiste en la obtención para el graduando del título de Ingeniero Geólogo, sirviendo de esta forma en la culminación de sus estudios.

Desde un punto de vista científico-técnico, el trabajo tiene la finalidad de aportar conclusiones y recomendaciones de valor teórico-práctico, las cuales puedan servir en algo a lograr una explotación más racional y efectiva del área objeto de estudio.

Es necesario señalar, que el objeto fundamental del trabajo lo constituyen los datos de contenido de los elementos y componentes químicos y los espesores de los distintos horizontes de la corteza de intemperismo, obtenidos mediante las perforaciones en la red de exploración (25x25m) realizadas en el Grupo V del Yacimiento Martí.(ver tabla I)

Además, se ha trabajado con los datos del Grupo I del Yacimiento Martí y la Plancheta 11 del Yacimiento Pinares de Mayarí, con vista a la realización de un análisis comparativo en diferentes aspectos. La información correspondiente a estas áreas ha sido extraída de algunos de los trabajos citados en la relación bibliográfica.

Con vista a esclarecer algunas de las características geoquímicas del Yacimiento Martí, se han efectuado las correspondientes investigaciones mediante la aplicación de diversos métodos geoquímicos, como son: la construcción de espectros geoquímicos, perfiles geólogo-geoquímicos generalizados, cartas o mapas de isolíneas, así como el cálculo de los coeficientes de



TABLA I

Relación de bloques y pozos estudiados del Grupo V del Yacimiento Martí.

Tipos de pozos  Bloques	Total de pozos  (100%)	De estos		
		De balance (1) (%)	Fuera de balance (1) F.B. (%)	No mineral (1) N.M. (%)
N-20	6 (100)	6 (100)	—	—
N-21	15 (100)	13 (86.67)	2 (13.33)	—
O-20	70 (100)	70 (100)	—	—
O-21	83 (100)	82 (98.80)	1 (1.20)	—
O-22	65 (100)	48 (73.85)	17 (26.15)	—
P-19	36 (100)	24 (66.67)	11 (30.56)	1 (2.77)
P-20	79 (100)	65 (82.28)	13 (16.46)	1 (1.26)
P-21	54 (100)	37 (68.52)	9 (16.67)	8 (14.81)
P-22	52 (100)	34 (65.38)	13 (34.62)	—
P-23	37 (100)	22 (59.46)	14 (37.84)	1 (2.70)
P-24	19 (100)	6 (31.58)	12 (63.16)	1 (5.26)
Q-19	68 (100)	60 (88.24)	6 (8.82)	2 (2.94)
Q-20	85 (100)	68 (80.00)	12 (14.12)	5 (5.88)
Q-21	45 (100)	32 (71.11)	8 (17.78)	5 (11.11)
Q-22	28 (100)	18 (67.29)	5 (17.86)	5 (17.86)
Q-25	18 (100)	9 (50.00)	5 (27.78)	4 (22.22)

(1) Ver nota al final de esta tabla.



TABLA I (continuación)

Tipos de pozos  Bloques	Total de pozos (100%)	De estos		
		De balance (%)	FUERA de balance F.B. (%)	No mineral N.M. (%)
R-18	54 (100)	41 (75.93)	12 (22.22)	1 (1.85)
R-19	87 (100)	65 (74.71)	15 (17.24)	7 (8.05)
R-20	83 (100)	67 (80.72)	12 (14.46)	4 (4.82)
R-21	25 (100)	18 (72.00)	7 (28.00)	-
R-22	37 (100)	22 (59.46)	14 (37.84)	1 (2.70)
R-25	3 (100)	1 (33.33)	2 (66.67)	-
S -13	1 (100)	1 (100)	-	-
S-19	51 (100)	29 (56.86)	19 (37.26)	3 (5.88)
S-20	40 (100)	25 (62.50)	10 (25.00)	5 (12.50)
S-21	3 (100)	1 (33.33)	2 (66.67)	-
S-22	9 (100)	3 (33.33)	5 (55.56)	1 (11.11)
T-18	21 (100)	15 (71.43)	6 (28.57)	-
T-19	61 (100)	36 (59.02)	20 (32.78)	5 (8.20)
T-20	71 (100)	43 (60.56)	18 (25.35)	10 (14.09)
T-21	43 (100)	30 (69.77)	11 (25.58)	2 (4.65)
U-18	75 (100)	58 (77.33)	13 (17.33)	4 (5.33)
U-19	93 (100)	73 (78.49)	18 (19.35)	2 (2.15)



TABLA I (continuación)

Tipos de pozos  Bloques	Total de pozos (100%)	De estos		
		De balance (%)	Fuera de balance F.B. (%)	No mineral N.M. (%)
U-20	30 (100)	19 (63.33)	8 (26.67)	3 (10.00)
U-21	15 (100)	11 (73.33)	2 (13.33)	2 (13.33)
V-18	42 (100)	37 (88.10)	4 (9.52)	1 (2.33)
V-19	62 (100)	46 (74.19)	14 (22.58)	2 (3.23)
W-18	13 (100)	4 (30.77)	7 (53.85)	2 (15.38)
W-19	54 (100)	37 (68.52)	14 (25.93)	3 (5.55)
W-20	5 (100)	3 (60.00)	1 (20.00)	1 (20.00)
X-19	1 (100)	1 (100)	-	-
TOTAL (%)	1739 (100)	1280 (73.61)	367 (21.10)	92 (5.29)

Nota: Condiciones para un pozo.

Se considera que el pozo es de balance, si el grado promedio del mineral (limonita mas serpentina) es  $\geq 1.1\%$  de Ni y  $\geq 20\%$  de Fe.

El pozo se evalúa como fuera de balance para las siguientes condiciones:

a)  $< 1.1\%$  de Ni;  $\geq 20\%$  de Fe.

b)  $\geq 1.1\%$  de Ni;  $\geq 12-20\%$  de Fe.

No mineral, es el pozo que no cumple las condiciones anteriores. El espesor mínimo del mineral debe ser  $\geq 1.0m$  (lo mínimo dos muestras vecinas deben cumplir las condiciones dichas, por ej. 0.5 m de limonita y 0.5 m de serpentina). El pozo que no lo cumple es no mineral. (Tomado de 5)



intemperismo.

Los resultados obtenidos mediante los métodos geoquímicos citados, no han sido analizados aisladamente, sino conjuntamente con los resultados del levantamiento geológico, los estudios petrográficos y geomatemáticos, con la finalidad de obtener conclusiones más precisas, exactas y confiables. Es decir, que se ha tratado, en la medida de lo posible, de obtener conclusiones basadas en la aplicación de un complejo de métodos.

Respecto al tiempo empleado en la realización del trabajo, podemos citar que el autor participó durante los meses de Enero y la primera mitad de Febrero en el levantamiento geológico a escala 1:10 000 del Yacimiento Martí. Luego procedió a la recopilación de datos primarios en los archivos de la Mina Ocujal y a la preparación de estos con vista a entregarlos al Departamento de Investigaciones Operacionales (D.I.O.P.) de la Empresa Comandante René Ramos Latour (E.C.R.R.L.) para su procesamiento.

Posteriormente, o sea, a partir de mediados del mes de Abril se realizó el trabajo de gabinete y la confección del informe final.

Resumiendo, diremos que el tiempo total empleado, fue de seis meses aproximadamente, comenzando en Enero y finalizando en Junio del presente año 1975.

El volumen total de los datos primarios necesarios para la realización de este trabajo, se muestran a continuación:

TABLA II

Relación de los datos primarios utilizados en el trabajo.

Cálculos realizados en:	Volumen de datos primarios	Tareas	Parámetros obtenidos
DIOP (ECRRL)	28 739	693	2 133
LABORATORIO DE GEO-MATEMATICA (F.M.M.)	4 405	2 060	2 060
TOTALES	33 244	2 753	4 193



CAPITULO II

SINTESIS HISTORICA DE LAS INVESTIGACIONES GEOQUIMICAS



El trabajo consta de 66 páginas, cinco capítulos, doce tablas y ocho anexos gráficos.

Finalmente, quisieramos agradecer la ayuda brindada por los compañeros de la Vice-Dirección de Minas de la Empresa Comandante René Ramos Latour de Nicaro y entre ellos a la ingeniera Gisela de Paz.

Hacemos patente nuestro agradecimiento al Lic. Gabriel García y los ingenieros Elmer Ruz y Alfredo Hurtado por brindar su cooperación en todo momento, contribuyendo con sus aclaraciones al desarrollo de este trabajo; a los compañeros Bolívar Castilla, Danilo del Valle y a las alumnas de docencia-producción del Laboratorio de Geomatemática del Dpto. de Geología de la Filial Minero-Metalúrgica de la Universidad de Oriente.

Deseamos también hacer resaltar de manera especial, la valiosa colaboración del profesor guía, ingeniero Carlos A. Crombet H. sin el cual no hubiera sido posible la realización de esta tesis de grado.



## Capítulo II

### Síntesis histórica de las investigaciones geoquímicas.

Para la confección de este capítulo han sido consultadas fundamentalmente las obras (9) y (11) que aparecen en la relación bibliográfica.

Comenzaremos señalando que la Geoquímica como ciencia independiente, no es muy antigua en comparación con sus ciencias originarias: la Geología y la Química.

La palabra "Geoquímica" fue empleada por primera vez en 1838, por el químico sueco Ch. F. Schonbein, descubridor del ozono. Este científico también planeó el programa de la nueva ciencia, subrayando la importancia del estudio con el mayor detalle posible de las propiedades de todas las formaciones geológicas, sus caracteres físicos y químicos y su edad relativa.

Sin embargo, es necesario señalar que con anterioridad, otros científicos y entre ellos el genial <sup>RUSO</sup> soviético M. V. Lomonosov (1711-1765) expresan ideas que por su esencia, pueden considerarse de índole puramente geoquímica. En los trabajos de Lomonosov se realizan los primeros intentos para la utilización de los fenómenos de dispersión de los yacimientos minerales en las rocas friables de la corteza de intemperismo, suelos y plantas, para descubrir mediante ellas, yacimientos primarios. Además, llega a exponer de manera clara los métodos de búsqueda mediante los cantos rodados y el análisis de jagua, los cuales no han perdido su importancia práctica en nuestros días.

La idea de utilizar la materia dispersa de los yacimientos en la zona de intemperismo, en la búsqueda de los yacimientos minerales, desde una posición mas amplia, en comparación con las exigencias de los métodos de cantos rodados fluviales y glaciares y el análisis de jagua, condujo a la aparición de los distintos métodos geoquímicos de búsqueda. En principio esto significa el sustituir los signos visuales de los yacimientos minerales por sus huellas invisibles y casi imperceptibles, las cuales son detectadas en las cubiertas de sedimentos friables mediante los



métodos más modernos de microanálisis.

Existen importantes aportaciones a la nueva ciencia, realizadas por científicos del área capitalista tales como F. W. Clarke (1847-1931) el cual publica en 1908 un tratado clásico denominado "The Data of Geochemistry" donde aparece una recopilación extensa y sistemática de hechos concernientes a las partes hasta entonces accesibles de la Tierra. Otro de los científicos que han realizado aportes importantes a la Geoquímica es V. M. Goldschmidt considerado como uno de los fundadores de esta ciencia.

Es necesario señalar que la mayor experiencia y desarrollo en la utilización de las investigaciones geoquímicas para la búsqueda y exploración de los yacimientos minerales corresponde a la Unión Soviética. La prioridad de los investigadores soviéticos en esta rama de la geología es indiscutible y reconocida internacionalmente.

Los métodos geoquímicos de búsqueda aparecen en la U.R.S.S. para los años del primer quinquenio (1929-1933), relacionados con los problemas de la industrialización del país. Estos años se caracterizan también por el acentuado desarrollo en la aplicación de los métodos geofísicos de búsqueda y exploración de los yacimientos minerales.

En 1932, N.I. Safronov propuso utilizar conjuntamente con la interpretación de los trabajos geofísicos en el yacimiento polimetálico de Altai, métodos físico-químicos para la investigación de los sedimentos metalíferos en las zonas de anomalías eléctricas, con el fin de determinar la presencia o ausencia de huellas de metales. Citamos este hecho, por encerrar la esencia metodológica de la ejecución de las investigaciones geológicas según un "complejo de métodos" y no utilizando uno u otro método independientes entre sí. Tal debe ser la divisa principal en cualquier tipo de investigación geológica, con la finalidad de obtener de esta forma resultados más exactos y confiables.



En 1936, Safronov en su trabajo "Acerca de los problemas de las aureolas de dispersión de los yacimientos minerales y su utilización en la búsqueda y exploración" (Geología Soviética #4, 1936) por primera vez en la geología mundial se llevó a cabo una síntesis sobre la aplicación de los métodos geoquímicos y señaló las perspectivas de su desarrollo.

En 1940, el académico soviético A.E. Fersman (1883-1945) terminó la monografía "Métodos geoquímicos y mineralógicos para la búsqueda de los yacimientos minerales". Este científico expresa de manera clara y determinante que el problema de la búsqueda de yacimientos minerales es, por su esencia, un problema geoquímico.

De esta expresión puede obtenerse una idea acerca de la importancia de las investigaciones geoquímicas, la cual podemos corroborar si analizamos la definición más completa existente hasta nuestros días, de la geoquímica como ciencia. Esta definición enunciada por V.I. Vernadsky expresa:

"La geoquímica estudia desde un punto de vista científico los elementos químicos, esto es, los átomos en la corteza terrestre, y en cuanto sea posible en todos los planetas. Esta estudia su historia, su distribución en el espacio y en el tiempo y sus relaciones genéticas con nuestro planeta".

Entre los métodos geoquímicos existentes podemos decir que el mayor éxito y desarrollo ha correspondido tradicionalmente a los litogeoquímicos, los cuales han contribuido al descubrimiento y estudio de múltiples yacimientos de minerales sólidos. Un desarrollo más lento han tenido los métodos hidroggeoquímicos. Diremos además, que para la búsqueda de minerales radioactivos y petróleo y gas, poseen gran importancia los métodos atmogeoquímicos. Finalmente, tenemos los métodos biogeoquímicos sobre los que el académico A.P. Vinogradov ha realizado importantes trabajos.



El desarrollo de los métodos geoquímicos para la búsqueda y exploración de los yacimientos minerales está relacionado de manera inseparable con el perfeccionamiento del análisis espectral, químico, etc. Además, con la aplicación de estadística matemática y con la computación y programación (más recientemente) se han podido resolver tareas cuya solución era totalmente imposible pocos años atrás.

La importancia de la aplicación de las investigaciones geoquímicas en la búsqueda y exploración de los yacimientos minerales es indiscutible. Basta señalar que en el transcurso de siete años (1959-1965) en el territorio de la U.R.S.S., con ayuda de los métodos geoquímicos fueron descubiertos varias decenas de yacimientos polimetálicos, de molibdeno, de cobre, de oro y de metales raros.

En un grupo de países capitalistas, se han hecho nuevos descubrimientos de yacimientos minerales entre los cuales tenemos:

Inglaterra..... Yacimientos de estaño y wolframio.

E.E.U.U..... Yacimientos de menas uraníferas.

Canadá..... Yacimientos polimetálicos.

Respecto a nuestro país, podemos decir que antes del 1959 las investigaciones geológicas en el territorio cubano se efectuaban por compañías particulares, generalmente en pequeñas zonas contiguas a las empresas mineras existentes. Búsquedas amplias y planificadas de los yacimientos minerales no fueron efectuadas.

Ya en 1961 fue creado el Servicio Estatal Geológico que comenzó a realizar investigaciones sistemáticas sobre la composición geológica del territorio del país, la búsqueda y exploración de los yacimientos de níquel, cobre, petróleo, gas y otros minerales.

Podemos señalar, que hasta los últimos años no se inclu-



yeron los métodos geoquímicos de búsqueda en el complejo de trabajos de exploración geológica. Al producirse la unión de los asuntos de minería y geología (Empresa Consolidada de la Minería) del Ministerio de la Minería Combustible y Metalurgia (M.M.C.M.), comenzaron las investigaciones sobre el estudio de las aureolas geoquímicas primarias y secundarias de los yacimientos de cobre de Matahambre y El Cobre (Ing. Alfredo C. Norman V.).

Entre los trabajos realizados en la Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad de Oriente sobre la geoquímica de las cortezas de intemperismo níquelíferas podemos citar los siguientes:

- 1.- Particularidades geoquímicas del Yacimiento Pinares de Mayarí, realizado por A.S. Vershinin y C.A. Crombet H., 1972.
- 2.- Características geoquímicas del Yacimiento Punta Gorda, realizado por A.S. Vershinin, C.A. Crombet H., A. Hurtado y N.F. Ageenzo, 1972.
- 3.- Particularidades geológicas del Yacimiento Martí (tesis de grado) por J. Vinent F., 1972.
- 4.- Informe sobre las características y distribución de los principales parámetros geológico-geoquímicos de los bloques S-13 y S-14 del Grupo I de la Mina Martí, Nícaro, Oriente. Este informe fue realizado en 1974 por los ingenieros C.A. Crombet H. y Elmer Ruz P.

Finalmente, podemos citar algunos trabajos realizados por el Instituto de Geología de la Academia de Ciencias de Cuba, acerca de los yacimientos hipergénicos de níquel de la costa norte de la provincia de Oriente. Entre estos trabajos tenemos:

- 1.- Geoquímica e hidrogenioquímica de la corteza de intemperismo ferroníquelífera de Cuba (Academia de Ciencias de Cuba, Serie Geológica #3, 1967) realizado por Y.Y. Buguelsky y F. Formell C.
- 2.- Influencia del factor hidrogenioquímico en la formación



y distribución de las cortezas de intemperismo de Cuba (Academia de Ciencias, Serie Geológica #13, 1973) por Y.Y. Bugelsky y F. Formell C.

Para concluir podemos decir, que en nuestro país ya están creados los laboratorios espectrales en las universidades y en distintas dependencias del Ministerio de Geología y Minería, los cuales son capaces de realizar una gran cantidad de análisis. O sea, que están creadas las bases fundamentales para la introducción de los métodos geoquímicos en la práctica de las búsquedas, con la finalidad de descubrir nuevos yacimientos minerales y estudiar más profundamente los ya conocidos para lograr en ellos una explotación más eficiente.



## Metodología de las investigaciones.

En el presente trabajo, con la finalidad de resolver la tarea planteada, la cual es esencialmente de índole geoquímica, han sido utilizados y desarrollados varios conceptos y métodos geoquímicos de importancia.

Ahora bien, como un instrumento para poder desarrollar dichos métodos, se ha recurrido a la utilización de la estadística matemática, o sea, al empleo de métodos geomatemáticos tales como son el cálculo de los principales estadígrafos de los parámetros geólogo-geoquímicos y del tipo de sus distribuciones, sin los cuales, no hubiese sido posible la aplicación y desarrollo de los diferentes métodos geoquímicos. Los estadígrafos utilizados son los siguientes: media aritmética ( $\bar{x}$ ); desviación standard de la media aritmética ( $S_{\bar{x}}$ ); desviación standard ( $S$ ) y la variabilidad relativa o coeficiente de variación ( $K_v$ ).

La mayor parte de estos estadígrafos fueron calculados en datos no agrupados, el resto, en datos agrupados en intervalos de clase con un nivel de significación de  $q=0.05$  (5% de error).

Se hace necesario aclarar, que como estrategia fundamental del trabajo, con la finalidad de obtener conclusiones que estén lo más argumentadamente posible, se han tratado de analizar los resultados obtenidos en cada método geoquímico, no de forma aislada, sino en su conjunto, valiéndonos a la vez del complejo de métodos desarrollados en el estudio del Yacimiento Martí como son: el levantamiento geológico, los estudios petrográficos, los estudios estadístico-matemáticos, etc.

Entre los métodos geoquímicos desarrollados en este trabajo tenemos los siguientes:

1.- Cálculo de clarkes de concentración y coeficientes de acumulación . Espectros geoquímicos.

2.- Perfiles geólogo-geoquímicos generalizados.



3.- Cartas de isolíneas.

4.- Coeficientes de intemperismo.

Antes de pasar a la explicación de cada uno de los métodos geoquímicos utilizados, es conveniente establecer la nomenclatura que se empleará en este trabajo en lo referente a la denominación de las distintas zonas u horizontes de la corteza de intemperismo (ver tabla III).

A continuación se procede a explicar las características fundamentales de cada método, sus condiciones de aplicación, sus ventajas y en general la importancia que tiene cada método para caracterizar las peculiaridades geoquímicas del área que se estudia.

1.- Clarkes de concentración. Espectros geoquímicos.

Los clarkes de concentración se obtuvieron dividiendo el contenido medio de un elemento químico en un horizonte dado, entre el clarke de dicho elemento en las rocas ultrabásicas. Los clarkes de los principales elementos y componentes químicos en las rocas ultrabásicas han sido tomados de (12, pág. 31) y son: Ni-0.2, Co-0.02, Fe-9.85,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -0.29,  $\text{SiO}_2$ -40.7,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -0.94, MgO-43.0, MnO-0.194.

Los clarkes de concentración han sido utilizados en la construcción de los espectros geoquímicos, de ahí su importancia, ya que éstos contribuyen al esclarecimiento de la composición material de los diferentes horizontes de la corteza de intemperismo. Es decir, que una de las características más importantes de la corteza de intemperismo, que es su composición química, queda reflejada objetivamente, de manera gráfica, mediante los diagramas de los espectros geoquímicos, donde aparece dicha composición en forma de paragénesis de elementos químicos.

Los espectros geoquímicos muestran a la vez, la variación zonal de la composición química de la corteza en el perfil vertical.



TABLA III

Nomenclatura general (geológica y tecnológica) de las zonas u horizontes de la corteza de intemperismo (tomada de 10).

Denominación geológica	Número	Equivalente aproximado. Nomenclatura tecnológica. Condiciones para una muestra (% de Ni y Fe).
Ocres inestructurales (Laterita)	IV	Escombro $< 1\%$ de Ni $\geq 35\%$ de Fe
Ocres estructurales		Limonita $\geq 1\%$ de Ni $\geq 35\%$ de Fe
Roca nontronitizada (cerolitizada)	III	Serpentina $\geq 1.20\%$ de Ni 12-35% de Fe
Roca lixiviada, desintegrada	II	Fondo $< 1.20\%$ de Ni $< 12\%$ de Fe
Roca no alterada	I	



Además, mediante el análisis comparativo de los espectros geoquímicos de las áreas que son objeto de estudio, con los de otros yacimientos análogos (esto quiere decir, que sean genéticamente semejantes), podemos obtener una mayor información, que sin dudas contribuirá a ampliar el grado de nuestro conocimiento, para llegar de esa forma a conclusiones más sólidas.

Los espectros geoquímicos se confeccionan expresando en el eje vertical (en escala logarítmica) los valores de los clarkes de concentración, correspondiendo el eje horizontal del gráfico a los diferentes elementos químicos, que son: Ni, Fe, Co, Si, Al, Cr, Mn y Mg.

#### Coefficientes de acumulación.

Se calculan dividiendo el contenido medio de un elemento en un horizonte determinado, entre el contenido de dicho elemento en la roca madre no alterada (peridotita). El coeficiente de acumulación se expresa en unidades de fondo geoquímico.

Los clarkes de los principales elementos y componentes químicos en las peridotitas han sido tomados de (12, pág.31) y son: Ni-0.24, Co-0.011, Fe-5.6,  $Cr_2O_3$ -0.55,  $SiO_2$ -36.6,  $Al_2O_3$ -0.77, MgO-40.0, MnO-0.11.

Al expresar gráficamente los valores obtenidos mediante el cálculo de los coeficientes de acumulación, podemos observar claramente el grado de concentración o lixiviación de un elemento dado en las distintas capas y sacar conclusiones acerca de su enriquecimiento o empobrecimiento en dichas capas u horizontes.

Los coeficientes de acumulación son indispensables para reflejar las particularidades geoquímicas de un yacimiento hipergénico, pudiendo a la vez, compararse (al igual que en el caso de los clarkes de concentración) con los obtenidos en otro u otros yacimientos análogos de otras regiones del país o del mundo.



La simple variación del contenido medio de un elemento, no refleja de manera tan objetiva la magnitud de su acumulación en determinado horizonte, como el coeficiente de acumulación, ya que como indica la definición, éste no solamente está en función de la cantidad del elemento presente en dicho horizonte, sino que también está en función de su abundancia en la roca madre a partir de la cual ocurre la formación del yacimiento debido a los procesos de la meteorización.

Los coeficientes de acumulación han sido calculados para: Ni, Fe, Co, Si, Al, Cr, Mn y Mg.

## 2.- Perfiles geológico-geoquímicos generalizados.

La construcción de los perfiles geológico-geoquímicos generalizados es muy importante en el estudio de los yacimientos hipergénicos de níquel. Esto se debe a que dichos perfiles pueden revelar las particularidades existentes en las estructuras de los cortes de la corteza de intemperismo, para diferentes áreas dentro de un mismo yacimiento, o para diferentes yacimientos que se comparan.

Como es conocido, debido a la estructura en bloques geológicos de las áreas meníferas, y al diferente carácter de los movimientos tectónicos en dichas áreas, surgen distintos tipos de cortes de la corteza de intemperismo, cada uno de ellos con sus particularidades específicas.

Los perfiles geológico-geoquímicos generalizados expresan de manera objetiva, gráficamente, las características más importantes del corte de la corteza de intemperismo para cada área que se estudia. Estas características no son sino: la distribución vertical de los principales elementos meníferos (Ni, Fe, Co) y a la vez la potencia de cada uno de sus horizontes. De aquí se deduce, la importancia que tienen dichos perfiles en el estudio de la variación vertical en la distribución de los ele-



Para la construcción de los perfiles geólogo-geoquímicos generalizados se utilizaron los contenidos medios (% de peso) de Ni, Fe, Co para cada uno de los horizontes dentro de cada área estudiada. Con estos contenidos medios se calcularon los coeficientes de acumulación, los que van a aparecer en los gráficos, en el eje horizontal, expresados en unidades de fondo geoquímico (F.G.).

En el eje vertical de los gráficos aparecen los espesores medios obtenidos para cada uno de los horizontes.

### 3.- Cartas de isolíneas.

La aplicación de este método geoquímico tiene gran importancia, tanto desde un punto de vista teórico (científico-investigativo) como práctico. Su correcta utilización puede ayudar a que se logre una explotación más racional y efectiva del yacimiento en cuestión. Es por eso, que la confección de cartas o mapas de isolíneas, constituye una parte fundamental de este trabajo.

Es necesario aclarar, que éste al igual que otros métodos geoquímicos, no debe ser analizado aisladamente, sino conjuntamente (por ejemplo con los perfiles geólogo-geoquímicos generalizados) para así lograr una visión lo más completa posible de la geoquímica del área que se estudia y a la vez, confrontar los resultados obtenidos en dichos métodos, con los que resultaron de la aplicación de los métodos geológicos, petrográficos y geomatemáticos.

En este trabajo, se han confeccionado cartas de isolíneas de contenido de Ni y Fe en los horizontes productivos (limonita y serpentina) y cartas de isolíneas de los espesores de dichos horizontes.

Las cartas de isolíneas han sido confeccionadas a escala 1:1250 (escala de explotación del yacimiento) para los bloques



O-20, O-21, O-22, P-20, P-21, P-22, Q-20, Q-21, Q-22 del Grupo V del Yacimiento Martí.

Del análisis de las cartas de líneas de isocontenidos, se obtiene información acerca de la existencia o no de alguna tendencia de concentración o empobrecimiento de determinado elemento hacia una u otra parte del área en estudio. Se puede detectar hacia que parte del área estudiada aparecen los mayores contenidos del elemento y hacia donde se encuentran los menores contenidos, o sea, que se puede visualizar fácilmente la variación horizontal del contenido de un elemento dado.

De modo semejante, las cartas de isopotencias pueden reflejar objetivamente la variación del espesor de las distintas capas, aspecto muy importante en la explotación del yacimiento. Tal es el caso, de que un pozo se considera no mineral, cuando el espesor conjunto de las capas productivas (limonita más serpentina) atravesadas por él, es menor de 1m. De ahí la importancia básica que tiene conocer las variaciones del espesor de las capas u horizontes.

Se señala, que los mapas de isolíneas en general tienen aplicación tanto en la etapa de los trabajos de búsqueda y explotación, como en la etapa de la explotación del yacimiento.

#### 4.- Coefficientes de intemperismo.

En nuestro trabajo, se procedió al cálculo de algunos de los coeficientes de intemperismo. Estos fueron : coeficiente de siferritización, coeficiente de descomposición, coeficiente de alitización y coeficiente de meniferación para el níquel y para el cobalto.

Estos coeficientes contribuyen a un conocimiento más amplio de los procesos geológico-geoquímicos de intemperismo y dan una medida del grado de desarrollo de dichos procesos. Son importan-



tes pues, para la cuantificación del proceso general de intemperismo de las rocas ultrabásicas, a partir de las cuales se formó el yacimiento hipergénico de níquel.

Se trabajó con los coeficientes de intemperismo absolutos, o sea, aquellos que se obtienen dividiendo el coeficiente de intemperismo para cada capa, entre el mismo coeficiente calculado para la roca no alterada (peridotita). Esto se hizo, con excepción del coeficiente de siferritización.

Todos los coeficientes de intemperismo se calculan en cantidades moleculares, partiendo de los análisis de silicatos generales.

A continuación se ofrece una breve descripción de cada uno de los coeficientes de intemperismo utilizados:

Coeficiente de siferritización  $K_s$ . Se obtiene dividiendo el contenido de sílice entre el de óxido férrico en cada uno de los horizontes o capas.

Coeficiente de descomposición  $K_d$ . Resulta de la división de la suma de los sesquióxidos, protóxidos y óxidos en cada una de las capas, entre iguales relaciones en la peridotita.

Coeficiente de alitización  $K_a$ . Se obtiene dividiendo los contenidos de alúmina y sílice en cada capa entre la misma relación en la roca primaria.

Coeficiente de meniferación  $K_{Ni}$ ,  $K_{Co}$ . Cada uno de ellos resultan de dividir los óxidos de los metales (Ni o Co) entre la suma de los demás óxidos y la sílice. El resultado obtenido se divide a su vez entre relaciones semejantes de los mismos componentes en la roca primaria.

Finalmente, señalaremos que las conclusiones y recomendaciones finales de este trabajo, han sido elaboradas conjuntamente con las correspondientes al trabajo denominado " Aplicación de métodos geomatemáticos en el estudio geológico-geoquímico del Yacimiento Martí, Nicaro, Oriente ".



xistente entre ambos trabajos, con el objetivo común de ofrecer conclusiones y recomendaciones más exactas, de un mayor nivel científico-técnico, elevando de esta forma la eficiencia de las investigaciones.



## Capítulo IV

Desarrollo del trabajo y discusión de los resultados obtenidos.

### 4.1.- Clarkes de concentración. Coeficientes de acumulación. Espectros geoquímicos.

Los resultados obtenidos en el cálculo de los clarkes de concentración y de los coeficientes de acumulación, aparecen en la tabla IV y gráficamente en forma de histogramas en los anexos 1 y 2.

Como puede apreciarse en dichas tablas, estos parámetros geoquímicos han sido calculados en cada horizonte de la corteza de intemperismo para diferentes áreas. Estas áreas son: Bloque Q-20, Grupo V y Grupo I (todas del Yacimiento Martí) y la Plancheta 11 del Yacimiento Pinares de Mayarí.

Los datos del Grupo I han sido tomados de (14, tabla II); los de la Plancheta 11 fueron extraídos de (12, anexo 3).

Debido a que el Grupo V ha sido el objeto fundamental de nuestro estudio, por ello hemos calculado para cada uno de sus bloques los clarkes de concentración y los coeficientes de acumulación. Sobre la base de estos resultados se han obtenido los valores promedios para dicho grupo.

Es necesario aclarar, que debido a la importancia del bloque Q-20, el cual figura entre los de mejores cualidades geológico-tecnológicas del Grupo V (según la jerarquización efectuada en dicho grupo), se presentan los resultados para dicho bloque y a su vez se comparan con los del grupo en general. El bloque Q-20 ha sido seleccionado también, porque en el registro de compósitos aparece como uno de los más completos, ya que se tienen los análisis químicos para los tres horizontes (escombros, limonita y serpentina) y además, en este bloque se ha muestreado un buen número de pozos.

Procediendo al análisis de los resultados obtenidos para las áreas estudiadas en el Yacimiento Martí (anexo 1) diremos,



TABLA IV

Clarke de concentración ( $C_c$ ) y coeficientes de acumulación ( $C_a$ ) para cada tipo de horizonte o capa en las áreas estudiadas.

Elementos y Bloques sus $C_a$ y Grupos $C_c$ Yacimiento. Tipo de horizonte.	Ni $\frac{C_a}{C_c}$	Fe $\frac{C_a}{C_c}$	Co $\frac{C_a}{C_c}$	Al $\frac{C_a}{C_c}$	Cr $\frac{C_a}{C_c}$	Si $\frac{C_a}{C_c}$	Mn $\frac{C_a}{C_c}$	Mg $\frac{C_a}{C_c}$
<b>BLOQUE Q-20</b>								
Lateritas y ocres inestructurales. (escombros)	$\frac{3.17}{3.80}$	$\frac{8.79}{5.00}$	$\frac{6.36}{3.50}$	$\frac{12.25}{10.03}$	$\frac{3.35}{6.34}$	$\frac{0.12}{0.11}$	$\frac{8.27}{4.69}$	$\frac{0.02}{0.02}$
Ocres estructurales (limonita)	$\frac{4.88}{5.88}$	$\frac{8.90}{5.06}$	$\frac{9.09}{5.00}$	$\frac{7.21}{5.90}$	$\frac{6.20}{11.76}$	$\frac{0.09}{0.08}$	$\frac{7.36}{4.18}$	$\frac{0.02}{0.02}$
Serpentinitas nontronitizadas y cerolitizadas. (serpentina)	$\frac{5.46}{6.55}$	$\frac{4.33}{2.46}$	$\frac{8.18}{4.50}$	$\frac{2.79}{2.29}$	$\frac{3.42}{6.48}$	$\frac{0.73}{0.65}$	$\frac{3.82}{2.16}$	$\frac{0.52}{0.48}$
<b>GRUPO V</b>								
Lateritas y ocres inestructurales. (escombros)	$\frac{3.16}{3.07}$	$\frac{7.86}{4.47}$	$\frac{5.91}{3.25}$	$\frac{12.77}{10.46}$	$\frac{4.20}{7.96}$	$\frac{0.12}{0.11}$	$\frac{6.78}{3.84}$	$\frac{0.04}{0.04}$
Ocres estructurales. (limonita)	$\frac{4.89}{5.87}$	$\frac{8.22}{4.67}$	$\frac{9.00}{5.09}$	$\frac{7.66}{6.27}$	$\frac{5.83}{11.06}$	$\frac{0.14}{0.12}$	$\frac{7.53}{4.27}$	$\frac{0.06}{0.05}$
Serpentinitas nontronitizadas y cerolitizadas. (serpentina)	$\frac{5.34}{6.40}$	$\frac{4.24}{2.43}$	$\frac{5.61}{3.09}$	$\frac{3.43}{2.81}$	$\frac{3.64}{6.90}$	$\frac{0.71}{0.63}$	$\frac{4.25}{2.41}$	$\frac{0.52}{0.45}$



TABLA IV (continuación)

Clarkes de concentración ( $C_c$ ) y coeficientes de acumulación ( $C_a$ ) para cada tipo de horizonte o capa en las áreas estudiadas.

Elementos y Bloque sus $C_a$ y Grupo o $C_c$ Yacimiento. Tipo de horizonte.	Ni $\frac{C_a}{C_c}$	Pb $\frac{C_a}{C_c}$	Co $\frac{C_a}{C_c}$	Al $\frac{C_a}{C_c}$	Cr $\frac{C_a}{C_c}$	Si $\frac{C_a}{C_c}$	Mn $\frac{C_a}{C_c}$	Mg $\frac{C_a}{C_c}$
<u>GRUPO I</u> Lateritas y ocre inestructurales. (escombros)	$\frac{2.5}{2.8}$	$\frac{6.7}{4.1}$	$\frac{4.0}{2.2}$	$\frac{8.9}{7.5}$	$\frac{5.3}{10.9}$	$\frac{0.07}{0.06}$	$\frac{8.9}{3.9}$	$\frac{0.02}{0.02}$
Ocres estructu- rales (limonita)	$\frac{5.5}{6.2}$	$\frac{7.2}{4.4}$	$\frac{10.4}{5.7}$	$\frac{5.1}{4.3}$	$\frac{6.1}{12.4}$	$\frac{0.17}{0.16}$	$\frac{12.9}{5.6}$	$\frac{0.06}{0.05}$
Serpentinatas nontronitizadas y cerolitizadas. (serpentina)	$\frac{7.3}{8.4}$	$\frac{3.0}{1.8}$	$\frac{4.1}{2.2}$	$\frac{4.4}{3.5}$	$\frac{2.7}{5.5}$	$\frac{0.84}{0.77}$	$\frac{6.9}{3.1}$	$\frac{0.40}{0.36}$
<u>PLANCHETA 11</u> Lateritas y ocre inestructurales. (escombros)	$\frac{2.9}{3.5}$	$\frac{8.5}{4.8}$	$\frac{7.0}{3.5}$	$\frac{11.7}{9.6}$	$\frac{3.6}{6.8}$	$\frac{0.09}{0.08}$	$\frac{0.91}{5.2}$	$\frac{0.02}{0.02}$
Ocres estructu- rales. (limonita)	$\frac{6.1}{7.2}$	$\frac{8.7}{4.9}$	$\frac{8.0}{4.4}$	$\frac{6.0}{4.8}$	$\frac{5.5}{10.7}$	$\frac{0.14}{0.12}$	$\frac{6.7}{3.6}$	$\frac{0.03}{0.04}$
Serpentinatas nontronitizadas y cerolitizadas. (serpentina)	$\frac{7.0}{8.4}$	$\frac{3.7}{2.0}$	$\frac{3.9}{2.1}$	$\frac{1.4}{1.6}$	$\frac{2.7}{5.3}$	$\frac{0.75}{0.67}$	$\frac{3.2}{1.8}$	$\frac{0.46}{0.42}$



que es notable la característica de que el grado de concentración del níquel va en aumento desde los horizontes superiores a los inferiores de la corteza de intemperismo, es decir, que aumenta desde el escombros (ocres inestructurales) hasta la serpentina (serpentinitas nontronitizadas). Dicho aumento en el grado de concentración del níquel es más intenso en el Grupo I en el cual se alcanzan los valores más elevados de los clarkes de concentración y coeficientes de acumulación dentro de las capas productivas (limonita y serpentina).

Comparando en este sentido al bloque Q-20 con el Grupo V (al cual pertenece), vemos de manera evidente los altos valores que alcanza la concentración de níquel, sobre todo en la capa de serpentina. Este factor ha contribuido de manera fundamental en que dicho bloque haya sido clasificado como uno de los de mejores cualidades en dicho grupo.

Respecto al hierro y el cobalto podemos hacer un análisis conjunto de ambos, ya que como característica fundamental en ellos se destaca una más o menos brusca disminución en cuanto al grado de concentración dentro del horizonte de la serpentina respecto a la limonita. Esta tendencia también puede apreciarse en el cromo. Todo ello ocurre para las tres áreas comparadas del Yacimiento Martí.

Es necesario señalar, que los mayores valores en el grado de concentración del hierro, cobalto y cromo ocurren en el horizonte de los ocres estructurales (limonita) en las tres áreas comparadas.

El bloque Q-20 se destaca por poseer los más altos valores de concentración de hierro respecto a las áreas que se comparan en el Yacimiento Martí.

Respecto al aluminio, podemos decir que existe una tendencia de carácter general en cuanto a que su concentración aumenta desde la serpentina hasta el escombros, esto se cumple para todas las



áreas comparadas. Es de destacar la particularidad de que el bloque Q-20 posee en los tres horizontes, una menor concentración de ese elemento dañino, en comparación con el Grupo V en general.

Sobre el manganeso, en los resultados obtenidos para las áreas estudiadas, observamos que dicho elemento posee un menor grado de concentración en la serpentina en comparación con los otros dos horizontes. En el Grupo I está más concentrado (en los tres horizontes) que en el Grupo V.

La sílice posee la tendencia general de ir disminuyendo en su concentración, desde los horizontes inferiores a los superiores de la corteza, siendo notable la brusca disminución desde a la serpentina a la limonita. Podemos señalar, que existe una mayor lixiviación de dicho componente en el horizonte de los ocres estructurales (limonita) para el bloque Q-20 que para el Grupo V en general. Este aspecto influye de manera decisiva en la calidad de dicho bloque, ya que como sabemos, la sílice es uno de los componentes perjudiciales en el proceso tecnológico de elaboración de la mena.

Como puede observarse en el anexo 1, el grado de lixiviación de la sílice es mayor en el Grupo I que en el Grupo V, para el escombros; sin embargo, para la limonita y la serpentina ocurre de modo contrario, o sea, en el Grupo I existe una mayor concentración de dicho componente que en el Grupo V para las capas productivas.

En cuanto al magnesio, puede señalarse que en el Grupo I existe una mayor lixiviación en los horizontes de ocres inestructurales y serpentinitas, que en el Grupo V. Respecto al horizonte de los ocres estructurales, no se han detectado diferencias significativas en los valores de los clarkes de concentración y coeficientes de acumulación del magnesio.



Es característico observar una disminución en el grado de concentración del magnesio, desde los horizontes inferiores a los superiores de la corteza en las áreas estudiadas. Es notable una disminución brusca de la concentración del magnesio desde la serpentina a la limonita.

Pasemos ahora a la comparación de los espectros geoquímicos del Grupo V y la Plancheta 11 (anexo 2). Los datos de esta última área han sido tomados de (12, anexo 3).

Al comparar estas áreas de distintos yacimientos, podemos decir desde un punto de vista general, que existen grandes semejanzas entre sus espectros geoquímicos. La analogía observada, se manifiesta de manera clara en la casi completa identidad de los caracteres gráficos de los espectros geoquímicos, de los horizontes comparados (escombros, limonita y serpentina). Los valores de los clarkes de concentración son bastante parecidos en ambas áreas, para los diferentes elementos químicos.

Es necesario citar, que para las dos áreas existen los mismos horizontes de la corteza, es decir, el escombros, la limonita, la serpentina y el fondo. El horizonte denominado fondo (peridotitas y serpentinitas lixiviadas) no ha sido representado en los espectros, ya que no poseíamos datos de su composición química en el Grupo V.

Podemos decir que tanto en el Grupo V del Yacimiento Martí como en la Plancheta 11 de Pinares de Mayarí, se desarrolla un perfil laterítico-ocroso-serpentinítico. O sea, que en ambas áreas se encuentran desarrollados los horizontes de ocre inestructurales (lateritas), ocre estructurales y serpentinitas arcillosas nontronitizadas en la corteza de intemperismo.

Solamente queremos señalar como una particularidad geoquímica importante, que la acumulación de níquel es mayor en las capas productivas de la Plancheta 11 que en las del Grupo V.



Finalmente, señalamos que una de las ventajas de la construcción de histogramas de los espectros geoquímicos, es que mediante su estudio podemos dividir (o distinguir) los elementos que forman parte de la composición material de la corteza de intemperismo en dos grandes grupos de acuerdo a su comportamiento:

a) Elementos que se lixivian en la corteza de intemperismo tales como el silicio y el magnesio.

b) Elementos que se concentran en la corteza de intemperismo tales como el níquel, hierro, cobalto, cromo, aluminio y manganeso.

De esta forma, por medio de los espectros geoquímicos, ha sido representada la composición material de la corteza en forma de paragénesis de los elementos químicos, para los diferentes horizontes o capas. A la vez, se ha podido analizar la conducta conjunta (e individual) de un gran grupo de elementos químicos en el proceso de la formación de los yacimientos hipergénicos de níquel, a partir de las rocas ultrabásicas.



#### 4.2.- Perfiles geólogo-geoquímicos generalizados.

En nuestro trabajo, han sido contruidos dichos perfiles para nueve bloques de trabajo que son: O-20, O-21, O-22, P-20, P-21, P-22, Q-20, Q-21 y Q-22, todos del Grupo V del Yacimiento Martí. Esto se ha hecho, con la finalidad de obtener una mayor información sobre el desarrollo de la corteza de intemperismo en el área que ocupan dichos bloques, entre los cuales se encuentran fundamentalmente los de mejores cualidades geólogo-tecnológicas de dicho grupo.

Los valores obtenidos para los coeficientes de acumulación del níquel, hierro y cobalto y los espesores medios de los horizontes de dichos bloques de trabajo aparecen en la tabla V. La representación gráfica de estos resultados aparecen en el anexo 3.

Si analizamos los datos que aparecen en la tabla y el correspondiente anexo, se puede llegar a obtener informaciones muy específicas sobre el desarrollo de la corteza de intemperismo en el área ocupada por los nueve bloques.

Respecto al espesor medio de cada uno de los horizontes podemos concluir que dentro del área de trabajo, predominan las menas limoníticas sobre las serpentiniticas. La potencia del horizonte de limonita varía dentro de los límites de dicha área en el rango de 1.33 m-2.08 m, con un valor promedio de 1.75 m. Mientras tanto, el rango en que oscila el espesor de la capa de serpentina es de 0.73 m-1.83 m, con un valor promedio de 1.09 m.

Observando el comportamiento en la distribución de los principales elementos meníferos en el corte vertical de la corteza para los bloques estudiados, podemos señalar que el níquel aumenta constantemente de los horizontes superiores a los inferiores.



TABLA V

Coeficientes de acumulación del Ni, Fe y Co y espesores de las capas en los bloques O-20, O-21, O-22, P-20, P-21, P-22, Q-20, Q-21 y Q-22 (bloques de trabajo).

Areas Capas	Bloque O-20	Bloque O-21	Bloque O-22	Bloque P-20	Bloque P-21	Bloque P-22	Bloque Q-20	Bloque Q-21	Bloque Q-22	Promedios para los nueve bloques.
Escombros	<u>0.86</u> <sup>(1)</sup>	<u>1.01</u>	<u>1.21</u>	<u>1.99</u>	<u>1.04</u>	<u>1.19</u>	<u>1.91</u>	<u>1.43</u>	<u>1.46</u>	<u>1.34</u>
	3.58	3.33	3.42	3.46	3.58	3.54	3.17	3.21	3.33	3.40
	8.31	8.20	8.38	8.48	8.70	8.10	8.79	7.39	7.28	8.18
	7.27	6.36	6.36	7.27	6.36	7.27	6.36	6.36	6.36	6.66
Limonita	<u>2.08</u>	<u>1.87</u>	<u>1.69</u>	<u>1.64</u>	<u>1.33</u>	<u>1.87</u>	<u>2.08</u>	<u>1.45</u>	<u>1.73</u>	<u>1.75</u>
	5.46	5.29	4.83	4.88	4.88	4.92	4.88	4.92	5.13	5.02
	8.29	8.24	8.65	8.44	8.86	8.24	8.90	8.42	7.84	8.43
	8.18	8.18	9.09	8.18	10.00	10.00	9.09	8.18	8.18	8.79
Serpentina	<u>1.83</u>	<u>1.70</u>	<u>0.84</u>	<u>1.18</u>	<u>0.86</u>	<u>0.84</u>	<u>0.80</u>	<u>0.73</u>	<u>1.08</u>	<u>1.09</u>
	6.50	6.50	5.42	5.58	5.67	5.04	5.46	5.79	5.38	5.70
	3.93	3.72	4.23	3.90	4.26	4.28	4.33	4.36	4.53	4.17
	4.55	3.64	5.46	5.46	6.36	5.46	8.18	5.46	5.46	5.56

(1) La primera cifra subrayada corresponde al espesor promedio en m., las restantes cifras corresponden a los coeficientes de acumulación del Ni, Fe y Co respectivamente.



El hierro tiene un comportamiento diferente, mostrándose generalmente un grado de acumulación muy semejante, tanto para el escombros como para la limonita. Ya al pasar a la serpentina ocurre una brusca disminución en la acumulación de ese elemento.

Los valores máximos para el cobalto se encuentran en el horizonte de los ocres estructurales (limonita) para los nueve bloques.

Por último señalaremos, que en el área de trabajo se observan perfiles bastante semejantes para cada uno de los nueve bloques, no habiéndose detectado diferencias de significación.

Esto nos habla acerca de un probable desarrollo análogo de los procesos de intemperismo para dichos bloques, o sea, que existe una relativa uniformidad en la construcción de la corteza de intemperismo para esa área. Esto podemos relacionarlo con los resultados del levantamiento geológico, ya que los nueve bloques de trabajo están ubicados todos sobre un mismo tipo de litología (serpentinitas) .

Analizando la topografía de esa área, notamos que es en general débilmente ondulada, no existiendo diferencias notables en las condiciones geomorfológicas de uno a otro bloque, (exceptuando la parte NE del bloque Q-22, que es más accidentada), aspecto que como sabemos tiene gran influencia en el desarrollo de la corteza de intemperismo.

Pasemos ahora al análisis de la tabla VI y el anexo 4. En dicha tabla aparecen los valores de los coeficientes de acumulación y de las potencias promedio de los diferentes horizontes para las siguientes áreas: Grupo I, Grupo V y la Plancheta 11. Para el Grupo V aparecen los valores promedio calculados a partir de los parámetros de todos y cada uno de



TABLA VI

Coeficientes de acumulación del níquel, hierro y cobalto y espesores de las distintas capas en los Grupos I y V del Yacimiento Martí y la Plancheta 11 de Pinares de Mayarí.

Areas Capas	Grupo I	Grupo V	Pinares de Mayarí (Plancheta 11)
	(1)		
Escombros	<u>3.00</u> 2.32 7.14 4.00	<u>2.20</u> 3.16 7.86 5.91	<u>1.10</u> 2.92 8.48 6.35
Limonita	<u>3.20</u> 5.13 7.68 10.45	<u>2.10</u> 4.89 8.22 9.00	<u>1.90</u> 6.04 8.39 8.00
Serpentina	<u>4.00</u> 7.00 3.13 4.09	<u>1.50</u> 5.34 4.26 5.61	<u>1.20</u> 7.00 3.75 3.64
Fondo	<u>2.00</u> 7.50 1.70 1.54	- - - -	<u>1.60</u> 2.58 1.65 1.45

(1) La primera cifra, la cual aparece subrayada, corresponde al espesor en metros; luego, los coeficientes de acumulación del níquel, hierro y cobalto respectivamente.



sus bloques (41 bloques).

Los datos del Grupo I y la Plancheta 11 han sido tomados de (4, pág.25).

Al analizar la tabla VI y el anexo 4 podemos señalar las tendencias siguientes:

a) Los espesores de los horizontes de la Plancheta 11 de Pinares de Mayarí son los menores, mientras que los del Grupo I son los mayores de las áreas que se comparan.

b) En el Grupo V predominan las menas limoníticas, mientras que en el Grupo I predominan las serpentiniticas.

c) Las mayores acumulaciones de níquel (en fondos geoquímicos) en la serpentina, corresponden al Grupo I (7.00) y a Pinares de Mayarí (7.00). En la capa de limonita el mayor valor para el coeficiente de acumulación del níquel corresponde a Pinares de Mayarí (6.04). Para la capa de fondo tenemos el valor máximo en el Grupo I (7.50), siendo este valor algo alto para dicha capa.

d) Las mayores acumulaciones de hierro en la serpentina corresponden al Grupo V (4.26). En la limonita su acumulación es alta en el Grupo V (8.22), pero es algo mayor en Pinares de Mayarí (8.39). En el escombros el mayor valor lo tenemos en Pinares de Mayarí (8.48).

e) Respecto al cobalto, podemos decir que las mayores acumulaciones en la capa de serpentina corresponden al Grupo V (5.61). En la limonita el mayor valor aparece en el Grupo I, es decir, que esta capa se encuentra muy enriquecida en cobalto en el citado grupo.



#### 4.3.- Cartas de isolíneas.

Como expresamos en la metodología, los mapas o cartas de isolíneas han sido analizados conjuntamente con otros métodos, con la finalidad de obtener resultados de mayor precisión, exactitud y confiabilidad.

Nos referimos, a la confrontación de los resultados que se desprenden del método gráfico de las isolíneas, con los resultados obtenidos en el cálculo de estadígrafos de los parámetros geológico-geoquímicos. Concretamente, diremos que para la discusión de resultados hemos recurrido a la utilización de la media aritmética (de contenido del elemento y espesor del horizonte, al coeficiente de variación o variabilidad relativa y al coeficiente de mineralización del horizonte en cuestión.

Es necesario señalar, que el método geoquímico de las cartas de isolíneas tiene la ventaja de reflejar gráficamente y con bastante objetividad cualquier tipo de tendencia o zonación horizontal que existiese, en lo referente a la magnitud que se estudia, ya sea contenido de un determinado elemento químico o espesor de un horizonte.

Ahora bien, es necesario señalar, que dicho método posee limitaciones que le restan exactitud.

La construcción de isolíneas se basa en el método de la interpolación de valores, por ello, cuando por una causa u otra, los datos en un área determinada son pocos o faltan, es menester realizar el trazado de las isolíneas, con una aproximación que puede resultar más o menos correcta.

Tal es el caso de que en el área de estudio, faltan algunas perforaciones debido a cuestiones técnicas como son los obstáculos que ocasionan algunas irregularidades



topográficas (presencia de arroyos y cañadas, barrancos, etc.) y otras causas. Esto, como es lógico, disminuye la cantidad de información en el área, restando exactitud al método y haciendo más difícil para nosotros, su desarrollo e interpretación.

En nuestro trabajo, se han construido cartas de isolíneas para los contenidos de níquel y hierro en las capas productivas, o sea, la limonita (ocres estructurales) y la serpentina (serpentinita nontronitizada); además, para los espesores de dichas capas. En total se confeccionaron seis cartas de isolíneas.

El área de trabajo comprende a los bloques O-20, O21, O-22, P-20, P-21, P22, Q-20, Q-21 y Q-22 del Grupo V del Yacimiento Martí. Es decir, nueve bloques que ocupan un área de  $562,500 \text{ m}^2$ .

La escala en que se han confeccionado las cartas de isolíneas es 1:1250 la cual constituye la escala de explotación del Yacimiento Martí, con la finalidad de aportar resultados prácticos que se ajusten lo mejor posible a las necesidades de la E.C.R.R.L.

De los seis mapas de isolíneas elaborados, solamente se anexan cuatro de ellos, considerados como los más representativos para su discusión y análisis. Tales son:

1.- Carta de isolíneas de contenido de níquel en la limonita (anexo 5).

2.- Carta de isolíneas de contenido de níquel en la serpentina (anexo 6).

3.- Carta de isolíneas de contenido de hierro en la serpentina (anexo 7).

4.- Carta de isolíneas del espesor de la serpentina (anexo 8).



Estos anexos se utilizan como ejemplo por su representatividad, no obstante se exponen también las conclusiones obtenidas en los restantes casos.

Debemos señalar que las isolíneas, en todos los casos no han sido calculadas según una metodología geoquímica, sino sobre la base de las condiciones que debe reunir una muestra (ver tabla III) en cuanto al contenido de Ni y Fe y en dependencia del rango de valores, es decir, tomando en cuenta los valores máximos y mínimos presentes en el área. Respecto a los espesores de los horizontes, podemos decir que las isolíneas han sido trazadas en dependencia del rango de variación de dicha magnitud.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

a) En el anexo 5 se muestran las líneas de isocontenidos de níquel en la capa de limonita. En dicho anexo podemos observar como tendencia de carácter general, que el níquel se distribuye más o menos homogéneamente en el área de estudio, predominando en general valores altos.

No obstante, podemos destacar a los bloques 0-20 y 0-21 donde existe una mayor concentración del elemento, pudiendo señalarse que los valores medios para el contenido de níquel en estos bloques son de 1.31 y 1.27% respectivamente, superando al valor medio para toda el área representada (1.20%). Es decir, que estos dos bloques pueden destacarse por su riqueza en cuanto a contenido de níquel en la limonita se refiere, lo cual se refleja en una cierta concentración de isolíneas de alto valor.

b) Respecto a la distribución del níquel en la serpentina (anexo 6) existe un mayor contraste, pudiendo señalarse que los valores más altos predominan en los bloques 0-20 y 0-21 donde el valor medio para ese elemento químico es de



1.56% en ambos, mientras que el valor medio para el área ocupada por los nueve bloques de trabajo en conjunto es de 1.37%. O sea, que existe una tendencia a la concentración de níquel hacia los bloques 0-20 y 0-21, reflejada en la concentración de las isolíneas de mayor valor. Refiriéndonos ya a las particularidades de dichos bloques, podemos decir que las mayores concentraciones de níquel se encuentran hacia la parte centro-oeste del bloque 0-21 y la parte centro-este del bloque 0-20.

c) En lo referente al hierro en la limonita, podemos decir que la correspondiente carta de isolíneas refleja una distribución más o menos homogénea en toda el área, sin que puedan destacarse zonas de concentración o dispersión marcada del elemento. El contenido medio para toda el área es de 47.21%.

d) Observando el anexo 7 donde aparece la variación horizontal del hierro en la serpentina, podemos notar que no existe ningún tipo de tendencia a la concentración o dispersión hacia una u otra parte del área. Podemos hablar de una distribución homogénea, no predominando en alguna zona, ni valores muy altos, ni valores muy bajos. El contenido medio para toda el área es de 23.35%.

e) Pasando al análisis de la variabilidad del espesor de la limonita señalaremos que mediante las isolíneas no se ha detectado alguna tendencia de aumento o disminución hacia una u otra parte del área. Es necesario señalar la gran variabilidad de la potencia en todos los bloques estudiados. El coeficiente de variación ( $K_v$ ) del espesor de la limonita oscila generalmente entre 40-70% en el área ocupada por los nueve bloques de trabajo.

Solamente debemos destacar que los bloques 0-20, 0-21 y Q-20 poseen los mayores espesores promedio, que son



2.08 m, 1.87 m y 2.08 m respectivamente, con coeficientes de mineralización para la limonita de 1.00, 0.95 y 1.00 respectivamente.

Estos parámetros geológico-geoquímicos conjugados, resaltan la importancia de dichos bloques en cuanto a la ocurrencia y espesor de la limonita, la cual es la mena fundamental dentro del Grupo V (resultado obtenido mediante el estudio de los perfiles geólogo-geoquímicos generalizados).

El valor medio del espesor de la limonita en el área ocupada por los nueve bloques de trabajo es de 1.75 m.

f) Analizando el anexo 8 extraemos la conclusión de que los mayores valores en el espesor de la serpentina se encuentran en los bloques 0-20 (1.83 m) y 0-21 (1.70 m), con coeficientes de mineralización para dicha capa de 0.93 y 0.83 respectivamente. Es decir, que la serpentina abunda más en estos bloques, poseyendo además, los mayores espesores. Es necesario señalar la gran variabilidad en el espesor de la capa de serpentina en cada uno de los bloques estudiados.

El valor medio del espesor de esta capa para los nueve bloques es de 1.10 m.

A manera de breve conclusión, podemos expresar que la aplicación del método de las cartas de isolíneas ~~ka~~ refleja que los bloques 0-20, 0-21 y Q-20 son los de mejores cualidades (en el área comprendida por los nueve bloques de trabajo) respecto a los parámetros analizados (contenido de Ni y Fe en limonita y serpentina y los espesores de dichas capas).



#### 4.4.- Coefficientes de intemperismo.

Para el cálculo de los coeficientes de intemperismo (siferritización, descomposición, alitización y meniferación de Ni y Co) fueron utilizados los resultados de los análisis químicos de las muestras compósitas tomadas en los pozos de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí. Estos datos se encuentran en el "registro de compósitos" de la Vice-Dirección de Minas de la E.C.R.R.L. de Nicaro.

En dicho registro, aparecen los contenidos (en % de peso) de los siguientes elementos y componentes químicos: Ni, Fe, Co,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , MnO y MgO.

Nuestro primer paso consistió en la selección de algunos de los bloques muestreados del Grupo V, basándonos en la geología de dicha área y otros factores. Los bloques seleccionados fueron: N-20, O-21, P-20, Q-21, R-20, U-20 y V-19. O sea, que para nuestro trabajo utilizamos siete bloques.

Estos se escogieron con la finalidad de dar una idea general del grado de desarrollo de los procesos de intemperismo dentro del Grupo V, mediante la cuantificación de dichos procesos calculando los referidos coeficientes de intemperismo.

Estos bloques son los más completos que aparecen en el registro de compósitos, es decir, que en ellos aparecen los resultados de los análisis en los tres horizontes (escombros, limonita y serpentina) siendo de esta forma los más apropiados para ejemplificar el proceso de intemperismo en dicho grupo. Además, se trató de escoger los bloques que estuviesen aproximadamente alineados, o sea, que constituyesen una dirección aproximada N-S, para tratar de detectar si existiese, algún tipo de variación o tendencia siguiendo una determinada dirección (o perfil) en el área estudiada.

Respecto a los bloques utilizados, diremos que hacia el sur del grupo, tenemos el N-20 (el cual ya ha sido minado),



mientras que hacia el norte están el V-19 y el U-20 (minados ambos), quedando hacia la parte central del grupo los bloques O-21, P-20, Q-21 y R-20 (estos últimos figuran entre los mejores según la jerarquización realizada en el trabajo de geomatemática).

En el presente trabajo, los resultados obtenidos en el cálculo de los coeficientes de intemperismo dentro del Grupo V, han sido comparados con los del Grupo I y la Plancheta 11. Los datos de estas dos últimas áreas han sido extraídos de (4).

En la tabla VII se expresan las fórmulas utilizadas para el cálculo de los coeficientes de intemperismo empleados.

Como se expresó anteriormente en la metodología, estos coeficientes se calculan en cantidades moleculares, por eso hubo que llevar los pesos (en %) de los diferentes componentes a cantidades moleculares según las siguientes fórmulas:

$$\text{cantidad molecular} = \frac{\text{contenido del componente (\%)}}{\text{peso molecular del componente}} \times 1000$$

La multiplicación por mil se realiza con la finalidad de trabajar con cantidades grandes y en lo posible, mayores que uno.

Señalaremos también, que en el caso del níquel, hierro y cobalto se hizo necesario llevarlos a sus respectivos óxidos ( $\text{NiO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO}$ ) mediante la utilización de los factores de conversión tomados de (9, pág.743-745).

Los contenidos de los principales componentes en la roca primaria (peridotita) han sido tomados de (12, pág.31).

En las tablas VIII a la XII se muestran los resultados obtenidos para los diferentes coeficientes de intemperismo.

Es necesario aclarar que en las tablas no aparecen los valores obtenidos para cada uno de los siete bloques seleccionados en el Grupo V, sino el valor medio de ellos.

Hemos trabajado de esta forma, ya que los resultados ob-



TABLA VII

Fórmulas empleadas en el cálculo de los coeficientes de interperismo.

Coeficiente	Fórmula
Siferritización	$K_{\phi} = \frac{\text{Si O}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$
Descomposición	$K_d = \frac{\text{R}_2\text{O}_3 : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})}{\text{R}_2\text{O}_3 : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O}) \text{ inicial}}$
Alitización	$K_a = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2}{(\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2) \text{ inicial}}$
Meniferación (Ni)	$K_{Ni} = \frac{\text{NiO} : (\text{R}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O} + \text{SiO}_2)}{\text{NiO} : (\text{R}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O} + \text{SiO}_2) \text{ inic.}}$
Meniferación (Co)	$K_{Co} = \frac{\text{CoO} : (\text{R}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O} + \text{SiO}_2)}{\text{CoO} : (\text{R}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O} + \text{SiO}_2) \text{ inic.}}$



TABLA VIII

Resultado del cálculo del coeficiente de siferritización.

$$K\phi = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Capas \ Areas	Grupo V (1)	Grupo I	Plancheta 11
Escombros	$\frac{73}{408}^{(2)}$ 0.1789	$\frac{44}{251}$ 0.1753	$\frac{57}{302}$ 0.1887
Limonita	$\frac{81}{420}$ 0.1929	$\frac{111}{269}$ 0.4126	$\frac{83}{297}$ 0.2793
Serpentina	$\frac{434}{210}$ 2.0667	$\frac{523}{110}$ 4.7545	$\frac{458}{128}$ 3.5781

$$\text{Peridotita: } \frac{609}{50} = 12.18$$

- (1) Los datos de esta columna se referirán siempre (en las tablas VIII a la XII) al promedio de los coeficientes calculados en los bloques N-20, O-21, P-20, Q-21, R-20, U-20 y V-19 del Grupo V.
- (2) En el numerador, la cantidad molecular de  $\text{SiO}_2$ ; en el denominador la cantidad molecular de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , al pie, el coeficiente de siferritización hallado.



TABLA IX

Resultado del cálculo del coeficiente de descomposición.

$$K_d = \frac{R_2O_3 : (RO + R_2O)}{[R_2O_3 : (RO + R_2O)] \text{ inicial}}$$

Areas Capas	Grupo V	Grupo I	Plancheta II
	(1)		
Escombros	$\frac{510}{58}$ (8.79) 141.3183	$\frac{345}{45}$ (7.67) 123.3118	$\frac{403}{44}$ (9.16) 147.2668
Limonita	$\frac{497}{88}$ (5.65) 90.8360	$\frac{333}{59}$ (5.64) 90.6752	$\frac{362}{63}$ (5.75) 92.4437
Serpentina	$\frac{248}{544}$ (0.46) 7.3955	$\frac{156}{418}$ (0.37) 5.9485	$\frac{153}{469}$ (0.33) 5.3054

Peridotita:  $\frac{62}{997} = 0.0622$

- (1) En el numerador la cantidad molecular de  $R_2O_3$ ; en el denominador la cantidad molecular de RO; entre paréntesis el cociente de la división de las dos magnitudes anteriores; debajo el coeficiente de descomposición hallado.



TABLA X

Resultado del cálculo del coeficiente de alitización.

$$K_a = \frac{Al_2O_3 : SiO_2}{(Al_2O_3 : SiO_2) \text{ inicial}}$$

Areas Capas	Grupo V	Grupo I	Plancheta 11
Escombros	(1) $\frac{88}{73}$ (1.21) 92.3664	$\frac{70}{44}$ (1.59) 121.3740	$\frac{88}{57}$ (1.54) 117.5572
Limonita	$\frac{54}{86}$ (0.63) 48.0916	$\frac{40}{111}$ (0.36) 27.4809	$\frac{45}{83}$ (0.54) 41.2213
Serpentina	$\frac{24}{434}$ (0.06) 4.5802	$\frac{35}{523}$ (0.07) 5.3435	$\frac{15}{458}$ (0.03) 2.2900

$$\text{Peridotita: } \frac{8}{609} = 0.0131$$

- (1) En el numerador la cantidad molecular de  $Al_2O_3$  y en el denominador la cantidad molecular de  $SiO_2$ ; entre paréntesis el cociente de las dos magnitudes anteriores; abajo, el coeficiente de alitización hallado.



TABLA XI

Resultado del cálculo del coeficiente de meniferación de níquel.

$$K_{Ni} = \frac{NiO : (R_2O_3 + RO + R_2O + SiO_2)}{NiO : (R_2O_3 + RO + R_2O + SiO_2) \text{ inicial}}$$

Areas Capas	Grupo V	Grupo I	Plancheta 11
Escombros	8.9405	10.2401	29.1817
Limonita	13.3631	17.6716	20.7783
Serpentina	8.4514	11.1411	11.3167

Peridotita: 0.0024

TABLA XII

Resultado del cálculo del coeficiente de meniferación de cobalto.

$$K_{Co} = \frac{CoO : (R_2O_3 + RO + R_2O + SiO_2)}{CoO : (R_2O_3 + RO + R_2O + SiO_2) \text{ inicial}}$$

Areas Capas	Grupo V	Grupo I	Plancheta 11
Escombros	13.0000	30.7217	31.6667
Limonita	19.7024	8.1667	3.2800
Serpentina	8.3472	9.1150	1.5417

Peridotita: 0.00012



tenidos en el cálculo de los coeficientes de intemperismo para dichos bloques, no han mostrado ningún tipo de tendencia especial o zonación en lo referente al grado de desarrollo de los procesos de intemperismo a través del área del Grupo V (en dirección NS), además, con la finalidad de no presentar tablas muy cargadas de valores que harían difícil su interpretación. Ahora bien, se han utilizado estos valores medios, ya que los resultados obtenidos en cada uno de los bloques mencionados, no han tenido diferencias que sean significativas, es decir, no han habido diferencias de amplio rango entre ellos.

Analicemos los resultados obtenidos en cada caso:

Coefficiente de siferritización ( $K_{\phi}$ ). Los resultados se muestran en la tabla VIII. Del análisis de dicha tabla podemos observar en la capa de serpentina del Grupo V, un empobrecimiento de sílice en comparación con el Grupo I y la Plancheta 11. Esto va a influir de manera directa en que dicho coeficiente sea de una menor magnitud en el Grupo V para la capa de serpentina. De manera semejante ocurre para la limonita.

En el escombros no existen diferencias significativas en los valores del coeficiente de siferritización en las áreas comparadas.

Resumiendo, diremos que los resultados del coeficiente de siferritización, confirman que hay un relativo empobrecimiento de sílice en las capas productivas del Grupo V. Esto influye directamente en que los coeficientes de siferritización sean menores que los del Grupo I y la Plancheta 11. El Grupo I se destaca por presentar los mayores valores de dicho coeficiente en las capas productivas es decir, que están enriquecidas en sílice.

Observando la variación del valor de  $K_{\phi}$  desde la roca madre hasta el escombros, vemos una tendencia general de empobrecimiento de sílice a medida que el proceso de intemperismo se hace más



completo e intenso. Es decir, que la sílice en virtud del proceso de lixiviación disminuye desde la roca inicial hasta los productos finales del intemperismo. Esta es una importante conclusión que se obtiene del análisis de  $K_0$ .

Respecto a los valores obtenidos independientemente en cada uno de los bloques estudiados en el Grupo V (N-20, O-21, P-20, Q-21, R-20, U-20 y V-19) diremos que estos fueron bastante semejante entre si, no mostrándose ningún tipo de tendencia especial en la dirección en que estos bloques se encuentran dispuestos, pudiendo hablarse de una cierta regularidad en toda el área del Grupo V. Es por ello, que en la tabla sólo aparece el valor promedio del coeficiente de siferritización.

Esto ocurre de modo semejante para los restantes coeficientes.

Coefficiente de descomposición  $K_d$ . Los resultados de este coeficiente están reflejados en la tabla IX.

En dicha tabla se observa una tendencia de carácter general de aumento de la suma de los sesquióxidos ( $Fe_2O_3$  más  $Al_2O_3$  más  $Cr_2O_3$ ) desde la roca inicial hasta el escombros. En cuanto a los óxidos ( $MgO$  más  $MnO$  más  $NiO$  más  $CoO$ ) se observa una tendencia contraria, o sea, que estos aumentan desde el escombros hasta la roca inicial. Debemos hacer énfasis en el  $MgO$  que es el óxido que aparece en mayor contenido en la roca inicial. Los resultados obtenidos nos hablan acerca de la migración cada vez mayor del magnesio a medida que progresa el proceso general del intemperismo, o sea, de su empobrecimiento progresivo el cual se hace patente en el cálculo del coeficiente de descomposición.

Al comparar las tres áreas (Grupo V, Grupo I y Plancheta 11) observamos que en ellas, los coeficientes calculados son más o menos del mismo orden, o sea, que no se han detectado grandes diferencias que puedan llevarnos a conclusiones acerca



del enriquecimiento o empobrecimiento relativo a algún grupo de componentes químicos (sesquióxidos u óxidos) en una u otra área.

Coefficiente de alitización  $K_a$ . Los resultados del cálculo de este coeficiente se muestran en la tabla X.

De su análisis, podemos deducir fácilmente que la cantidad de alúmina va aumentando paulatinamente desde la peridotita hasta el escombros. Esto nos habla acerca de la acumulación de dicho componente en los procesos de intemperismo de las rocas ultrabásicas. Mientras tanto, con la sílice ocurre lo contrario, ésta se lixivia, disminuyendo paulatinamente desde la roca inicial hasta el escombros.

Esta tendencia general puede ser observada en las tres áreas comparadas.

Analizando comparativamente los resultados obtenidos en las áreas de referencia, observamos que en el Grupo I, en la limonita, hay una disminución notable del valor de  $K_a$ . Ello, sin lugar a dudas se debe al elevado contenido de sílice en dicho grupo, en comparación con las otras dos áreas.

Coefficiente de meniferación de níquel. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla XI.

La conclusión más importante obtenida es que existe la tendencia general (en las tres áreas comparadas) de enriquecimiento de níquel en la capa de limonita, y no en la de serpentina. Esto se evidencia en que en ella concurren los valores más elevados para dicho coeficiente.

De la tabla observamos también, que los coeficientes más altos de mineralización niquelífera corresponden a la Plancheta 11.

Coefficiente de meniferación de cobalto. (ver tabla XII). En dicha tabla observamos que dicho coeficiente aumenta desde la roca madre hasta el escombros. Esto aparece claramente en



el Grupo I y la Plancheta 11, pero no es tan evidente en el área del Grupo V estudiada. No obstante, basándonos en las conclusiones que aparecen en (4) podemos concluir, que como tendencia general el coeficiente de meniferación de cobalto aumenta paulatinamente de la roca matriz al escombros.



## Conclusiones y Recomendaciones.

Las conclusiones y recomendaciones correspondientes a los trabajos: " Aplicación de métodos geomatemáticos en el estudio geológico-geoquímico del Yacimiento Martí " y " Algunas características geoquímicas del Yacimiento Martí, Nicaro, Ote, " se han elaborado conjuntamente ya que el objeto y el área estudiada han sido comunes en ambos casos, además, debido a la estrecha vinculación entre los temas tratados, se ha hecho necesaria la unificación de los resultados obtenidos, con la finalidad de brindar conclusiones y recomendaciones bien argumentadas y que puedan tener una utilidad práctico-económica.

## 5.1.- Conclusiones:

A continuación se exponen las conclusiones que han sido consideradas como las de mayor importancia y significación en nuestros trabajos:

1.- Las menas limoníticas, dentro del Grupo V del Yacimiento Martí son las de mayor importancia económica, predominando estas sobre las menas serpentiniticas.

La limonita es el horizonte más potente dentro de los horizontes productivos en el citado grupo, alcanzando un valor medio de 2,10 m, mientras que el horizonte de serpentina posee un espesor o potencia media de 1,50 m.

Los mayores valores de coeficientes de mineralización que se presentan en el Grupo V corresponden al horizonte de limonita, mientras que los coeficientes de mineralización de la capa de serpentina son por lo general bajos, exceptuando algunos valores altos, entre los cuales pueden citarse a modo de ejemplo, los correspondientes a los bloques 0-20 y 0-21, entre otros.

Analizando los valores de la productividad lineal relativa del níquel en los diferentes horizontes de la corteza de



intemperismo, dentro del Grupo V, observamos que los mayores valores corresponden al horizonte de limonita, es decir, que la limonita constituye la zona de acumulación óptima del níquel en dicho grupo. Este resultado se corrobora con la conclusión obtenida del análisis de los coeficientes de meniferación del níquel, de donde se desprende la existencia de una tendencia general de enriquecimiento de ese elemento en la capa de limonita y no en la de serpentina.

2.- Analizando comparativamente algunas características geológico-geoquímicas de los Grupos V y I del Yacimiento Martí podemos señalar:

2.1. En las capas productivas (limonita y serpentina), del grupo V, existe una menor concentración de níquel que en las mismas capas del Grupo I. Este resultado se refleja claramente en los espectros geoquímicos y en los coeficientes de meniferación del níquel para dichas áreas.

2.2. Respecto al contenido de sílice, puede decirse que se ha detectado una menor concentración de ese componente perjudicial en las capas productivas del Grupo V, con relación a las del Grupo I.

2.3. El manganeso se encuentra más concentrado en los tres horizontes (escombros, limonita y serpentina) del Grupo I, que en los del Grupo V.

2.4. Los mayores valores de los coeficientes de mineralización y productividad lineal relativa del níquel dentro de los horizontes productivos en el Grupo I, corresponden al horizonte de serpentina, mientras que en el Grupo V corresponden al horizonte de limonita. Es decir, que en el Grupo I predominan las menas serpentiniticas sobre las limoniticas, ocurriendo lo contrario en el Grupo V.

2.5. En el Grupo V del Yacimiento Martí, el espesor promedio de escombros es menor que en el Grupo I.



3.- En sentido general, en el horizonte de limonita del Grupo V se observa que la distribución de los contenidos de elementos meníferos es más homogénea que en el horizonte de serpentina.

Además, es notable que la variabilidad relativa de los espesores de cada uno de los horizontes de la corteza de intemperismo en dicho grupo, puede considerarse alta, no observándose diferencias muy significativas entre la variabilidad relativa de un horizonte con respecto a otro.

4.- La jerarquización realizada con los bloques del Grupo V, arrojó como bloques con mejores perspectivas para la explotación, los siguientes: O-20, O-21, Q-20, Q-19, P-20 y como bloques de menores perspectivas económicas en comparación con los anteriores tenemos: P-24, S-22, S-21, R-25, W-18 y Q-25.

Se aclara, que cabe la posibilidad de que bloques que posean buenas cualidades geólogo-geoquímicas y tecnológicas no aparezcan en dicha selección, al igual que puede ocurrir que dentro de los seleccionados, exista alguno cuyas cualidades no sean las óptimas.

Esto se debe, a lo difícil que resulta realizar una perfecta selección de bloques sobre la base del análisis y estudio profundo de una gran cantidad de parámetros e índices geólogo-geoquímicos y tecnológicos indispensables para ello.

Los resultados planteados en esta conclusión deben valorarse de acuerdo a lo señalado en la recomendación hecha al respecto.

#### 5.2.- Recomendaciones.

Durante el desarrollo de nuestros trabajos, han surgido toda una serie de inquietudes e inconvenientes que nos han llevado a formular algunas recomendaciones, que consideramos puedan reportar algún beneficio tanto desde un punto de



vista docente-investigativo, como para la producción. Entre ellas tenemos:

1.- Trabajos semejantes al presente, deben ser realizados en la etapa de exploración del yacimiento, con vista a obtener un conocimiento amplio del área a explotar, lo cual contribuirá, sin lugar a dudas, a la realización de una explotación más efectiva.

2.- Insistimos en la necesidad de aprovechar las ventajas que proporciona la utilización de un complejo de métodos geológicos, geofísicos, geoquímicos y técnicos (perforaciones, labores mineros, etc.) con el fin de lograr resultados más exactos, objetivos y confiables, elevando al máximo el nivel científico-técnico de los trabajos.

3.- Debe realizarse, en la medida de lo posible, un mayor volumen de análisis químicos de muestras compósitas en los distintos grupos del Yacimiento Martí, es decir, muestrar una mayor cantidad de pozos por bloque, con vista a obtener una información más exacta sobre las características geoquímicas del área que se estudie, sobre todo en lo referente a los contenidos de componentes dañinos, tales como:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ , etc.

4.- Debido a la influencia que poseen los contenidos no permisibles de componentes perjudiciales en el proceso tecnológico de la Planta de Nicaro, consideramos importante confeccionar en trabajos futuros, cartas de isocontenidos de dichos componentes. En nuestros trabajos estas no pudieron realizarse, ya que no contábamos con suficiente cantidad de datos para ello.

5.- Afin de garantizar una correcta valoración de los resultados obtenidos en la jerarquización de los bloques del Grupo V del Yacimiento Martí, se propone que los criterios emitidos al respecto pueden y deben verificarse con las investigaciones que realiza la " Empresa Comandante René Ramos Latour " relacionadas con este aspecto, para de este modo elevar la efectividad de los



trabajos propuestos. Para esto, consideramos que sería de utilidad el recálculo y la reevaluación de las reservas correspondientes a los bloques considerados con mejores y peores perspectivas para la explotación, al igual que realizar un muestreo tecnológico, con la finalidad de tener una idea más precisa y confiable acerca de la calidad y características tecnológicas de las menas en el área comprendida por los bloques en cuestión.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ADAMOVICH A.F., CHEJOVICH V.D., SOBRE LAS CONDICIONES GEOLOGICAS DE LA FORMACION DE LAS LATERITAS EN CUBA, Revista Tecnológica, #5, Ministerio de Industrias, La Habana, 1964.
- 2.- BUGUELSKY Y.Y., FORMELL C.F., GEOQUIMICA E HIDROGEOQUIMICA DE LA CORTEZA DE INTemperismo FERRONIQUELIFERA DE CUBA, Serie Geológica, #3, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 1967.
- 3.- BUGUELSKY Y.Y., FORMELL C.F., INFLUENCIA DEL FACTOR HIDROGEOQUIMICO EN LA FORMACION Y DISTRIBUCION DE LAS CORTEZAS DE INTemperismo DE CUBA, Serie Geológica, #13, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 1973.
- 4.- CROMBET C.A., RUZ P.E., INFORME SOBRE LAS CARACTERISTICAS Y DISTRIBUCION DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS GEOLOGICO-GEOQUIMICOS DE LOS BLOQUES S-13 Y S-14 DEL GRUPO I DE LA MINA MARTI, NICARO, ORIENTE, Empresa Comandante René Ramos Latour, Nicaro, Oriente, 1974.
- 5.- DUDA J.Dr., METODICA DE LOS CALCULOS EN LA EXTRACCION DEL MINERAL, Empresa Comandante René Ramos Latour, Departamento de Minas, Sección de Desarrollo, Nicaro, 1970.
- 6.- HERNANDEZ E., S., CASTELLANOS J., Y OTROS, METALURGIA EXTRACTIVA DE LOS MINERALES OXIDADOS DE NIQUEL, Editorial Organismos, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1972.
- 7.- NOTAS DE CLASE, correspondientes a las asignaturas Geoquímica y Métodos Geoquímicos de Búsqueda de los Yacimientos Minerales, impartidas por el ingeniero Carlos A. Crombet H., Santiago de Cuba, curso 1973-1974.
- 8.- PEREZ A., R., OPTIMIZACION DE LA RED DE EXPLORACION DEL AREA MARTI EN EL YACIMIENTO NICARO (tesis de grado), Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1972.
- 9.- RANKAMA K., SAHAMA TH.G., GEOQUIMICA, Editorial Aguilar, España, 1962.
- 10.- SEMINARIOS DE GEOQUIMICA Y GEOMATEMATICA, impartidos por el ingeniero Carlos A. Crombet H., Santiago de Cuba, 1975.
- 11.- VERSHININ A.S., METODOS GEOQUIMICOS PARA LA BUSQUEDA DE LOS YACIMIENTOS MINERALES, Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1971.
- 12.- VERSHININ A.S., CROMBET C.A., PARTICULARIDADES GEOQUIMICAS DEL YACIMIENTO PINARES DE MAYARI, Departamento de Yacimientos Minerales de la Escuela de Geología de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1972.



- 13.- VERSHININ A.S., CROMBET C.A., HURTADO G., A., AGEENZO N.F.,  
CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS DEL YACIMIENTO  
PUNTA GORDA, Departamento de Yacimientos Mine-  
rales de la Escuela de Geología de la Univer-  
sidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1972.
- 14.- VINENT F., J., PARTICULARIDADES GEOLOGICAS DEL YACIMIENTO  
MARTI, ORIENTE (tesis de grado), Escuela de In-  
geniería Geológica de la Universidad de Orien-  
te, Santiago de Cuba, 1972. —



## RELACION DE ANEXOS GRAFICOS

- 1.- Espectros geoquímicos de diferentes áreas del Yacimiento Martí.
- 2.- Espectros geoquímicos del Grupo V del Yacimiento Martí y la Plancheta 11 del Yacimiento Pinares de Mayarí.
- 3.- Perfiles geólogo-geoquímicos generalizados en bloques del Grupo V del Yacimiento Martí.
- 4.- Perfiles geólogo-geoquímicos generalizados del Grupo I, Grupo V y Plancheta 11.
- 5.- Carta de isolíneas de contenido de níquel en la limonita.
- 6.- Carta de isolíneas de contenido de níquel en la serpentina.
- 7.- Carta de isolíneas de contenido de hierro en la serpentina.
- 8.- Carta de isolíneas del espesor o potencia de la serpentina.



## RELACION DE TABLAS

- I.- Relación de bloques y pozos estudiados del Grupo V del Yacimiento Martí.
- II.- Relación de los datos primarios necesarios para la realización del trabajo.
- III.- Nomenclatura general (geológica y tecnológica) de las zonas u horizontes de la corteza de intemperismo.
- IV.- Clarkes de concentración ( $C_c$ ) y coeficientes de acumulación ( $C_a$ ) para cada tipo de horizonte en las áreas estudiadas.
- V.- Coeficientes de acumulación del níquel, hierro y cobalto y espesores de las distintas capas en los bloques O-20, O-21, O-22, P-20, P-21, P-22, Q-20, Q-21, Q-22 (bloques de trabajo).
- VI.- Coeficientes de acumulación de níquel, hierro y cobalto y espesores de las distintas capas en los Grupos I y V del Yacimiento Martí y la Plancheta 11 de Pinares de Mayarí.
- VII.- Fórmulas empleadas en el cálculo de los coeficientes de intemperismo.
- VIII.- Resultado del cálculo del coeficiente de siferritización.
- IX.- Resultado del cálculo del coeficiente de descomposición.
- X.- Resultado del cálculo del coeficiente de alitización.
- XI.- Resultado del cálculo del coeficiente de meniferación de Ni.
- XII.- Resultado del cálculo del coeficiente de meniferación de Co.