

**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Geológicas**

**Geoquímica y Mineralogía de la Mineralización Cromífera Asociada al  
Complejo Ofiolítico en la Región de Moa - Baracoa, Cuba**

**Autor: Ing. José Nicolás Muñoz Gómez**

**Moa, abril de 1997**

*“Año del 30 Aniversario de la Caída en Combate del Guerrillero Heroico y sus Compañeros”*

## INDICE

<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
Indice	1
Síntesis	3
Introducción	4
<b>Capítulo I. Características geográficas, económicas y geológicas de la región de Moa - Baracoa y de los yacimientos " Cayo Guan " y "Potosí"</b>	<b>16</b>
Introducción	17
Características geográficas de la región de Moa – Baracoa	17
Situación geográfica	17
Orografía	18
Hidrografía	18
Clima	20
Flora y Fauna	22
Características económicas de la región de Moa – Baracoa	22
Recursos humanos	22
Recursos minerales	23
Recursos agrícolas y forestales	23
Características geológicas de la región de Moa – Baracoa	24
Particularidades geológicas de la mineralización cromífera en los yacimientos "Cayo Guan" y "Potosí"	27
Criterios sobre la prospección cromífera en la región de Moa – Baracoa	31
<b>Capítulo II. Características geoquímicas de la mineralización cromífera del yacimiento "Cayo Guan"</b>	<b>35</b>
Introducción	36
Espinela cromífera. Generalidades	37
Espinelas cromíferas masivas	38
Macrocomponentes	38
Microcomponentes	43
Espinelas cromíferas accesorias	54
Macrocomponentes	56
Microcomponentes	59
Resultados geoquímicos	61
<b>Capítulo III. Mineralogía de las menas cromíferas del yacimiento "Potosí"</b>	<b>63</b>
Introducción	64
Identificación de minerales	64
Espinela cromífera	65
Rutilo	68
Laurita – erlichmanita	72
Calcopirita	75
Pirita	78
Mackinawita	80
Millerita	82
Pentlandita	84
Heazlewoodita	87
Pirrotina	90
Paragénesis minerales	93
Paragénesis - A -	93
Paragénesis - B -	97

Paragénesis - C -	98
Paragénesis - D-	99
Orden de consecutividad de formación de las paragénesis y sus modelos teóricos	100
Resultados mineralógicos	106
Capítulo IV. Características geoquímicas de la mineralización cromífera del yacimiento "Potosí"	109
Introducción	110
Macrocomponentes	111
Microcomponentes	119
Relaciones geoquímicas catiónicas	124
Hipótesis de segregación de la espinela cromífera	138
Resultados geoquímicos	142
Conclusiones y recomendaciones	145
Bibliografía y referencias	152
Bibliografía del autor sobre el tema de la tesis	153
Referencias citadas y bibliografía consultada	154

**Síntesis de la Tesis: “Geoquímica y Mineralogía de la Mineralización Cromífera Asociada al Complejo Ofiolítico en la Región de Moa - Baracoa, Cuba”.**

El trabajo de investigación que se expone recoge los estudios llevados a cabo sobre la geoquímica y la mineralogía de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa en los yacimientos: “Cayo Guan” y “Potosí”.

Se exponen las características geológicas de la asociación ofiolítica y las particularidades de la geología de los yacimientos "Cayo Guan" y “Potosí” así como las consideraciones del autor sobre la prospección de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa.

El empleo de técnicas de avanzada y el procesamiento computarizado de los resultados permitió la caracterización geoquímica de los elementos químicos que integran la espinela cromífera, lo que a su vez contribuyó a profundizar en el conocimiento de la génesis de los yacimientos de cromititas y sus implicaciones en los principios de prospección de la mineralización cromífera en el área de estudio.

Además, la conjugación de investigaciones minerográficas tradicionales, estudios petrológicos e investigaciones de microscopía electrónica de barrido facilitaron la identificación precisa de las mineralizaciones asociadas a las espinelas cromíferas en el yacimiento "Potosí". Se establecieron las paragénesis minerales, los modelos teóricos correspondientes y el orden de consecutividad de formación de las mismas. Se fundamenta, desde el punto de vista geoquímico, mineralógico y petrológico, la hipótesis de segregación de la espinela cromífera. En cada capítulo se citan los principales resultados alcanzados.

Finalmente, se presenta un cuerpo de conclusiones que constituyen aportes al conocimiento científico en el campo de la geología, geoquímica, mineralogía y metalogenia de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa. Asimismo, se argumenta un grupo de recomendaciones, entre las que se destaca una propuesta de metodología para el desarrollo de la prospección de los yacimientos cromíferos en el área investigada y en el resto del país.

## **INTRODUCCION**

### **GEOQUIMICA Y MINERALOGIA DE LA MINERALIZACION CROMIFERA ASOCIADA AL COMPLEJO OFIOLITICO EN LA REGION DE MOA - BARACOA, CUBA.**

## Geoquímica y Mineralogía de la Mineralización Cromífera Asociada al Complejo Ofiolítico en la Región de Moa - Baracoa, Cuba.

### Introducción

Un rasgo esencial de la geología de nuestro país lo constituye, sin lugar a dudas, el cinturón o faja de litologías de la asociación ofiolítica dislocadas en el norte del territorio cubano. Sus afloramientos se registran desde el occidente del país hasta el este de la provincia de Guantánamo. (Adamovich, A. y Chejovich, V., 1963)<sup>2</sup>.

La metalogenia exógena de la asociación ofiolítica está representada por la existencia de potentes cortezas de intemperismo con importantes yacimientos de hierro, níquel y cobalto y otros elementos genéticamente relacionados con la mineralización fundamental; en cambio, la metalogenia endógena está representada por la existencia de la mineralización cromífera, la cual se manifiesta desde las provincias de Pinar del Río y Matanzas en el occidente del país hasta Camagüey y en la porción oriental de Holguín y Guantánamo. (Thayer, T. P., 1942)<sup>111</sup>, (Semeniov, Y. L., 1968)<sup>104</sup>, (Muñoz Gómez, J.N., 1994)<sup>82</sup>.

El trabajo de investigación que se expone recoge los estudios realizados sobre la geoquímica y la mineralogía de la mineralización cromífera en los yacimientos: "Cayo Guan" y "Potosí".

La fundamentación científica de la presente investigación parte de la hipótesis de que los yacimientos de espinelas cromíferas podiformes con características refractarias se localizan en las denominadas **zonas de transición** entre los complejos máficos y ultramáficos de la antigua corteza oceánica de la asociación ofiolítica en Cuba y en el extranjero. (Thayer, T.P., 1964)<sup>112</sup>, (Dickey, J.S.Jr., 1975)<sup>25</sup>, (Coleman, R.G., 1977)<sup>22</sup>, (Nicolas, A. and Prinzhofer, A., 1982)<sup>91</sup>, (Gervilla, F. and Leblanc, M., 1990)<sup>35</sup> y (Leblanc, M and Nicolas, A., 1992)<sup>68</sup>.

Las primeras denuncias de la mineralización cromífera en Cuba datan desde las últimas décadas del siglo pasado y de los primeros años del actual, las que quedan recogidas en los trabajos de Hayes, Vaughan y Spencer (Hayes, C.W., Vaughan, T.W. and Spencer, A.C., 1901)<sup>45</sup>.

Desde 1914 en que se realizó la primera exportación de minerales cromíticos hacia Los Estados Unidos de América (Thayer, T.P., 1942)<sup>111</sup> hasta la actualidad, la prospección de los yacimientos cromíferos - **yacimientos de cromitas** - siguiendo la terminología

de los mineros del sector, se ha fundamentado en el principio de la **aflorabilidad** de los puntos mineralizados, manifestaciones minerales y cuerpos minerales de las espinelas cromíferas - **cromitas** - y en la presencia de bloques, cantos rodados y arrastres en los sedimentos pesados de cañadas, arroyos y ríos que surcan las litologías de la asociación ofiolítica. No en balde, un geólogo con amplia experiencia en la prospección y exploración del cromo expresó: “... *el mejor geólogo prospector para el cromo en Cuba es el río...*” (Labrada Gómez, J.C., comunicación personal).

Es por ello, que las investigaciones y trabajos desarrollados en las áreas perspectivas (afloramientos pequeños y cuerpos minerales), sólo se han limitado a la ejecución de proyectos de prospección y exploración con el objetivo de incrementar las reservas de menas cromíferas; por lo que no se han realizado trabajos sobre la temática de las características geoquímicas y mineralógicas de las espinelas cromíferas, conducentes a profundizar en la génesis de la mineralización cromífera.

Por otra parte, la exportación de concentrados de cromo constituye uno de los rubros de ingresos en moneda libremente convertible para nuestro país y existen perspectivas de que la demanda se incremente anualmente; por lo que es una necesidad el crecimiento de las reservas, tanto en los actuales yacimientos en explotación como en aquellos que puedan ser descubiertos al aplicar nuevas concepciones genéticas y de prospección. De incrementarse las reservas en los yacimientos cromíferos de "Cayo Guan" y "Potosí" estarían llamados a garantizar una materia prima de mayor calidad e implicaría una reducción de los costos actuales de producción.

El objetivo fundamental de la presente investigación es **contribuir al conocimiento científico en el campo de la geoquímica y la mineralogía de la mineralización cromífera, asociada al complejo ofiolítico y sus implicaciones genéticas y de prospección en la región de Moa - Baracoa, en el ejemplo de los yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí”.**

De este objetivo principal se derivan otros, tales como:

- Caracterizar geoquímica y mineralógicamente la mineralización cromífera asociada a las litologías de la asociación ofiolítica en la región de Moa - Baracoa, en los ejemplos de los yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí” .
- Contribuir al conocimiento de las características genéticas de la mineralización cromífera alpinotípica - **complejos ofiolíticos obducidos** - y de los

rasgos estratiformes en los campos minerales estudiados sobre la base de los contenidos de **TiO<sub>2</sub>** y **FeO** y otros indicadores petrológicos y geoquímicos, lo que tiene una incidencia directa en la fundamentación científica para la elaboración de proyectos de prospección de los yacimientos de espinelas cromíferas.

- Caracterizar mineralógicamente las paragénesis asociadas a la mineralización cromífera y la sucesión de su segregación así como contribuir al conocimiento de la mineralización de los elementos del grupo del platino en el ejemplo del yacimiento “Potosí” .
- Contribuir al conocimiento de la posición de la mineralización cromífera en los yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí” en relación con el corte teórico de la asociación ofiolítica en la antigua corteza oceánica por la incidencia que ello representa para la prospección de los yacimientos de espinelas cromíferas.

Los resultados arribados durante las investigaciones realizadas constituyen la base para la presentación de este trabajo.

La presencia de minerales cromíticos - **cromitas** - se conocen en Cuba desde los inicios del siglo pasado y a consideración de Thayer los primeros trabajos de explotación se efectuaron en los años cincuenta y sesenta del siglo pasado y las exportaciones hacia Los Estados Unidos de América se iniciaron con un embarque de 34 toneladas métricas en 1916. (Thayer, P. T., 1942)<sup>11</sup>

El primer reporte geológico a considerar fue publicado a inicios del siglo XX por Hayes, Vaughan y Spencer; fue precisamente Spencer el primero en notificar la existencia de cromitas diseminadas en los horizontes lateríticos de la región de Moa. (Hayes, C.W., Vaughan, T.W. and Spencer, A.C., 1901)<sup>45</sup>

En 1918, Burch y Burchard realizaron algunas evaluaciones de los minerales y recursos pronósticos de minerales cromíticos y de manganeso en el oriente cubano, los trabajos estaban dirigidos a incrementar el estudio y los volúmenes de reservas de minerales de cromo, debido a las necesidades del gobierno de Los Estados Unidos de América, como consecuencia de la demanda originada por la Primera Guerra Mundial. (Burch, A. and Burchard, E.F., 1919)<sup>14</sup>

A finales de 1929 se publicaron los resultados de las investigaciones geológicas sobre los yacimientos de cromitas en la provincia de Camagüey. (Allende, R., 1949)<sup>4</sup>.

Un destacado trabajo que contribuyó al conocimiento geológico de la mineralización cromífera asociada a las ultramafitas fue el trabajo regional desarrollado por T. P. Thayer y sus colaboradores a principios de la década de los años cuarenta del presente siglo (Thayer, P.T., 1942)<sup>111</sup>. Posteriormente, a finales de esa década se efectuaron trabajos detallados en los yacimientos de la provincia de Camagüey y en la región de Moa. (Guild, P.M., Flint, D.E., and Albear, J.F., 1947)<sup>41</sup>.

En la sucesión de los trabajos geológicos se destacó el realizado a principios del triunfo de la Revolución por A. Adamovich y V. Chejovich que consistió en un levantamiento geológico regional del nordeste de la antigua provincia de Oriente. Las investigaciones realizadas se ejecutaron con un volumen bajo de laboreos mineros y de pozos de mapeo, no obstante, sirvió de documento geológico primario para futuros proyectos de prospección. En esas investigaciones se evaluaron de forma pronóstica los recursos cromíticos de la zona oriental (Adamovich, A. y Chejovich, V., 1962)<sup>2</sup>.

Seguidamente, entre los años 1963 y 1964 se llevaron a cabo investigaciones y trabajos detallados de exploración en los yacimientos de la región de Moa - Baracoa ("Cromita", "Cayo Guan", "Potosí" y "Delta") dirigidos por Kenarev, estableciéndose el carácter refractario de las menas cromíticas de la región de Moa - Baracoa. Se estudió en detalle el yacimiento de menas cromíferas "Potosí", realizándose el cálculo de reservas del yacimiento (Kenarev, V., 1962-1963)<sup>57</sup>.

En la zona de los yacimientos "Mercedita" y "Yarey" se efectuaron estudios de la mineralización cromítica refractaria dirigida por Diomin durante los años 1964-1966, el objetivo fundamental de los trabajos estaba dedicado a caracterizar la estructura geológica del campo mineral Mercedita - Yarey, ejecutándose el cálculo de reservas de ambos yacimientos cromíferos; como tareas secundarias se estudiaron las manifestaciones Loro y Piloto (Diomin, A.T., 1964)<sup>29</sup> y (Diomin, A.T., Konsrestki, A.K., 1965)<sup>30</sup>.

Durante el año 1964 se llevó a cabo el trabajo Magmatismo Intrusivo y Metalogenia de Cuba, en dicha memoria se realizó una generalización de los materiales geológicos existentes sobre diferentes tipos de mineralización útil, incluyéndose la mineralización cromífera. (Semeniov, Y.A., 1968)<sup>104</sup>.

Un trabajo de carácter regional realizado en los principales yacimientos y manifestaciones cromíticas en la región de Pinares de Mayarí hasta las inmediaciones del río Castro en Sagua de Tánamo fue dirigido por Murashko en 1966-1967. Como resultado de los trabajos ejecutados se presentó un mapa de cada yacimiento y se evaluaron sus

reservas. Se estableció el carácter metalúrgico de la mineralización cromífera en la zona de Pinares de Mayarí (Murashko, V., 1963)<sup>86</sup>.

En los años 1973 y 1974 se realizaron trabajos de prospección y exploración geológica en el área de explotación histórica ("Cromita", "Cayo Guan", "Potosí" y "Las Deltas"), realizándose un estudio geológico de los yacimientos en explotación y se ejecutó el cálculo de reservas de los mismos (Dzuberá, A., 1974)<sup>32</sup>.

Destacados investigadores del Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba desarrollaron trabajos científicos en áreas perspectivas dirigidas a incrementar los conocimientos sobre la mineralización cromífera (1969-1973) entre los que se destacan: M. Muñoz, N. V. Parlov, I. J. Grigorieva, Krachenko y O. Vázquez.

Es de señalar el trabajo de levantamiento geológico regional de la antigua provincia de Oriente ejecutado por especialistas de la Academia de Ciencias de Hungría y el Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba (1973-1976), donde se exponen consideraciones importantes sobre la mineralización cromífera y un mapa de yacimientos minerales con la evaluación pronóstica de las reservas de menas cromíferas (Nagy, E., et.al, 1976)<sup>89</sup>.

Durante los años 1988-1989 se desarrollaron trabajos temáticos en la región de Moa-Baracoa, cuyo objetivo central estaba dado en conocer el comportamiento geoquímico de los elementos del grupo del platino (PGE) tanto en las cortezas de intemperismo como en las espinelas cromíferas y en las litologías máficas y ultramáficas. Las investigaciones respondían al cumplimiento del tema: "Yacimientos Minerales Útiles de la República de Cuba", participando especialistas de la Academia de Ciencias de Cuba y de la antigua Unión Soviética y profesores de la Facultad de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Como resultado principal de las investigaciones efectuadas se obtuvo la identificación de fases platiníferas en las mineralizaciones asociadas al complejo ofiolítico (en espinelas cromíferas de los yacimientos "Cayo Guan", "Potosí", "Mercedita" y "Albertina" entre otros yacimientos y manifestaciones) y sus litologías así como en las cortezas de intemperismo de perfil laterítico, corroborándose la existencia de minerales del grupo del platino en las menas que abastecen la actual planta de la Moa Nickel S.A., en las colas metalúrgicas de dicha instalación y en el concentrado final de sulfuro de níquel y cobalto. (Disther, V.V., et.al., 1989)<sup>27</sup> y (Disther, V.V., Falcón, H.J., Muñoz Gómez J.N. y Campos Dueñas. M., 1990)<sup>28</sup>.

Un tercer trabajo de levantamiento geológico regional a escala 1: 50 000 que incluyó la región de Moa - Baracoa se llevó a cabo durante el período 1987-1990, fue desarrollado por especialistas geólogos y geofísicos de la Academia de Ciencias de Hungría y cubanos de la actual Empresa Geólogo - Minera de Oriente; llevándose a cabo un volumen considerable de trabajos geológicos y tareas de prospección acompañante (Gyarmati, P. et al., 1990)<sup>44</sup>.

Importantes trabajos de prospección y exploración geológica se han llevado a cabo durante varios años por geólogos de la Empresa Cromo - Moa de Punta Gorda, Moa.

En el período comprendido entre los años 1986-1990 se efectuaron importantes trabajos de prospección y exploración detallada en el yacimiento "Amores", en los cuales se estudiaron en detalle las características del yacimiento y en especial el Cuerpo # 11. (Labrada Gómez, J. C., 1990)<sup>65</sup>.

Asimismo se efectuaron importantes tareas de exploración orientativa en los restantes cuerpos minerales que conforman el yacimiento "Amores", en particular los Cuerpos: **1, 2, 5 y 10**, estableciéndose además su posición geológica en el yacimiento. (Labrada Gómez, J. C., 1988)<sup>64</sup>

En el año 1991 se presentó el informe sobre los resultados del levantamiento geológico en escala 1: 10 000 proyectado y ejecutado por especialistas del Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba, formando parte del tema **401-12**, incluyendo el estudio de la geología de los yacimientos de cromo de la región de Moa - Baracoa así como su evaluación pronóstica, es sin lugar a dudas el trabajo de mayor profundidad científica realizado en la región. (Fonseca, E., et al., 1991)<sup>33</sup>.

Durante el período de 1992-1993 se realizaron los trabajos de prospección detallada del yacimiento "Los Naranjos" incluyéndose el cálculo de reservas del yacimiento de menas cromíferas. (Pelier Carcasés, M., 1992)<sup>94</sup>. Asimismo, se ejecutaron diferentes tareas geológicas en la manifestación mineral **MB-32**. Esencialmente los trabajos estuvieron encaminados a realizar la exploración orientativa de la manifestación mineral **MB-32** y la ejecución del cálculo de reservas correspondiente. (Pelier Carcasés, M., 1994)<sup>95</sup>.

Recientemente, se concluyó un importante trabajo sobre la generalización de la información geológica sobre las cromitas refractarias de la región de Moa - Baracoa y delimitación de las áreas perspectivas en los flancos de los yacimientos explotados, realizados por especialistas de la Empresa Cromo - Moa y la Empresa Geólogo - Minera de Oriente. (Guerra, C.V. y Navarrete, M., 1995)<sup>42</sup>

La metodología aplicada en la consecución de las tareas científicas llevadas a cabo en los últimos diez años, en la asociación ofiolítica y la mineralización cromífera asociada, conducentes a profundizar en el conocimiento de las particularidades de la geoquímica y la mineralogía de las cromititas, consistió en:

- Desarrollar una profunda consulta bibliográfica científico - técnica que incluyó contenidos de la tectónica de placas (y sus incidencias en la formación de los yacimientos magmáticos), complejo ofiolítico, yacimientos de espinelas cromíferas (podiformes y estratiformes), los elementos del grupo del platino, mineralización sulfurosa asociada al complejo ofiolítico, comportamiento geoquímico de los elementos químicos que conforman la celda unitaria de las espinelas cromíferas, procesos de serpentización del complejo cumulativo ultramáfico y máfico, geoquímica y mineralogía de las espinelas cromíferas y sus paragénesis minerales acompañantes, realizando un resumen de los trabajos desarrollados en la región incluyendo aspectos petroológicos, estructurales y de la geología regional de Cuba oriental.
- Ejecución de los trabajos de reconocimiento entre los que se incluyen documentación y muestreo de puntos de mineralización, manifestaciones minerales y yacimientos minerales de espinelas cromíferas (“Cayo Guan”, “Postosí”, “Amores” y “Mercedita”).
- Participación en levantamientos geológicos regionales y detallados; documentación y muestreo de testigos de pozos de perforación, laboreos mineros superficiales y subterráneos. Se efectuó un levantamiento geológico a escala 1: 50 000 en el valle del río Jaguaní, desde las inmediaciones del poblado de La Melba hasta la mina “Mercedita”, con una superficie de 24 kilómetros cuadrados, estudiándose las litologías presentes y sus relaciones con la mineralización cromífera.
- Además se realizaron visitas, documentación, muestreo de afloramientos, puntos de mineralización, manifestaciones minerales y yacimientos minerales de espinelas cromíferas y de las diferentes litologías del complejo ofiolítico. Entre los yacimientos estudiados e investigados se incluyen: “Casimba” y “Caledonia” en la Meseta de Pinares de Mayarí y pequeños yacimientos en la zona de Sagua de Tánamo, incluyendo el yacimiento “Albertina”.

- Se efectuó un levantamiento geológico en el área del complejo Miraflores a escala 1:50 000, documentándose puntos de mineralización y pequeñas manifestaciones minerales entre ellas "Blas". Se estudió en detalle un pozo estructural de 500 metros de profundidad. La documentación de esta área forma parte del levantamiento realizado por geólogos húngaros y cubanos del Polígono - V Guantánamo, realizados en los años 1987-1990.(Gyarmati, P., et al., 1990)<sup>44</sup>.

Las investigaciones efectuadas se desarrollaron mediante la aplicación de un sistema de métodos analíticos que incluyen:

- I. Investigaciones mineragráficas
- II. Microscopía electrónica de barrido
- III. Análisis petrológicos.

I. Las investigaciones mineragráficas se efectuaron fundamentalmente en el Laboratorio de Minerografía del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, donde se efectuaron los análisis de microdureza Vickers (**VHN**), mediante el microdurómetro PTM-3 de fabricación rusa (LOMO, St. Petersburgo, Rusia), además, se realizaron las determinaciones de los principales parámetros ópticos: color, birreflexión, isotropía-anisotropía y los análisis textural-estructural de las menas cromíferas.

También se efectuaron investigaciones mineragráficas en el Laboratorio de Microscopía de Menas de la Facultad de Geología perteneciente a la Universidad Técnica Academia de Minas de Freiberg, Sajonia, República Federal de Alemania, donde se efectuaron las mediciones de la capacidad de reflejo (R%), en el espectro visible de los minerales acompañantes a la mineralización cromífera, utilizándose el microespectrofotómetro ocular **MFV - 4001**. (Carl Zeiss de Jena, RFA). (Muñoz Gómez, J.N. y Campos Dueñas, M., 1992)<sup>79</sup>.

II. Los análisis de los minerales independientes en las litologías del complejo ofiolítico (fundamentalmente olivino, piroxenos, plagioclasas, entre otros) y de la mineralización metálica (espinelas cromíferas, sulfuros, rutilo etc.), se realizaron a través de la microscopía electrónica de barrido con el empleo de la microsonda electrónica Modelo JEOL-733 de fabricación japonesa.

Los análisis de microscopía electrónica se efectuaron en el Instituto de Geología de los Yacimientos Minerales, Petrología y Mineralogía de la Academia de Ciencias de Rusia,

Universidad Técnica Academia de Minas de Freiberg, República Federal de Alemania y en el Departamento de Geología de la George Washington University, Washington, D.C., Estados Unidos de América.

III. Los análisis petrológicos correspondientes a las litologías del complejo ofiolítico de las principales áreas estudiadas se realizaron en el Departamento de Geología de la George Washington University, Washington, D.C., Estados Unidos de América, dichos resultados han sido publicados (Lewis, F.J., Muñoz Gómez, J.N., Peng, W., Campos Dueñas, M. and Quintas Caballero, F., 1994)<sup>73</sup> y (Lewis, J.F., et al., 1996)<sup>74</sup>. Además se contó con determinaciones petrológicas realizadas en el Laboratorio "Elio Trincado" de la Empresa Geólogo - Minera de Oriente, correspondientes a los trabajos de levantamiento del Polígono- V, Guantánamo (Gyarmati, P. et al. 1990)<sup>44</sup>.

Es necesario puntualizar que se han tomado resultados analíticos e información de otras investigaciones realizadas tanto en el área de estudio como fuera de ella. En esos casos, se han notificado en el texto explicativo y señalado como referencias bibliográficas.

Los resultados analíticos, los cálculos estadísticos, gráficos y tablas han sido procesados y elaborados con la aplicación de programas profesionales de computación, entre otros:

- **Cationes.exe** (Programación PASCAL, Departamento de Geología, ISMM)(\*)
- **Microdu.exe** (Programación PASCAL, Departamento de Geología, ISMM) (\*\*)
- **Rockware Utilities, versión 2,0.**
- **Winsurf, versión 5,0.**
- **Excel, versión 7,0 (Windows'95).**

La memoria ha sido editada por **Word, versión 7,0 (Windows'95, Microsoft Corporation).**

(\*)- Realiza el cálculo de los cationes de los elementos químicos que integran la red cristaloquímica unidad de un mineral a partir de su composición química en óxidos.

(\*\*)- Realiza el cálculo de la microdureza Vickers (**VHN**) a partir de los resultados de los ensayos del microdurómetro PTM-3 y similares.

A continuación se recogen los principales resultados de las investigaciones llevadas a cabo en la región de Moa - Baracoa los que constituyen una síntesis; destacando los de mayor relevancia científica en el campo de la geoquímica y la mineralogía de la mineralización cromífera.

- Se logró el establecimiento del carácter podiforme y/o estratiformes de los yacimientos cromíferos de “Cayo Guan” y “Potosí” en la región de Moa - Baracoa, sobre la base de los resultados geoquímicos y mineralógicos de las menas cromíferas y minerales asociados. Este aporte es de extraordinario interés para la proyección de trabajos de prospección y exploración de la mineralización cromífera.
- Se estableció el comportamiento geoquímico de los principales elementos químicos que integran la composición de las espinelas cromíferas así como de los elementos químicos que acompañan a la mineralización principal. Resultado de gran significación para el conocimiento geoquímico de los yacimientos estudiados.
- Se corroboró la presencia de elementos del grupo del platino (PGE) asociados tanto a la mineralización cromífera - menas masivas - como a sulfuros primarios y minerales portadores, los cuales forman complejas asociaciones paragenéticas; lo que crea las bases para investigaciones específicas en el estudio ulterior de esta importante mineralización, fundamentalmente en el área del yacimiento “Potosí” y en los diques de gabro-pegmatitas. La identificación de las fases platiníferas reafirma los postulados arribados en estudios anteriores.
- Se estableció el orden de consecutividad de formación de los minerales presentes en las diferentes paragénesis, lo cual ha contribuido al esclarecimiento de la génesis de la mineralización cromífera asociada a los complejos máficos y ultramáficos en la región de Moa - Baracoa y en particular en los campos meníferos de “Cayo Guan” y “Potosí” .
- Las investigaciones realizadas en las menas cromíferas y en los minerales de las rocas encajantes han permitido caracterizar mineralógicamente cada sector, expresado en un incremento de los conocimientos en la formación de las menas cromíferas.
- En el trabajo se presenta un cuerpo de conclusiones y recomendaciones que permitirán perfeccionar los trabajos de prospección con la introducción de consideraciones genéticas nuevas sobre la mineralización cromífera en la región Moa - Baracoa, sin lugar a dudas, la de mayor perspectiva para la localización de la mineralización cromífera y otros minerales útiles asociados al complejo ofiolítico.

En el texto de la memoria se han utilizado las siguientes abreviaturas:

**cm** - centímetros

**g/t** - gramos por toneladas

**HOT** - Harzburgite Ophiolite Type

**Fig.** - figura

**Kg/mm<sup>2</sup>** - Kilogramo por milímetro cuadrado

**l (nm)** - longitud de onda de la luz ,en el espectro visible, en nanómetros

**mm** - milímetros

**menas mas.** - menas masivas

**ppm** - partes por millón

**P** - peso en gramos

**PGE** - Platinum Group Elements

**R(%)** - capacidad de reflejo de los minerales metálicos

**s** - segundos

**mm** - micrones

**VHN** - microdureza Vickers

**t** - tiempo

## **CAPITULO I**

### **CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS, ECONOMICAS Y GEOLOGICAS DE LA REGION DE MOA-BARACOA Y DE LOS YACIMIENTOS “CAYO GUAN” Y “POTOSI”.**

## Capítulo I. Características Geográficas, Económicas y Geológicas de la Región de Moa - Baracoa y de los Yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí”.

### Introducción

#### Características geográficas de la Región de Moa - Baracoa

- Situación geográfica
- Orografía
- Hidrografía
- Clima
- Flora y Fauna

#### Características económicas de la Región de Moa - Baracoa

- Recursos humanos
- Recursos minerales
- Recursos agrícolas y forestales.

#### Características geológicas de la región de Moa - Baracoa

Particularidades geológicas de la mineralización cromífera en los yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí”.

Criterios sobre la prospección de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa.

### Introducción

En el capítulo se exponen los rasgos fundamentales de las características geográficas, económicas y geológicas de la región de Moa - Baracoa. Se hace énfasis en las características geológicas de la asociación ofiolítica y de los yacimientos cromíferos de “Cayo Guan” y “Potosí” así como los criterios y principios sobre la prospección de la mineralización cromífera, (Muñoz Gómez, J.N., 1994)<sup>82</sup>. Al exponer los rasgos esenciales de las características geológicas se incluyen los conocimientos más actuales de la literatura especializada sobre el tema, la cual ha sido referida en el texto y aparece en la bibliografía consultada. Asimismo, se incluyen las consideraciones del autor en los temas tratados.

### Características geográficas de la Región de Moa - Baracoa

#### • Situación geográfica

La región de Moa - Baracoa está localizada geográficamente entre los límites siguientes:

Norte: Océano Atlántico

Sur: Provincia de Guantánamo

Este: Provincia de Guantánamo

Oeste: Municipio de Sagua de Tánamo.

La región de estudio propiamente dicha abarca las áreas de los campos meníferos de los yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí”, los que se ubican en las márgenes de los ríos “Cayo Guan” y “Yamanigüey”, respectivamente.

- **Orografía**

La orografía de la región de estudio comprende la porción más oriental de las montañas del nordeste cubano, conocidas como las Cuchillas de Moa y Las Cuchillas del Toa. En sentido general, el relieve es montañoso, representado por colinas y pequeñas cimas que oscilan entre los 600-800 metros sobre el nivel medio del mar, como intervalo más frecuente; el punto de mayor altitud es el Alto de La Calinga con 1100 metros sobre el nivel del mar.

El sistema orográfico está orientado en dirección **E-W** a **NE-SW**, direcciones que siguen líneas paralelas o subparalelas con el eje longitudinal de la Isla de Cuba.

Existe un marcado predominio de pendientes suaves (ángulos 15°- 20°- 30°), lo cual nos indica la existencia de un buen grado de disección vertical del relieve, lo que no excluye la presencia de abruptas pendientes con ángulos próximos a 70°-80°.

Un rasgo típico de la orografía de la región es la existencia de pequeñas mesetas con áreas desde dos hasta seis kilómetros cuadrados en las cuales se han desarrollado potentes cortezas de intemperismo ferroniquelíferas de perfil laterítico, motivado por la acción conjunta de factores geológicos exógenos en las litologías máficas y ultramáficas del complejo ofiolítico, las cuales tienen predominio en el área de estudio. Los procesos erosivos son intensos y las corrientes fluviales han escindido las litologías máficas, ultramáficas y vulcanógenas originando valles profundos en forma de **V**, verificándose la juventud de los procesos erosivos.

- **Hidrografía**

La red hidrográfica del área de estudio se caracteriza por la presencia de ríos principales que están entre los más caudalosos del país; ríos tributarios y una densa red de cañadas que constituyen la red hidrográfica más importante de la nación por el volumen de sus aguas. Los de mayor importancia en la zona son “Toa”, “Jiguaní”, “Cayo Guan”, “Moa”, “Punta Gorda”, “Quesigua”, entre otros.

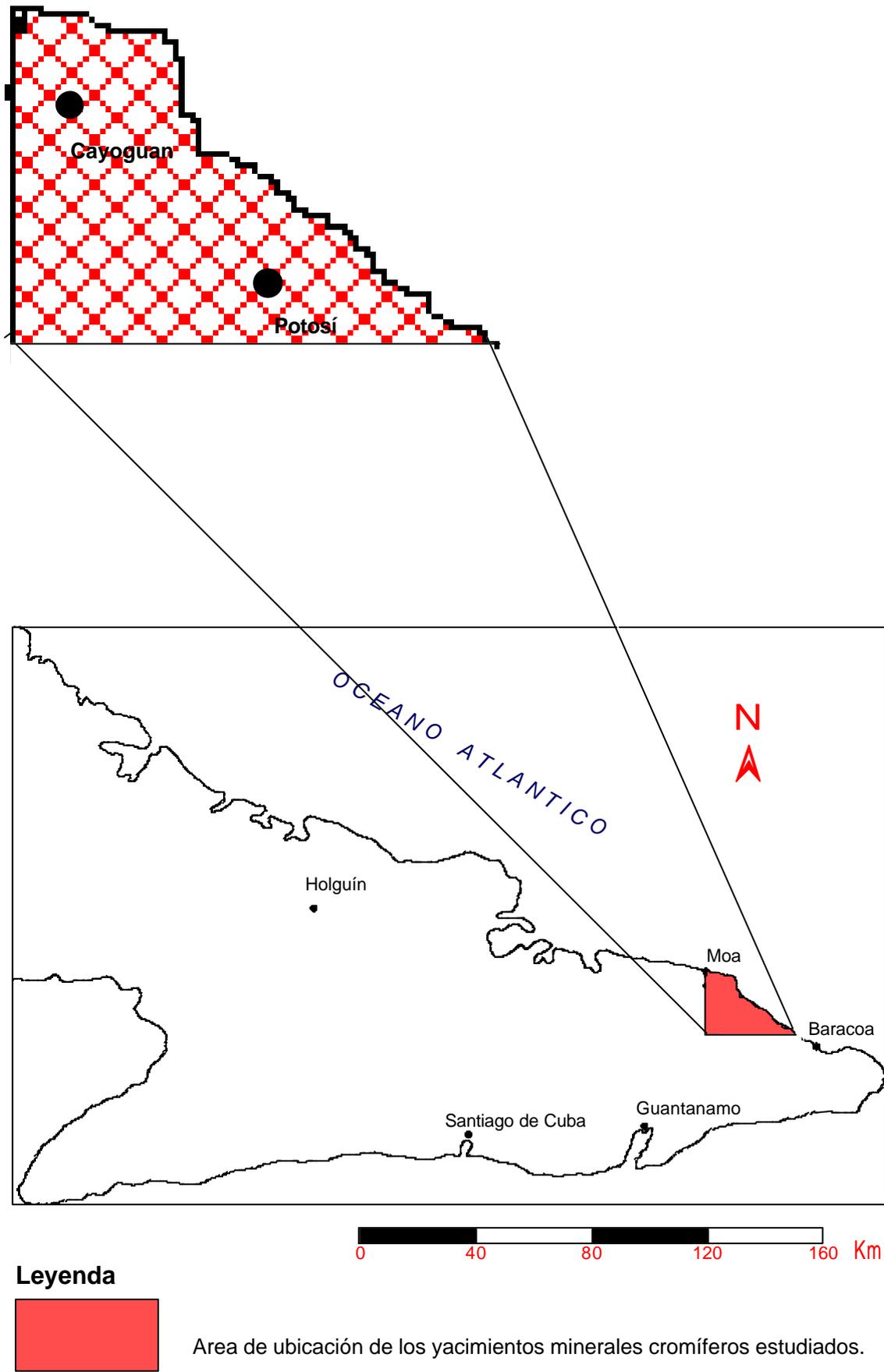


Fig. No. I-1. Ubicación Geográfica de los Yacimientos Cayo Guam y Potosí.

Todos se mantienen en caudal durante todas las épocas del año, incluyendo los tributarios y una buena parte de las cañadas, lo cual es originado por las copiosas precipitaciones que se producen en la región, siendo el volumen de las precipitaciones superiores a los 1000 milímetros al año. Esa enorme reserva hídrica - **la mayor del país** - no se explota como fuente de energía eléctrica ni se utiliza en la agricultura, aunque existen planes prospectivos para su utilización en ambos renglones económicos; en la actual situación todo el volumen de agua se vierte al Océano Atlántico.

- **Clima**

La región de estudio se caracteriza por condiciones climáticas propias de un clima tropical lluvioso, muy húmedo y con precipitaciones mayores a los 1000 mm/año. Las particularidades de la orografía y por ende de su relieve inciden en buena medida en las características climatológicas de la región, además de la latitud geográfica - **latitud: 20° Norte** -. La conjugación del relieve y su alineación entre el Este y el Noreste con la dirección de los vientos alisios procedentes del océano Atlántico ocasionan que el aire cargado de humedad es frenado por el sistema montañoso, originando las intensas precipitaciones que se producen en la mayor parte del año.

La época de mayor volumen de las precipitaciones se producen desde septiembre hasta marzo, - **época lluviosa** -, coincide con la temporada invernal y de abril a agosto, - **época de seca** - que coincide con la primavera y el verano. En el resto del país, como puede valorarse, el régimen de precipitaciones está invertido en comparación con el régimen de lluvias existentes en la región de Moa - Baracoa.

Las variaciones de las temperaturas son pequeñas en sentido general, manifestándose temperaturas cálidas, - **próximas a los 28°C - 30°C** -, en los meses de verano, en cambio, las temperaturas mínimas se presentan en la temporada invernal, siendo enero y febrero los meses más fríos motivado por el arribo de los frentes fríos provenientes del continente. Es una peculiaridad de las condiciones climatológicas del territorio que los frentes fríos se mantengan frecuentemente estacionarios, ocasionando los valores altos de precipitaciones durante la temporada invernal.

La conjugación de la composición máfica y ultramáfica de los horizontes del complejo ofiolítico, las características del relieve y del clima, propios de la región, constituyen los factores geológicos hipergénicos fundamentales que dieron lugar a la formación de las

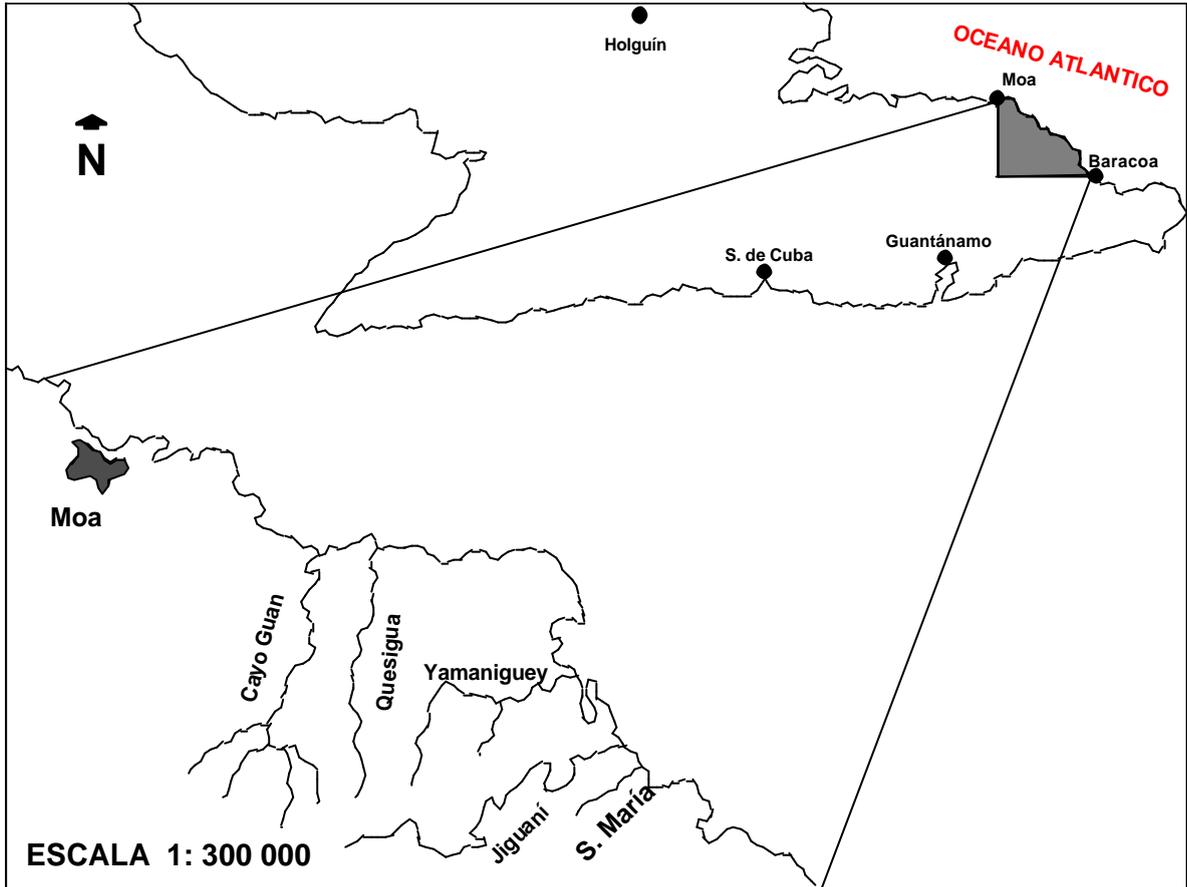


Figura No. I - 2 Red Hidrográfica de la Región Moa - Baracoa.

potentes y ricas cortezas de intemperismo de perfil laterítico, lo que ha sido señalado por varios autores (Smirnov, V.I., 1986)<sup>105</sup>.

- **Flora y Fauna**

La vegetación de la región de estudio se corresponde con la de un clima tropical húmedo acompañado de abundantes precipitaciones, la vegetación es exuberante y se caracteriza por la existencia de hierbas, arbustos, plantas trepadoras, plantas endémicas y árboles maderables los que en conjunto originan una densa floresta. En la zona de “La Melba”, próximo al yacimiento “Mercedita”, existe una reservación de la flora y la fauna bajo protección de la Academia de Ciencias de Cuba, la que constituye un verdadero tesoro de la vegetación autóctona de nuestro país. Asociada a la flora, vive y se desarrolla una rica fauna, caracterizada por aves: cartacubas, palomas rabiche, cotorras, carpinteros, sinsontes, caos, gavilanes y tocororos, - **el ave nacional** -, en menor grado existen reptiles y mamíferos.

En la región existe una amplia variedad de especies de maderas preciosas, entre otras: cedro, caoba, caguairán, majagua, jiquí, jacuma, granadillo, predominando los bosques de gimnospermas representados por extensas áreas de ***pinus cubensis***. También es típica en la región la presencia de cocoteros, sobre todo en las inmediaciones de la ciudad de Baracoa y en las zonas próximas al litoral, donde también se desarrollan extensas áreas cubiertas por mangle costero.

La existencia de una flora y fauna típicas del país en la región de estudio convoca a mantener y conservar el medio ambiente, de forma tal, que los trabajos de prospección y exploración geológica lo afecten lo menos posible y prever su restauración para bien de las actuales y futuras generaciones de cubanos.

### **Características económicas de la región de Moa - Baracoa**

La región de Moa - Baracoa se extiende desde el municipio de Moa, provincia de Holguín, hasta el extremo oriental de la provincia de Guantánamo, a continuación se recogen los aspectos más dinámicos de la economía.

- **Recursos humanos**

Constituyen el eje fundamental de la economía de la región de Moa - Baracoa al disponerse de una fuerza altamente calificada compuesta de técnicos de nivel superior, técnicos medios, obreros calificados, todos con elevada experiencia productiva, los que se encuentran laborando en las Empresas de la Unión del Níquel, Empresa Construc-

tora Integral No. 3, la Empresa Cromo - Moa y en el Instituto Superior Minero Metalúrgico, en el que se ha formado una parte importante de los profesionales de la rama minero - metalúrgica. Complementan los recursos humanos de la zona profesores, maestros y profesionales de la Salud, indispensables para el funcionamiento pleno de la sociedad; se incluyen profesionales de diversas ramas del saber.

En la región de Moa - Baracoa gracias a los esfuerzos de la Revolución existen todos los niveles de enseñanza, situación ésta que la sitúa en un lugar privilegiado del país, pues es el único municipio de la nación que no siendo capital provincial, cuenta con todos los niveles de educación.

- **Recursos minerales**

La región de Moa - Baracoa es una de las zonas privilegiadas de nuestro país al tener en su suelo reservas de minerales que la hacen el centro minero nacional. Sobre las litologías máficas y ultramáficas se ha desarrollado una potente corteza de intemperismo de perfil laterítico con menas residuales de níquel, hierro y cobalto; en ese sentido, Cuba ocupa unos de los primeros lugares a nivel mundial por sus reservas de níquel, así como por sus reservas de cobalto. Asimismo, unido a la corteza de intemperismo se localiza una de las reservas más importantes de mineral de hierro a escala mundial.

Vinculado a la corteza de intemperismo se encuentran importantes reservas de espinelas cromíferas diseminadas que a consideración de Thayer los volúmenes sobre pasan las 4 650 toneladas métricas por hectárea de lateritas hasta una profundidad de 30 centímetros (Thayer, T.P., 1942)<sup>111</sup>.

En la región de Moa - Baracoa se localizan los principales yacimientos de espinelas cromíferas del tipo refractario, en la actualidad se explotan los yacimientos "Mercedita" y "Amores". Se cuenta además con reservas de piedras ornamentales, decorativas, arcillas rojas y probablemente reservas considerables, aun no evaluadas, de caolinita en las cortezas desarrolladas sobre litologías máficas (Orozco Melgar, G., comunicación personal).

Las reservas de minerales en Moa y sus perspectivas en la localización de yacimientos de metales preciosos, raros y dispersos no han sido agotadas y constituyen direcciones importantes para la prospección geológica en el futuro mediato.

- **Recursos agrícolas y forestales**

Las propias características de los suelos de la región, fundamentalmente los lateríticos desarrollados sobre las litologías máficas y ultramáficas del complejo ofiolítico, no son

favorables para el cultivo, por lo que la región tiene producciones limitadas provenientes del agro, no obstante, se cosechan limitadas cantidades de café, cacao, coco, malanga y algunas frutas en las áreas montañosas.

Los recursos forestales son unos de los mayores del país, constituidos por maderas preciosas y grandes reservas de *pinus cubensis*. En la actualidad se ejecutan, como loable acción de protección del medio ambiente, la reforestación de las áreas minadas con el fin de proteger el suelo de la intensa erosión así como para incrementar las reservas forestales.

La región de Moa - Baracoa está enlazada por carretera con todo el país, existen las carreteras desde Moa hasta la ciudad de Baracoa y de ésta a Guantánamo (y a través de esta vía con Santiago de Cuba), de igual manera, con la ciudad de Holguín y con el resto del país. También existen comunicaciones aéreas con Santiago de Cuba, Holguín y Ciudad de la Habana.

En la región existen recursos turísticos, aún no explotados a plenitud, con su paisaje tropical, la barrera coralina y se puede desarrollar el turismo científico especializado al existir uno de los complejos ofiolíticos mayores del mundo.

En la región se encuentran en explotación dos plantas procesadoras de las menas níquelíferas y una tercera está en fase de terminación. Se incluye además la Empresa Mecánica del Níquel. En Punta Gorda se localiza la planta beneficiadora de mineral cromífero. La actividad portuaria complementa las principales actividades económicas de la región, sin lugar a dudas, una de las más prósperas y ricas del país.

### **Características geológicas de la región de Moa - Baracoa**

La geología regional de Moa - Baracoa se caracteriza por la presencia predominante de la asociación ofiolítica representada esencialmente en los complejos máficos, ultramáficos y en menor grado por el complejo oceánico, raramente se reporta la existencia del nivel de tectonitas ultramáficas. Además de las litologías de la asociación ofiolítica están presentes las secuencias del arco volcánico del Cretácico, las que se encuentran en contacto tectónico con las ofiolitas. Secuencias fischoides y con características olitostromicas representadas por las formaciones Mícara y La Picota respectivamente, complementan el marco geológico regional.

Al resumir los rasgos geológicos de la región de Moa - Baracoa, caracterizada por un amplio predominio de la asociación ofiolítica, es indispensable exponer los dos puntos

de enfoque en las concepciones geológicas sobre la constitución y emplazamiento de las litologías máficas y ultramáficas serpentinizadas en el nordeste de Cuba.

El primer punto de vista fue expuesto por varios investigadores que desde las primeras décadas de este siglo consideraron a las ultramafitas y a las rocas graboides asociadas como rocas intrusivas las que se emplazaron en el primer estadio del desarrollo geosinclinal a fines del Cretácico superior así fue considerado por Adamovich y Chejovich durante los trabajos de levantamiento geológico regional llevados a cabo en los primeros años de la década de los sesenta (Adamovich, A., Chejovich, V. et al., 1963)<sup>2</sup>.

El segundo y más actual fue el resultado de investigaciones posteriores de carácter regional, sobre todo levantamientos geológicos, en las que consideraron a las litologías máficas y ultramáficas serpentinizadas y al resto de los complejos como pertenecientes a la asociación ofiolítica y su emplazamiento en la corteza superior se explica a través de las concepciones de la tectónica global o tectónica de placas, como se conoce comúnmente, en ese sentido se destacan los trabajos de (Nagy, et al., 1983)<sup>89</sup>, (Fonseca, et al., 1989)<sup>33,34</sup>, (Iturralde-Vinent, M., 1989)<sup>51,52</sup>, (Gyarmati, et al., 1990)<sup>44</sup>.

Trabajos posteriores han contribuido a esclarecer el emplazamiento de la asociación ofiolítica en el archipiélago cubano. La clasificación propuesta por Iturralde-Vinent, en correspondencia con la propuesta inicial de Pieve (1969, 1980, 1981), (Iturralde-Vinent, M. 1996)<sup>52</sup>, presenta dos unidades principales: **complejos melanocráticos y los complejos oceánicos**, ambas unidades agrupan todas las litologías de la asociación ofiolítica. La clasificación se recoge en la Tabla No. I-1, la cual se publica en el presente trabajo por autorización del autor Iturralde-Vinent (comunicación personal).

La clasificación asumida por Iturralde-Vinent (1994)<sup>52</sup>, está en correspondencia con la posición tectónica y la constitución geológica de las ofiolitas, éstas se subdividen en:

Ofiolitas del Cinturón Septentrional

- Faja de Cajálbana
- Faja de Mariel - Holguín
- Faja de Mayarí - Baracoa

Ofiolitas anfibolitizadas

Ofiolitas de los terrenos suboccidentales

En la faja Mayarí - Baracoa se incluye la región de Moa - Baracoa en la cual, como es conocido, existe un predominio de los complejos del fundamento melanocrático, aunque también se manifiestan litologías vulcanógenas de los complejos oceánicos tal

como ha sido reportado por Quintas (1988)<sup>97</sup>, al estudiar las secuencias volcánicas del valle del río Quibiján en Baracoa. En ese sentido, Quintas señala: “...son lavas de color verde oscuro y negro, a veces amigdaloidales (capas de 3-4 metros), lavas brechas basálticas, lavas basálticas, lavas presentando textura en almohadillas (pillow lavas)...”(pág.15) (Quintas, F., 1988)<sup>97</sup>. Las litologías del fundamento melanocrático están separadas de las litologías vulcanógenas - sedimentarias del arco volcánico del Cretácico por fallas regionales y locales, por tal razón, los contactos entre ambas unidades son tectónicos, lo que constituye una particularidad de la geología en la región de Moa - Baracoa.

La mayoría de los investigadores consideran que la asociación ofiolítica en Moa - Baracoa es un enorme manto alóctono que está cubierto transgresivamente por depósitos de las formaciones “Mícará” y “La Picota” (Iturralde-Vinent, M., 1994)<sup>52</sup>.

En los afloramientos de la asociación ofiolítica, principalmente en sus complejos peridotíticos, predominan las harzburgitas sobre el resto de las demás litologías máficas y ultramáficas, lo que ha sido corroborado por varios investigadores (Fonseca, E. et al., 1991)<sup>33</sup>. De acuerdo con Leblanc, M. y Nicolas, A. (1992)<sup>68</sup> este tipo de macizo se clasifica como: **harzburgítico (HOT)**.

Se ha podido demostrar que en las litologías del complejo ofiolítico en la región de Moa - Baracoa predominan las texturas brechosas, por lo que se considera por varios autores que las litologías afloradas, dado su alto grado de fracturación, representan una gran brecha (Iturralde-Vinent, M., 1994)<sup>52</sup>. El resto de las litologías de los cúmulos ultramáficos está representado por dunitas serpentinizadas, dunitas enstatíticas, wehr-litas y lherzolitas serpentinizadas y en menor grado peridotitas plagioclásicas.

El complejo cumulativo máfico está representado por gabros normales, gabros olivínicos, gabro-noritas y noritas (Fonseca, E. et al., 1991)<sup>33</sup>. Como litología más joven y cortante al resto de las litologías máficas y ultramáficas se tiene a los diques de gabro-pegmatitas los que presentan grandes cristales de enstatita y anortita, siendo más numerosos cuando se asocian a la mineralización cromífera (Guild y Albear, 1947)<sup>41</sup>, (Muñoz Gómez J.N. y Campos Dueñas, M., 1992)<sup>79</sup>.

El emplazamiento de las ofiolitas y su procedencia desde su constitución como antigua corteza oceánica hasta su posición actual es aun uno de los problemas geológicos en los que se presentan diferentes puntos de vista.

Como ha sido señalado, las concepciones iniciales de su formación y emplazamiento se concibieron como intrusiones máficas y ultramáficas vinculadas con el primer estadio del geosinclinal cubano (Adamovich, A. y Chejovich, V., 1963)<sup>2</sup>.

Tabla No. I-1 Constitución general de las ofiolitas cubanas. [Tomada de M. Iturralde-Vinent, con autorización del autor ]. (Iturralde-Vinent, M., 1994)<sup>52</sup>.

<b>Complejos del Fundamento Melanocrático</b>	
<b>Peridotítico (Tectonitas)</b>	Harzburgitas, en menor grado websteritas y lherzolitas, con bolsones aislados de dunitas, todas serpentinizadas. Raros diques de gabroides. Ocasionalmente cromititas.
<b>Transicional</b>	Harzburgitas, lherzolitas y websteritas con bolsones y bandas duníticas, todas serpentinizadas, a veces con cromititas. Gabroides como cuerpos y diques. En ocasiones haces de diques de plagioclasitas y gabroides. Diques aislados de plagiogranitos.
<b>Cumulativo</b>	Cúmulos máficos (gabros olivínicos, noritas, troctolitas y anortositas) y ultramáficos (lherzolitas, websteritas, harzburgitas y raras dunitas, todas serpentinizadas) Ocasionales cuerpos y venas cortantes de cromititas. Diques de gabroides, plagioclasitas, y plagiogranitos. En la parte superior de la sección a menudo aparece un cuerpo potente de gabros isotrópicos.
<b>Complejos Oceánicos</b>	
<b>Diques de diabasas</b>	Diques de diabasas, gabro-diabasas y doleritas, aislados o en haces poco densos, emplazados entre los complejos transicional y cumulativo, en menor grado en el complejo peridotítico. Raramente masas de diques paralelos entre basaltos.
<b>Efusivos-sedimentarios</b>	Diabasas, basaltos afíricos, subafíricos y variolíticos, hialoclastitas, silicitas y radiolaritas, lutitas tufíticas, calizas, etc.

También se cuenta con los puntos de vista de Kozary, Knipper y Cabrera (1974)<sup>58</sup> en los que se fundamentan los mecanismos de emplazamiento en frío de las litologías máficas y ultramáficas a partir del manto superior, señalando que el macizo alóctono y su emplazamiento provienen del norte. Iturralde-Vinent (1976-1977) y Cobiella (1978) basándose en la posición de las secuencias olitostromicas de La Picota sugieren que los mantos ofiolíticos proceden del sur (Iturralde-Vinent, M., 1994)<sup>52</sup>, los que se originaron desde la falla axial cubana.

Consideraciones alternativas al emplazamiento y origen de los mantos ofiolíticos es que los mismos se originaron por procesos de obducción de la antigua corteza oceánica cuando se produjo la coalición entre Cuba y la porción meridional de la plataforma de Bahamas, criterio expuesto por Gealey (1980), Wadge y otros (1984), Iturralde-Vinent y otros (1994), citados por Lewis y Draper. (Lewis, J.F. and Draper, G., 1990)<sup>72</sup>.

#### **Particularidades geológicas de la mineralización cromífera en los yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí”**

Al resumir las particularidades geológicas de los yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí”, ubicados desde el punto de vista geológico en las litologías del fundamento

melanocrático de la asociación ofiolítica en la región de Moa - Baracoa, es necesario puntualizar las diferencias de la información geológica disponible, como se conoce, estos yacimientos cromíferos fueron explotados prácticamente sin contar con investigaciones geológicas detalladas. El yacimiento "Cayo Guan" está mejor estudiado, sin dudas, que el yacimiento "Potosí", no obstante, existen varios rasgos comunes entre ambos yacimientos de menas cromíferas.

- **Yacimiento "Cayo Guan"**

Localizado en el angosto valle del río "Cayo Guan", el campo menífero del mismo nombre, está integrado además por el yacimiento "Cromita" y pequeñas manifestaciones tales como "Narcizo", "Las Deltas" y otras de menor importancia.

En la década de los cuarenta el área fue estudiada por Thayer (1942)<sup>111</sup> y Guild y Albear (1947)<sup>42</sup>, años más tarde los yacimientos cromíferos se investigaron por Kenarev y Murashko (1963)<sup>57</sup>, Dzuberá (1974)<sup>32</sup> y más recientemente por Fonseca, E. et al. (1991)<sup>33</sup> y Guerra, C.V., et al., (1995)<sup>42</sup>.

El yacimiento se localiza desde el punto de vista geológico en las litologías cumulativas ultramáficas muy próximas a los cúmulos máficos, petrológicamente las rocas ultramáficas están integradas por harzburgitas serpentinizadas, dunitas enstatíticas y dunitas serpentinizadas. El complejo cumulativo gabroide está representado por gabros normales, gabros olivínicos, troctolitas y noritas (Fonseca, E. et al., 1991)<sup>34</sup>, (Guerra, C.V., et al., 1995)<sup>42</sup>.

En sentido general, las litologías ultramáficas se presentan estratificadas y la mayoría de los cuerpos minerales, en forma de lentes, son concordantes con las litologías encajantes. No obstante, los diques de gabro-pegmatitas son cortantes a las litologías presentes así como a la mineralización cromífera, siendo los mismos más abundantes en los cuerpos minerales cromíferos (Guild, P., 1947)<sup>41</sup>, (Thayer, T.P., 1942)<sup>111</sup> y (Muñoz Gómez, J.N., 1995)<sup>80</sup>.

La mineralización cromífera está rodeada por dunitas y dunitas serpentinizadas las que localmente transicionan a dunitas enstatíticas y a harzburgitas serpentinizadas. Thayer (1942)<sup>111</sup> y Guild (1947)<sup>41</sup> habían coincidido en la presencia de texturas planas, destacando que las mismas son paralelas a la foliación de las peridotitas.

La composición química de la mineralización cromífera es muy similar entre los cuerpos minerales, por lo que a consideración de Thayer (1942)<sup>111</sup> y de Guild (1947)<sup>42</sup> se trataba de un solo cuerpo lentiforme que fue cortado y desplazado por fallas, como

sucede con el cuerpo mineral "Franklin", - **cuerpo casi isométrico, podiforme** - que está completamente limitado por fallas (Guild, P. y Albear J. F., 1947)<sup>41</sup>.

La mineralización cromífera masiva en los cuerpos minerales se acompaña de sulfuros tales como pirita, calcopirita y millerita (Fonseca, E. et al., 1991)<sup>33</sup>. Se han identificado fases de mineralización de los elementos del grupo del platino, representado en la serie isomórfica laurita-erlichmanita. (Distler, V.V., Falcon, H.J., Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M., 1989)<sup>28</sup> y (Muñoz Gómez, J.N. et al., 1991)<sup>84</sup>.

La similitud mineralógica entre los yacimientos "Cayo Guan" y "Potosí" y la existencia de paragénesis minerales - **platinífera y sulfurosa** - semejantes en ambos yacimientos es la causa fundamental para que en el cuerpo de la memoria no se incluya un capítulo de mineralogía de "Cayo Guan"; además de haberse tratados estos contenidos por otros investigadores cubanos y extranjeros (Thayer, T.P., 1942)<sup>111</sup>, (Guild, P.M., et al., 1947)<sup>41</sup>, (Fonseca, E., et al., 1991)<sup>33</sup> y (Guerra, C.V. y Navarrete, M., 1995)<sup>42</sup>.

#### • Yacimiento "Potosí"

Se encuentra ubicado en el valle del río "Yamanigüey" y el campo menífero del yacimiento lo integran varias manifestaciones minerales, siendo la de mayor importancia "Tío Folio". El yacimiento "Potosí" fue estudiado por Thayer (1942)<sup>111</sup>, Kenarev (1996)<sup>57</sup> y recientemente por Muñoz Gómez y Campos Dueñas (1992)<sup>79</sup>, Muñoz Gómez (1995)<sup>80</sup> y Lewis, F.J. et al. (1996)<sup>74</sup>.

El yacimiento "Potosí" está representado por un cuerpo en forma de lente concordante a la estratificación de las dunitas, dunitas serpentinizadas y harzburgitas serpentinizadas, el cual fue dislocado en bloques por fallas de postmineralización.

En el área el complejo cumulativo gabroide se localiza por debajo de las litologías cumulativas ultramáficas. Se destacan en las harzburgitas serpentinizadas finas intercalaciones (desde 3 hasta 15 centímetros) de wehrlitas y lherzolitas plagioclásicas, lo que constituye una particularidad petrológica del área del yacimiento "Potosí" (Lewis, F.J. et al., 1996)<sup>74</sup>.

Es un rasgo típico de la geología del yacimiento "Potosí" la existencia de diques de gabro-pegmatitas, los cuales como se ha señalado, son cortantes a la mineralización cromífera así como al resto de las litologías cumulativas ultramáficas. Thayer, al referirse a la existencia de los diques de gabro-pegmatitas expresó: "... ***gabbroic pegmatites cut the ore, and in places the gabbro has been injected into broken ore to produce the breccia textures...***" (pág. 71) (Thayer, T. P., 1942)<sup>111</sup>.

De manera similar Kenarev analizó la presencia de los diques de gabro-pegmatitas y vinculó su emplazamiento a las zonas de fallamiento, en ese sentido expresó: “... *los cuerpos minerales están cortados por una serie de diques de gabro-pegmatitas y mas raramente por plagioclasitas, que confirman la presencia de dislocaciones tectónicas después de la formación del mineral...*” (pág. 42-43) (Kenarev, V., 1963)<sup>57</sup>.

La composición de las menas cromíferas masivas presentan características refractarias y sus particularidades geoquímicas y mineralógicas se exponen en los capítulos III y IV de la presente memoria.

Los yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí” y sus respectivos campos minerales presentan, en común, una serie de particularidades geológicas, petrológicas, geoquímicas y mineralógicas, entre las cuales debemos señalar:

- Existencia de cuerpos en formas de lentes concordantes a las litologías ultramáficas y cuerpos podiformes en el yacimiento “Cayo Guan” .
- Presencia de dunitas serpentinizadas alrededor de los cuerpos minerales cromíferos y transiciones locales a dunitas enstatíticas y posteriormente a harzburgitas serpentinizadas.
- La existencia del complejo cumulativo gabroide en los campos meníferos de ambos yacimientos, acompañadas del predominio de las harzburgitas serpentinizadas como litología predominante del fundamento melanocrático.
- Existencia de dunitas y otras peridotitas plagioclásicas en forma de lentes estrechos en las harzburgitas serpentinizadas, siendo las menos abundantes las wehrlitas y lherzolitas plagioclásicas.
- El complejo cumulativo máfico está representado por gabros normales, gabros olivínicos, troctolitas, noritas y gabro-noritas.
- Los diques de gabro-pegmatitas son cortantes a las litologías cumulativas máficas y ultramáficas así como a la mineralización cromífera, siendo más abundantes en los cuerpos minerales cromíferos, lo que constituye una particularidad petrológica en ambos campos meníferos.
- Alta manifestación de los procesos de agrietamiento, esquistosidad y brechamiento de las litologías de la asociación ofiolítica y de las espinelas cromíferas, lo que ha complicado la yacencia primaria y ha desplazado los cuerpos minerales cromíferos.

- Características geoquímicas, mineralógicas y genéticas de la mineralización cromífera, donde se presentan similitudes y diferencias en las menas masivas, las que se exponen en los capítulos II - III - IV de la presente memoria.

Por todo lo anteriormente expuesto, en relación a las particularidades geológicas, petrológicas y de la yacencia de la mineralización cromífera en ambos campos minerales, se establecen dos conclusiones:

- I. Los campos minerales correspondientes a los yacimientos de espinelas cromíferas de “Cayo Guan” y “Potosí” constituyen en la actualidad los restos de la antigua zona de transición entre los complejos cumulativos ultramáficos y máficos en la antigua corteza oceánica.**
- II. Los yacimientos minerales “Cayo Guan” y “Potosí” de menas cromíferas, independientemente de algunas diferencias geoquímicas y mineralógicas, se segregaron en un mismo nivel del corte teórico del perfil de la asociación ofiolítica, lo que constituye una particularidad de la metalogena de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa.**

Ambas conclusiones tienen incidencia directa al considerar los criterios geológicos, geoquímicos, petrológicos y mineralógicos en la prospección de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa .

### **Crterios sobre la Prospección de la Mineralización Cromífera en la Región de Moa - Baracoa**

La prospección de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa data desde los últimos años del siglo pasado los que se fueron intensificando en las primeras décadas del actual siglo.

La evidencia del control de la mineralización cromífera, asociada espacial y genéticamente a “**intrusivos ultramáficos**” y en especial las dunitas y dunitas serpentinizadas fue el criterio fundamental que se siguió en las búsquedas de los cuerpos cromíticos. No obstante, ese principio, en forma general, sigue vigente, aunque su enfoque no esté fundamentado en la tectónica global y en las actuales concepciones que se tienen de la asociación ofiolítica, en cuanto a su origen, composición y emplazamiento.

Prácticamente, toda la mineralización cromífera, - **yacimientos y manifestaciones** -, ha sido descubierta porque las mismas han aflorado producto de la intensa erosión. Los trabajos geológicos de prospección se incrementaron en esas áreas, donde algunas manifestaciones se convirtieron posteriormente en importantes yacimientos de menas cromíferas refractarias.

En la actualidad y teniendo como fundamento teórico las concepciones sobre el origen, composición y emplazamiento de la asociación ofiolítica y la posición de la mineralización cromífera en relación con el corte teórico de la antigua corteza oceánica, existen factores geológicos negativos que impiden o limitan el establecimiento de áreas pronósticas para el desarrollo de proyectos de prospección en la región de Moa - Baracoa. Estos factores negativos se relacionan a continuación: (Muñoz Gómez, J.N., 1994)<sup>82</sup>

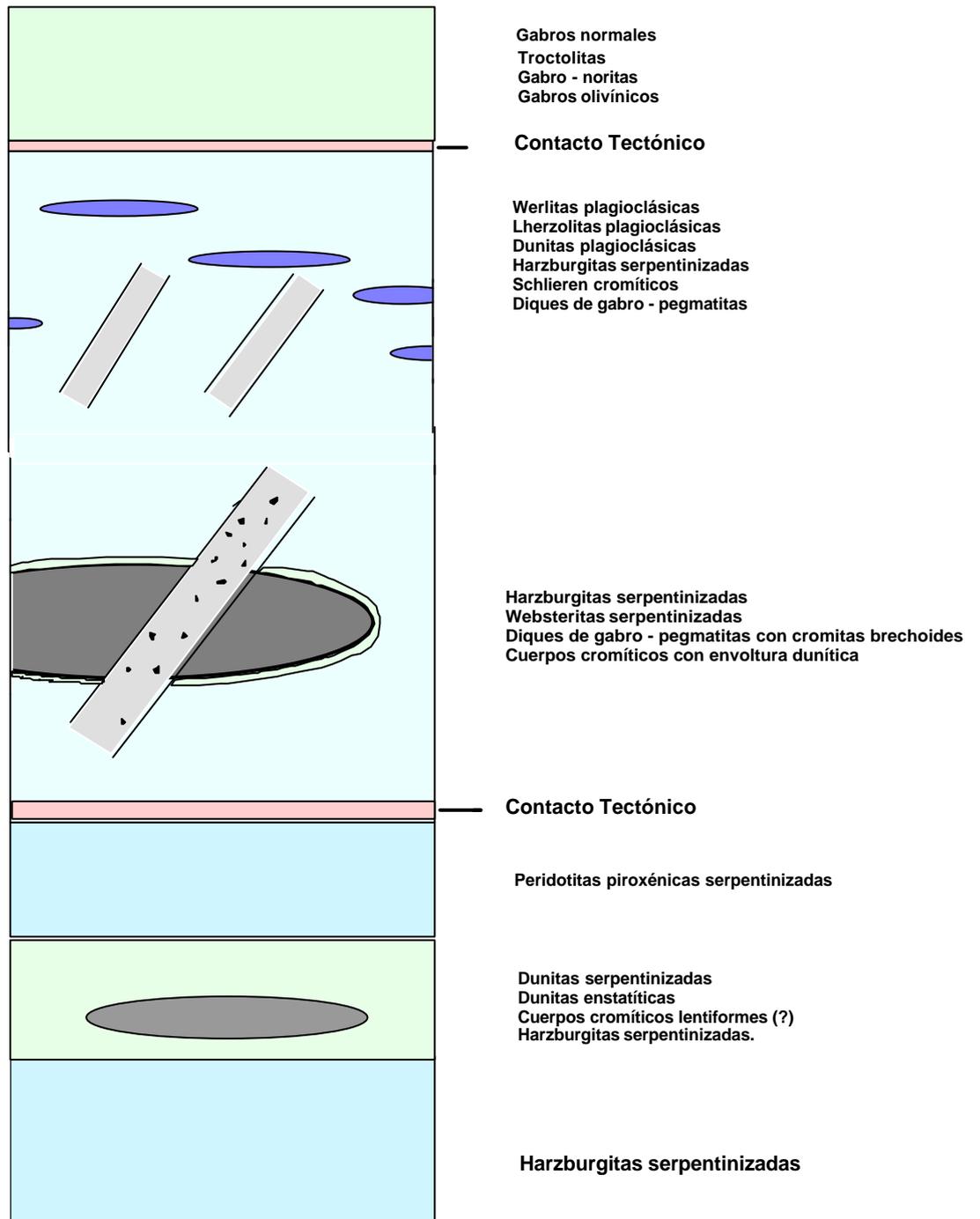
- Los trabajos de levantamiento geológicos regionales a escala 1: 50 000 si bien han posibilitado esclarecer las relaciones entre las litologías de la asociación ofiolítica y las secuencias vulcanógeno-sedimentarias del arco volcánico del Cretácico y las litologías de las formaciones Mícara y La Picota así como otros importantes problemas petrológicos y estructurales, **no han solucionado la diferenciación litológica de los complejos cumulativos máficos y ultramáficos.**
- El emplazamiento alóctono de la asociación ofiolítica en su actual posición, mediante complicados procesos de obducción de la antigua corteza oceánica, sin lugar a dudas, perturbó y dislocó la **yacencia primaria de las litologías de la asociación ofiolítica y de la mineralización cromífera asociada.** En ese sentido, es necesario destacar las consideraciones expuestas por Iturralde-Vinent por la incidencia que tienen en la prospección de la mineralización cromífera: *“... Los macizos de ofiolitas usualmente están intensamente deformados debido a la acción de múltiples eventos tectónicos. Quien observa la representación de las ofiolitas en los mapas geológicos puede crearse la falsa impresión, a primera vista, que se trata de potentes macizos internamente poco dislocados (Fig. 1 ), pero la realidad es completamente distinta. Por lo general es muy difícil encontrar afloramientos extensos de rocas poco deformadas, pues las ofiolitas son rocas brechosas con texturas muy variables, cuyos bloques han sufrido toda clase de rotaciones y deformaciones... las deformaciones de los macizos de ofiolitas a menudo destruyen gran parte de las estructuras primarias y relaciones originales entre los distintos tipos de litologías...”* (pág.98) (Iturralde-Vinent, M., 1994)<sup>52</sup>.

- **Desplazamientos horizontales, fallamiento, plegamiento y serpentización de las litologías máficas, ultramáficas y de la mineralización cromífera asociada**, posteriores al emplazamiento alóctono, lo que ha complicado aún más la actual posición de la asociación ofiolítica respecto a las secuencias vulcanógeno-sedimentarias del arco volcánico del Cretácico y las secuencias flyschoides y olitostrómicas de las formaciones Mícara y La Picota, respectivamente. En la región de Moa - Baracoa es casi una regularidad que el complejo máfico ocupe posiciones hipsométricas inferiores a las del complejo cumulativo ultramáfico.
- El desarrollo de una potente corteza de intemperismo producto de la conjugación simultánea de factores geológicos hipergénicos sobre las afloradas litologías máficas y ultramáficas de la asociación ofiolítica, han devenido en ricos yacimientos de hierro, níquel y cobalto, pero ha impedido y limitado la **aflorabilidad de las litologías**, por ende, ha dificultado el mapeo y la documentación geológica, así como la diferenciación petrológica de los complejos.
- Incide de forma negativa en la prospección de la mineralización cromífera el amplio desarrollo de la vegetación exuberante que cubre en gran parte todas las litologías de la asociación ofiolítica así como las características del relieve abrupto que predomina en la región de Moa - Baracoa.

Teniendo presente los factores geológicos y la existencia de determinadas regularidades geólogo-estructurales, petrológicas, geoquímicas y mineralógicas, el autor recomienda una metodología de prospección que contempla dos etapas en su ejecución, en sus respectivas escalas, donde se conjugan los resultados geológicos expuestos y los resultados de las investigaciones geoquímicas y mineralógicas en los yacimientos "Cayo Guan" y "Potosí".

La metodología, de la cual se hace mención en las recomendaciones, no establece las áreas perspectivas para efectuar la prospección de la mineralización cromífera, pero sí aporta y recoge la sucesión de trabajos y tareas a desarrollar para investigar e identificar **los restos de las antiguas zonas de transición** entre las litologías máficas y ultramáficas de la asociación ofiolítica como premisa esencial e indispensable para poder realizar trabajos de prospección, considerándose como el **principal criterio científico del control de la mineralización cromífera** en la región de Moa - Baracoa.

**Fig. No. I-3 Corte Teórico Idealizado de los Restos de la Zona de Transición entre los Complejos Máficos y Ultramáficos. Yacimientos "Cayo Guan" y "Potosí".**



## **CAPITULO II**

### **CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS DE LA MINERALIZACION CROMIFERA DEL YACIMIENTO “CAYO GUAN”**

## Capítulo No. II. Características Geoquímicas de la Mineralización Cromífera del Yacimiento " Cayo Guan "

Introducción

Espinela cromífera. Generalidades

Espinelas cromíferas masivas

Espinelas cromíferas accesorias

Resultados geoquímicos.

### Introducción

En el capítulo se recogen las principales características geoquímicas del yacimiento "Cayo Guan" y su objetivo fundamental es analizar el comportamiento y papel de los elementos químicos que conforman la celda unidad de la espinela cromífera así como las implicaciones que en el orden genético se derivan del estudio geoquímico de la mineralización cromífera en el campo mineral del yacimiento.

Mediante la caracterización geoquímica de la mineralización cromífera se ha podido argumentar el carácter o tendencia genética de las menas cromíferas en el campo mineral del yacimiento "Cayo Guan". Asimismo se han obtenido un determinado número de resultados geoquímicos los que contribuyen a un mayor conocimiento del área de estudio.

Con el empleo de la microscopía electrónica de barrido se determinó la composición química de las espinelas cromíferas, las que se expresan en óxidos de los elementos químicos que integran la celda unitaria del mineral.

Se investigó un total de 73 muestras de espinelas cromíferas las que se distribuyen en:

- Espinelas cromíferas masivas ( menas ): 15 muestras.
- Espinelas cromíferas accesorias en litologías de los complejos máficos y ultramáficos: 58 muestras, de ellas:
  - Accesorias en harzburgitas: 10 muestras (complejo ultramáfico)
  - Accesorias en gabros y troctolitas: 48 muestras (complejo máfico)

### Espinela Cromífera. Generalidades

Las espinelas cromíferas son óxidos múltiples que responden a la estructura:



Presentando dos posiciones [X - Y] en las cuales se ubican átomos no equivalentes, con la excepción del  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$  los que comparten ambas posiciones respectivamente. La distribución del oxígeno en la celda unidad forma un empaquetamiento cúbico compacto; en la celda cristalográfica unidad los cationes bivalentes se sitúan en  $[X^{2+}]$  y pueden estar representado por:  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  entre otros, los cationes trivalentes se ubican en la posición  $[Y^{3+}]$  y están representados por los cationes siguientes:  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ti^{3+}$ ,  $V^{3+}$  entre otros menos comunes. Se ha podido comprobar que los cationes bivalentes forman soluciones sólidas completas y los cationes trivalentes forman soluciones sólidas incompletas, a esas características se les asume la amplia variedad de propiedades físicas de las espinelas cromíferas (Hurlbut, J. K., 1984)<sup>48</sup>

Entre las propiedades físicas de las espinelas cromíferas se pueden mencionar las que a continuación relacionamos: (Demidov, V. y Muñoz Gómez. J.N., 1989)<sup>23</sup>

- Cristalizan en el sistema cúbico, isométrico: **4/m32/m**
- Dimensión de la celda unidad: **8,34 Å**
- Dureza Mohs: **5,5**
- Microdureza Vickers: **1036-2200 kg/mm<sup>2</sup>**
- Densidad: **4,6 g/cm<sup>3</sup>**
- Isotrópico, color gris claro en luz reflejada (en aire)
- Reflejos internos pardos oscuros (en inmersión)

La composición química general de las espinelas cromíferas está caracterizada por la presencia de los siguientes elementos químicos, expresados en óxidos: **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**, **MgO**, **FeO**, **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**, **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** cuya suma es aproximadamente el 98,0% del peso de las muestras, el resto está dado en contenidos bajos de: **MnO**, **NiO**, **TiO<sub>2</sub>**, **ZnO** y ocasionalmente **VO<sub>3</sub>**, se asocian además sulfuros de **Ni**, **Fe** y **Cu**, magnetita, arseniuros y fases de los elementos del grupo del platino (**PGE**), bien en inclusiones mecánicas (elementos nativos y sus aleaciones), o formando parte de las estructuras de los sulfuros y arseniuros, los que se formaron durante complicados procesos de diferenciación magmática en la antigua corteza oceánica.

## Espinelas Cromíferas Masivas

La composición química de las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan” se estudió a través de microscopía electrónica de barrido (Tabla No. II-1), obteniéndose una información precisa de su composición expresada en sus componentes principales (macrocomponentes): **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - FeO - MgO** y los componentes secundarios (microcomponentes): **TiO<sub>2</sub> - NiO - MnO**.

Tabla No. II-1 Valores de los contenidos de los componentes principales de las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa. [Análisis por microsonda electrónica de barrido]. [Rango: Diferencia entre el valor máximo y mínimo].

Oxidos	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44.5	35.58	40.75	8.92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.51	21.16	26.98	8.35
MgO	17.2	8.27	14.93	8.93
FeO	28.97	12.6	15.99	16.37
TiO <sub>2</sub>	1.26	0.06	0.29	1.2
MnO	0.3	0.14	0.21	0.16
NiO	0.3	0	0.13	0.3

### • Macrocomponentes

Las menas masivas presentan un contenido de **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** que varía entre un 44,5% y 35,8% con un valor promedio de 40,75% y rango estadístico restringido de 8,92%, ubicándose por su contenido entre los yacimientos cromíticos podiformes, comparándose así con los yacimientos de Nueva Caledonia, Filipinas y Troodos en Chipre. (Tabla No. II-2).

Por su contenido en porcentaje de **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** las menas masivas se clasifican para uso refractario, conclusión que se había enunciado por vez primera por Thayer, refiriéndose al yacimiento “Cayo Guan”: “... *The ore consists of massive coarse-grained chromite containing 38 at 39,5 percent Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and having a Cr:Fe ratio of 2,6 to 2,8... this ore is in great demand for refractories...*” (pág.68).(Thayer, T. P. 1942)<sup>111</sup>.

Las variaciones del contenido de **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** en relación con los contenidos de **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** quedan visualizadas gráficamente (Fig. No. II-1). El contenido de **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** varía entre 29,5% (valor máximo) y 21,16% (valor mínimo) con un promedio de 26,98% y un rango estadístico muy limitado de 8,35 unidades, éstos corroboran aún más el carácter refractario de las menas cromíferas del yacimiento “Cayo Guan”, así como su carácter de génesis podiforme en cuanto a los contenidos de alúmina que, de acuerdo a los criterios de Thayer varían entre 6,0% y 35,0%.(Thayer, T.P.,1964)<sup>112</sup>.

La relación existente entre los contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  muestran una dependencia lineal inversa que, unido a bajos contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , es una de las características para delimitar el carácter podiforme o estratiforme de la mineralización cromífera, tal como ha sido demostrado por otros investigadores (Augé, T. and Maurizot, P., 1995)<sup>7</sup>, lo que se analizará más adelante empleando relaciones catiónicas.

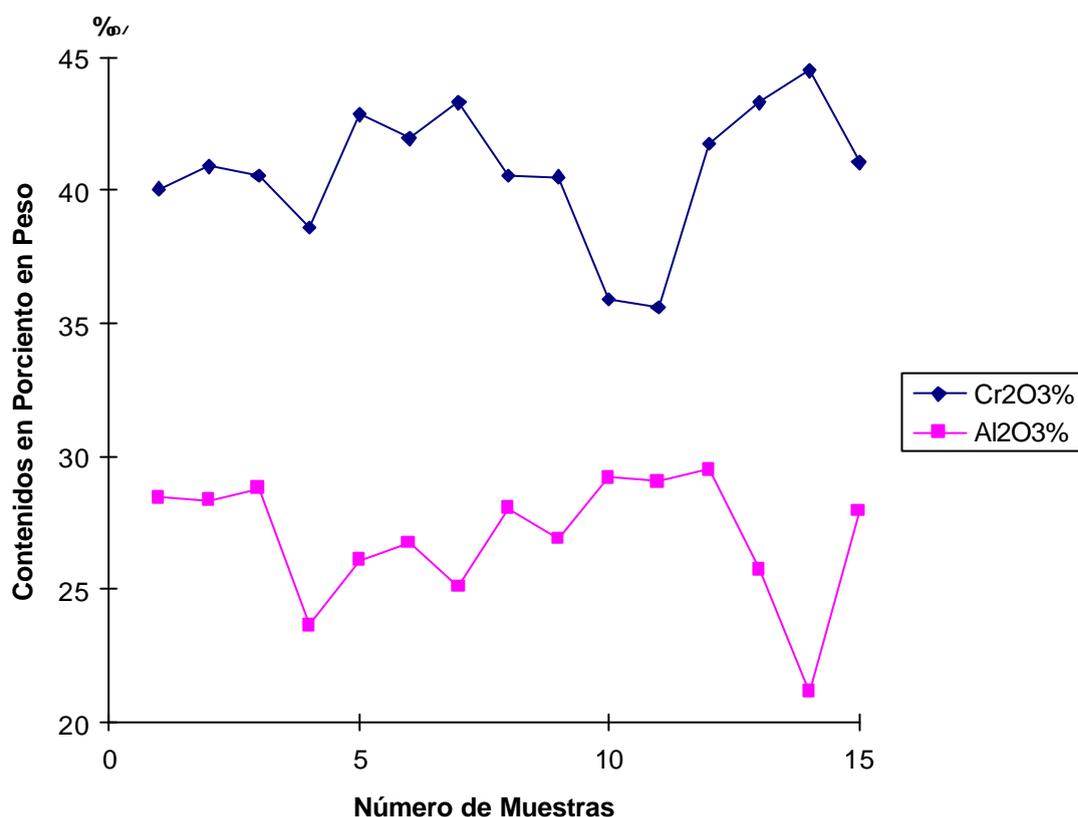


Fig. No. II-1 Diagrama comparativo de los contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3\%$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3\%$  en las espinelas cromíferas masivas del yacimiento "Cayo Guan", Moa.

Se ha corroborado estadísticamente que los contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mantienen una relación inversa al mostrar un coeficiente de correlación de: **-0,54131**. Esta dependencia sitúa al yacimiento "Cayo Guan" con características podiformes de su mineralización cromífera.

Atendiendo al contenido de  $\text{FeO}\%$  (expresado el  **$\text{FeO}\%$**  como hierro total dada las características de los análisis de microscopía electrónica de barrido, donde se incluyen los contenidos de  **$\text{Fe}_2\text{O}_3\%$** ), en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Cayo Guan" se presentan valores máximos con 28,79% y un valor mínimo de 12,6%; presentando un rango estadístico elevado con: 16,37 y un valor medio calculado de 15,98%. Por sus contenidos en  **$\text{FeO}$**  las menas cromíferas masivas presentan un

carácter dual en relación a su génesis (podiformes o estratiformes). Thayer había determinado un valor máximo para el **FeO** para las menas masivas de los cuerpos podiformes asociados a los complejos ofiolíticos alpinos de **FeO=15,0%** (Thayer, T. P., 1976)<sup>113</sup>, en el caso específico del yacimiento de “Cayo Guan” el valor medio calculado es superior al establecido por Thayer.

Tabla No. II-2 Valores medios de las menas masivas de varios yacimientos de génesis podiforme. (\*) Valores tomados de Leblanc, M. y Nicolas, A., (1992)<sup>68</sup>. (\*\*) Valores tomados de Greenbaum, D., (1977)<sup>44</sup>. (\*\*\*) Valores del presente estudio. Todos los valores en por ciento en peso. [Análisis por microsonda electrónica de barrido].

Yacimientos Cromíferos	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Total
Tiébaghi-N.Caledonia *	58.39	11.15	14.3	15.57	0.11	0.13	99.65
Anna-Madelaine N. Cal.*	51.42	19.53	13.68	14.65	0.03	0.5	99.81
Poum-N. Caledonia *	60.14	9.56	18.1	10.93	0.02	0.76	99.51
Poum-N. Caledonia *	29.57	39	12.64	18.07	0.25	0.34	99.87
Acoje-Filipinas *	54.93	13.15	19.75	11.42	0.21	0.17	99.63
Coto- Filipinas *	35.79	32	14.86	16.53	0.32	0.15	99.65
Troodos- Chipre**	54.5	14.15	12.26	14.2	0.19	0.13	95.43
Cayo Guan - Cuba ***	40.75	26.98	15.99	14.93	0.29	0.21	99.13
Potosí - Cuba ***	39.98	22.83	22.09	13.01	1.06	0.27	99.24
Amores - Cuba ***	36.17	27.32	17.76	18.26	0.24	0.19	99.94
Mercedita - Cuba ***	38.43	29.14	14.53	16.54	0.28	0.26	99.18

De los contenidos de FeO en las menas masivas del yacimiento “Cayo Guan” se puede afirmar que existe una ligera tendencia a las características de menas estratiformes. Los valores de FeO determinados en el yacimiento “Cayo Guan” son inferiores a los obtenidos en las menas del yacimiento " Potosí " (Tabla No. II-2 y Cap. IV).

Por último, entre los macrocomponentes, se incluyen los contenidos de **MgO**, los cuales varían entre **17,2%** (valor máximo) y **8,27%** (valor mínimo), con un valor medio de **14.93%** y un rango estadístico de **8,23** (Tabla No. II-1). En correspondencia con los contenidos de MgO en las menas masivas del yacimiento “Cayo Guan” se corresponden dentro de los intervalos de otros yacimientos de menas podiformes, como en los casos del yacimiento “ Anna-Madelaine “ en Nueva Caledonia, citado por Leblanc y Nicolas (Leblanc, M., and Nicolas, A., 1992)<sup>67</sup>.

Se ha podido establecer una baja correlación entre los contenidos de **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%** y **MgO%** (coeficiente de correlación: **0,045625**), aunque hay muestras específicas en las que se demuestra una correlación inversa, debido a que al producirse un incremento de **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** se produce una disminución en el contenido de **MgO**.

Entre las relaciones de los macrocomponentes es de destacarse las presentadas entre los contenidos de **MgO** y **FeO**, a los cuales como ha sido señalado, ocupan las mismas posiciones en la celda unidad de las espinelas cromíferas (posición:  $X^{2+}$ ), por lo que ambos elementos y por ende sus óxidos aumentan y disminuyen sus contenidos de forma inversa, tal como se presenta gráficamente (Fig. No. II-2), lo que permite además identificar a la espinela cromífera. Un resultado similar se obtiene al utilizar la relación catiónica:  $Fe^{2+} - Mg^{2+}$ .

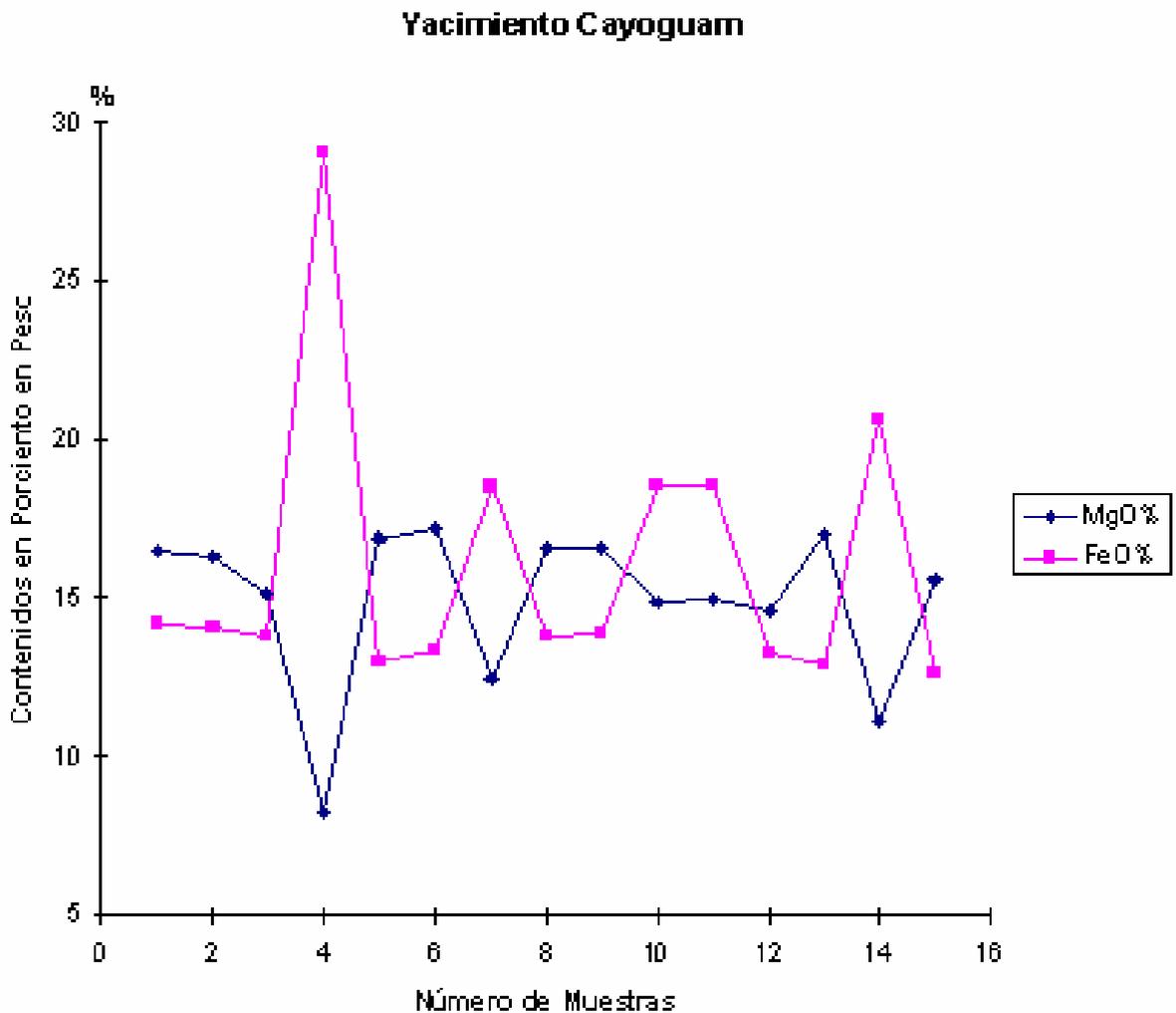
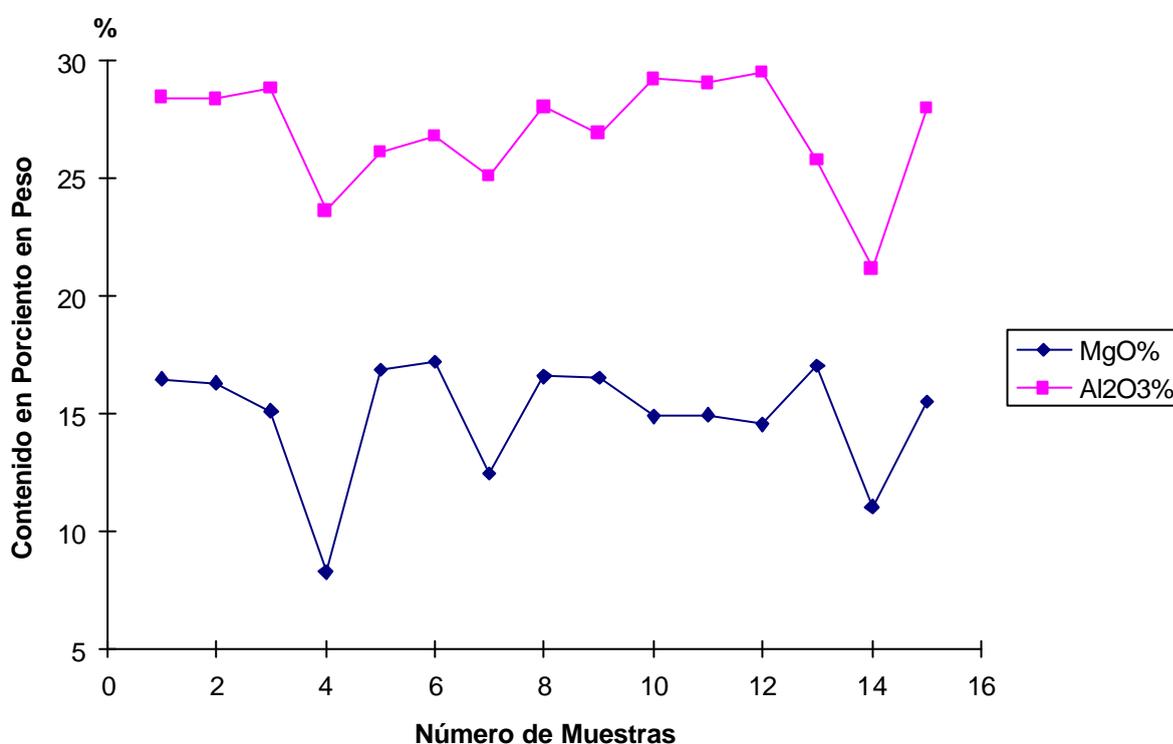


Fig. No. II-2 Diagrama comparativo entre los contenidos de MgO y FeO en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.

Al realizarse el análisis estadístico de los contenidos para ambos óxidos se obtuvo una correlación inversa, signo negativo, muy alta (coeficiente de correlación: = - **0,91441** y coeficiente de covarianza: = - **9,55159**), la situación antes expuesta se analizará con

mayor profundidad en el análisis de la distribución geoquímica de los cationes bivalentes y trivalentes en la celda unidad de las espinelas cromíferas.

De suma importancia, entre las relaciones de los macrocomponentes, es analizar el comportamiento de la alúmina, expresado en los contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en relación con los contenidos de  $\text{MgO}$  y  $\text{FeO}$ , en el primer caso, la relación entre los contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{MgO}$  se manifiesta una correlación positiva (coeficiente de correlación: **0,613449**), que aunque no es un valor alto, sí se manifiesta su carácter de dependencia lineal, lo cual queda visualizado en el Fig. No. II-3.



**Fig. No. II-3** Diagrama comparativo de los contenidos de  $\text{MgO}$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en las menas masivas del yacimiento "Cayo Guan", Moa.

Como se observa en varias muestras se corrobora lo anteriormente expuesto. En cambio, al efectuar un análisis similar entre los contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{FeO}$  se manifiesta una correlación inversa entre ambos contenidos (coeficiente de correlación negativa, no muy alta: **- 0,54525**). (Fig. No. II-4).

Los datos expuestos anteriormente muestran gráficamente un comportamiento dual del origen primario de las menas cromíferas masivas del yacimiento "Cayo Guan", por una parte, el carácter podiforme se demuestra en los contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , acotados a los

valores permisibles, en cambio los contenidos de **FeO**, tal como se analizó oportunamente, apoyan una génesis primaria con características similares a las menas masivas que se asocian a intrusiones estratiformes.(Thayer, T. P., 1964)<sup>112</sup>.

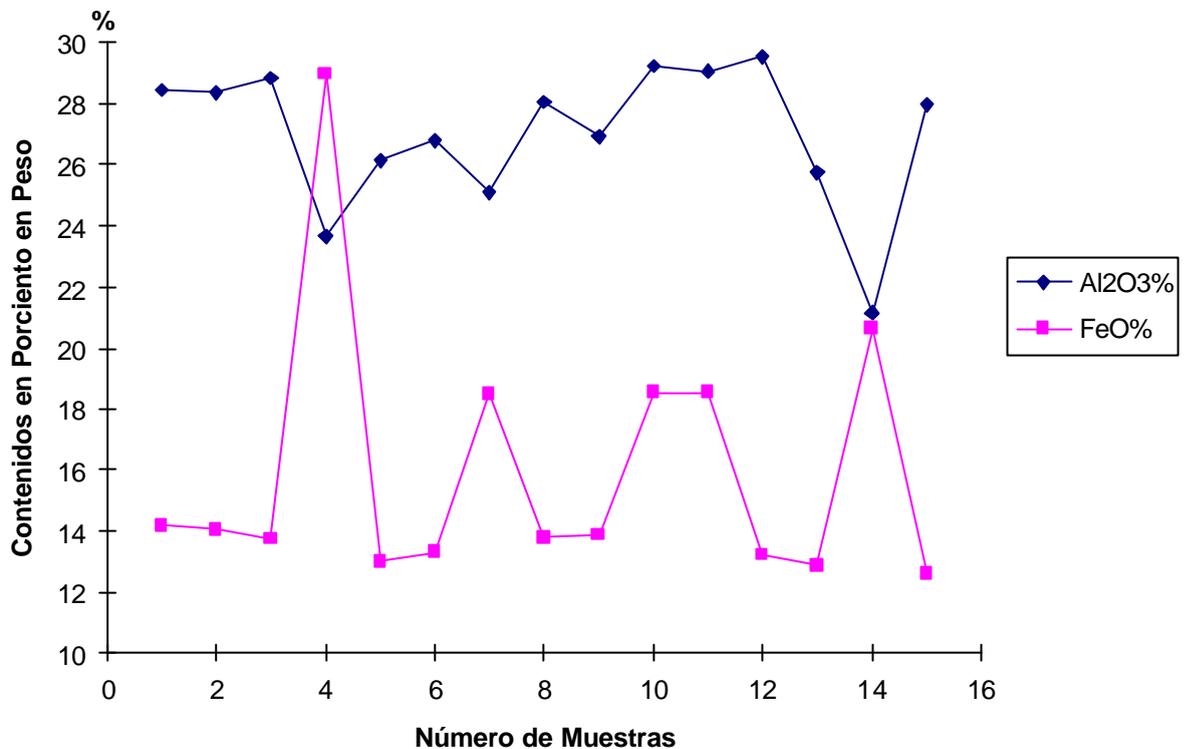


Fig. No II-4 Diagrama comparativo entre los contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y FeO en las menas masivas del yacimiento "Cayo Guan", Moa.

#### • Microcomponentes

Entre los microcomponentes de las espinelas cromíferas masivas del yacimiento "Cayo Guan" debemos de mencionar los contenidos de **MnO**, **NiO** y **TiO<sub>2</sub>** cuyos valores se recogen en la Tabla No. II-3, los mismos han sido expresados en porcentaje en peso del óxido correspondiente, en porcentaje en peso del metal y en ppm (g/t) lo cual facilita la interpretación geoquímica y los análisis estadísticos.

Los contenidos de **MnO%** en las espinelas cromíferas masivas del yacimiento "Cayo Guan" oscilan entre **0,30%** (valor máximo) y **0,14%** (valor mínimo) y **0,21%** correspondiente al valor medio calculado, los cuales no son significativos al compararse con otros yacimientos cromíferos. (Tabla No. II-2).

Del análisis estadístico se comprobó que prácticamente no existe correlación lineal entre los contenidos de **Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%** y **MnO%** (coeficiente de correlación: - **0,04232**), al

parecer el comportamiento geoquímico del manganeso, en el proceso de cristalización de las espinelas cromíferas tiende a elevar su concentración hacia los cationes bivalentes en la celda unidad, no ubicándose en los cationes trivalentes.

**Tabla No. II-3 Contenidos de los microcomponentes en las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa. [Análisis por microsonda electrónica de barrido].**

Muestra	TiO <sub>2</sub> %	Ti (%)	Ti (ppm)	NiO %	Ni (%)	Ni (ppm)	MnO %	Mn (%)	Mn (ppm)
1--64	0.227	0.17	1700	0.125	0.0982	982.25	0.196	0.1518	1517.824
1--34	0.254	0.15	1500	0.2	0.1572	1571.6	0.19	0.1471	1471.36
1--59	0.28	0.17	1700	0.16	0.1257	1257.3	0.22	0.1704	1703.68
1--28	0.3	0.18	1800	0.05	0.0393	392.9	0.3	0.2323	2323.2
3--52	0.08	0.05	500	0.19	0.1493	1493	0.17	0.1316	1316.48
3--54	0.06	0.04	400	0.19	0.1493	1493	0.19	0.1471	1471.36
1--82	0.41	0.25	2500	0.04	0.0314	314.32	0.25	0.1936	1936
sp--117	0.125	0.07	700	0.2	0.1572	1571.6	0.2	0.1549	1548.8
sp-115	0.092	0.06	600	0.22	0.1729	1728.8	0.18	0.1394	1393.92
sp-118	0.325	0.19	1900	0.15	0.1179	1178.7	0.26	0.2013	2013.44
sp--119	0.402	0.24	2400	0.16	0.1257	1257.3	0.19	0.1471	1471.36
sp--35	0.39	0.23	2300	0	0	0	0.14	0.1084	1084.16
sp--11	0.12	0.07	700	0	0	0	0.24	0.1859	1858.56
sp--47	1.26	0.76	7600	0	0	0	0.28	0.2168	2168.32
sp--116	0.08	0.05	500	0.3	0.2357	2357.4	0.18	0.1394	1393.92

La conclusión anterior es demostrable a través del análisis estadístico. Así, los contenidos de **MnO** presentan correlación negativa con relación a los contenidos con el **MgO** y el **NiO**, no obstante, presenta la correlación positiva en relación a los contenidos de **FeO** y **TiO<sub>2</sub>**, es decir, que desde el punto de vista geoquímico la mayor o menor concentración del manganeso en las espinelas cromíferas masivas se produce a expensas de la disminución del **NiO** y **MgO** ó incremento del **FeO** y **TiO<sub>2</sub>**, respectivamente.

**Tabla No. II-4 Coeficientes de correlación de los contenidos de MnO% con respecto a los óxidos de los metales bivalente y trivalentes, menas masivas, yacimiento “Cayo Guan”, Moa.**

Oxidos	Feo%	NiO%	TiO <sub>2</sub>	MnO%	MgO%
MnO%	0,7839	-0,4736	0,4845	1,0	-0,7228
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	-	-
MnO%	-0,0423	-	-0,6570	1,0	-

Por otra parte se verificó que el rango de variación de los contenidos de MnO en la estructura de las espinelas cromíferas del yacimiento “Cayo Guan” es muy restringido

(0,16%). Un comportamiento geoquímico similar al analizado se pone de manifiesto en el caso del NiO%, cuantitativamente los contenidos del óxido varían desde 0,30% hasta muestras en que no se detectan valores del NiO, el contenido medio calculado es de 0,1323%, inferior a los contenidos del manganeso.

**Tabla No. II-5 Coeficientes de correlación de los contenidos de NiO% con respecto a los óxidos de los metales bivalentes y trivalentes de las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.**

Oxidos	FeO%	MgO%	TiO <sub>2</sub> %	MnO%
NiO%	-0.42043	0.53037	-0.5681	-0.4736
-	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	NiO%
NiO%	-0.3136	-	-0.6570	1.0

Son significativos los valores negativos de los coeficientes de correlación del hierro y el manganeso con relación al níquel, ya que dichos metales condicionan los contenidos del níquel en la estructura de la celda unidad de la espinela cromífera. Por otra parte, se comprueba una dependencia positiva entre los contenidos de níquel y los de magnesio, llegándose a la conclusión de que en las espinelas cromíferas al aumentar los contenidos de magnesio se incrementan los contenidos de níquel. Se incluye además, la relación inversa con respecto a los contenidos de aluminio, en otras palabras, las espinelas cromíferas refractarias son menos níquelíferas en la misma medida que aumentan los contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

En los microcomponentes de las espinelas cromíferas se localizan los contenidos de TiO<sub>2</sub>. El comportamiento geoquímico del titanio y de su óxido en las espinelas cromíferas, así como en las litologías de los complejos ofiolíticos, se utiliza como importante indicador petrogenético y geoquímico. Así, se ha establecido que los contenidos de **TiO<sub>2</sub> = 0,25%** (Ti = 1496,75 ppm), como valor límite para poder discriminar el origen primario de las espinelas cromíferas.

En las espinelas cromíferas asociadas a las intrusiones estratiformes (Stillwater Complex, Montana, USA. y Bushveld Complex, Africa del Sur), los contenidos de TiO<sub>2</sub>% están por encima del **0,25% de TiO<sub>2</sub>**, en cambio, las espinelas cromíferas en los complejos ofiolíticos (Nueva Caledonia, Troodos, Chipre, Filipinas, etc.) los contenidos de TiO<sub>2</sub> en las espinelas cromíferas es inferior al valor de 0,25% . En ese sentido, al estudiar las espinelas cromíferas podiformes Leblanc señala: “ ... *le titane est un élément mineur des cromites ophiolitiques (en général moins de 0,25% TiO<sub>2</sub>), les chromites des*

*complexes stratiformes sont en mayonne plus riches ( 0.3 á 1,5% TiO<sub>2</sub>) et tendent á s'enricher en fer titane et vanadium..."* (pág. 11). (Leblanc, M. and Nicolas, A., 1992)<sup>68</sup>.

Las espinelas cromíferas masivas del yacimiento "Cayo Guan" presentan contenidos de TiO<sub>2</sub> en el intervalo: **0,06 < TiO<sub>2</sub> < 1,26**. Casi la mitad de las muestras estudiadas presentan contenidos superiores a 0,25% de TiO<sub>2</sub>, de los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que las espinelas cromíferas masivas del yacimiento "Cayo Guan" manifiestan un carácter dual en relación a su génesis, inclusive, muestran cierta tendencia a un origen estratiforme.

El comportamiento geoquímico del titanio en las menas masivas se expresa en forma de Ti<sup>+4</sup> en cristales idiomórficos de rutilo y en descomposición de soluciones sólidas - textura laminar - en el seno de las espinelas cromíferas masivas, en cambio, el titanio en forma de Ti<sup>3+</sup> se ubica en la celda cristalográfica de la espinela cromífera en la posición Y<sup>3+</sup>, posiblemente como ulvöespinela.

**Tabla No. II-6 Coeficientes de correlación de los contenidos de TiO<sub>2</sub> en relación a los óxidos de los metales bivalentes y trivalentes en las espinelas cromíferas masivas del yacimiento "Cayo Guan", Moa.**

Oxidos	FeO%	NiO%	MnO%	MgO%
TiO <sub>2</sub>	0.4633	-0.5680	0.4845	-0.6047
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub>
TiO <sub>2</sub>	0.2088	-	-0.5628	1.0

Como puede valorarse el TiO<sub>2</sub> presenta coeficiente de correlación positivos con el FeO y MnO, lo cual se traduce en que los contenidos de TiO<sub>2</sub> se incrementan o disminuyen en proporción directa a los contenidos de FeO y MnO; en cambio, en las posiciones bivalentes los valores de NiO y MgO presentan coeficientes de correlación inversa (valores negativos), siendo el coeficiente del magnesio mayor que del níquel. En este caso, los contenidos de TiO<sub>2</sub> varían inversamente proporcional al contenido de los óxidos de níquel y de magnesio. En el caso de los óxidos de los metales trivalentes, existe correlación positiva con el Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (aunque baja) y negativo con los valores del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Las relaciones entre los contenidos de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub> se recogen gráficamente, donde las muestras se distribuyen en dos campos bien diferenciados: podiformes **TiO<sub>2</sub> < 0,25%** y estratiformes **TiO<sub>2</sub>% > 0,25%**. (Fig. No. II-5).

A partir de los resultados analíticos de microscopía electrónica de barrido, fue factible calcular el número de cationes (bivalentes y trivalentes) en la celda cristalográfica unidad de la espinela cromífera. Contando con dichos resultados se calcularon diferentes relaciones geoquímicas, así como se obtuvieron las fórmulas cristaloroquímicas de cada muestra investigada.

En las espinelas cromíferas del yacimiento “Cayo Guan” se analizó la relación entre los valores de los cationes bivalentes  $\text{Fe}^{2+}$ :  $\text{Mg}^{2+}$ ; la que permite discriminar, de una forma similar a los contenidos de  $\text{TiO}_2$ , el origen primario de las espinelas cromíferas.

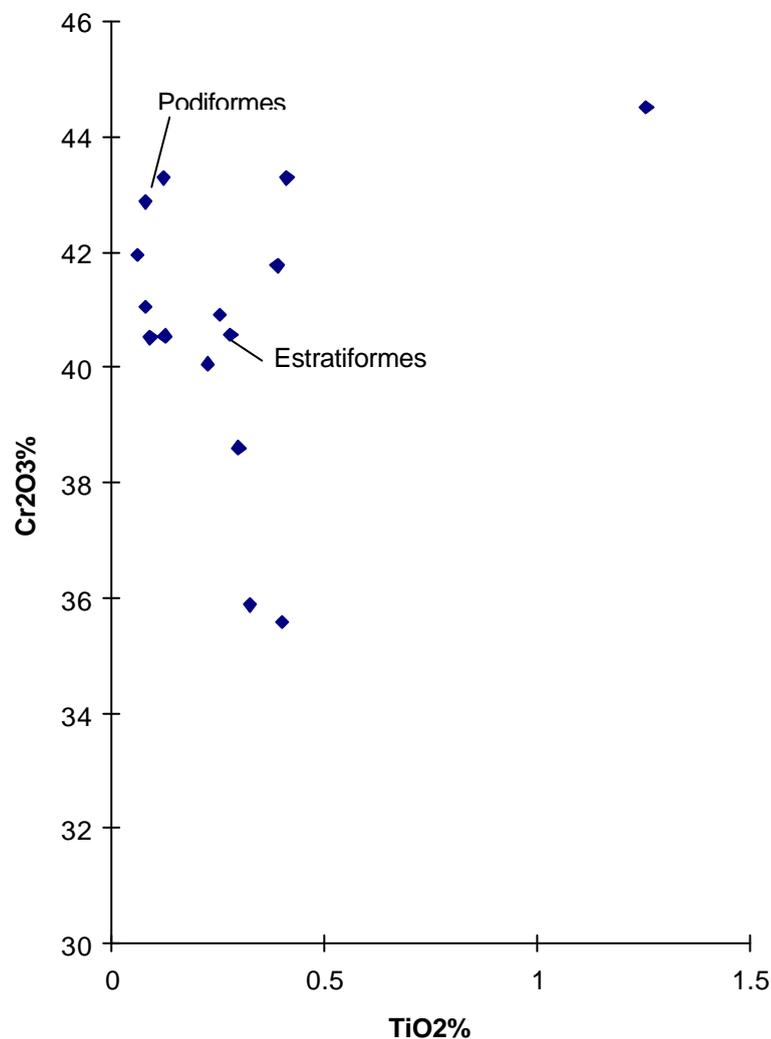


Fig. No. II-5 Diagrama de dispersión entre los contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3\%$  y  $\text{TiO}_2\%$  en las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.

Thayer (1964)<sup>112</sup>, Dickey (1975)<sup>25</sup>, Leblanc (1983)<sup>67</sup>, Boudier y Nicolas (1995)<sup>11</sup> han demostrado que los valores de la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+}$ :  $\text{Mg}^{2+}$  varía en un intervalo

muy limitado para las menas cromíferas podiformes asociadas a los complejos ofiolíticos (**0,40 - 0,45**) y un intervalo más amplio cuando se trata de las menas cromíferas estratiformes (**0,50 - 1,59**). En ese sentido los valores determinados para las menas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan” muestran un valor medio de **0,5433** con valores máximos de **1,57** y mínimos de **0,32**. Como puede valorarse, los resultados obtenidos para las menas masivas incluyen los valores de las menas podiformes y estratiformes, incluso con cierta tendencias a éstas últimas.

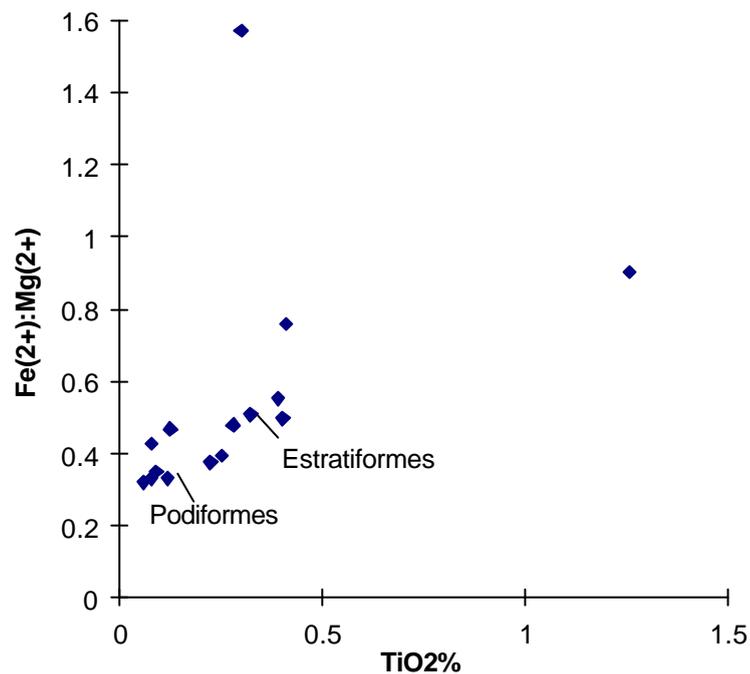


Fig. No. II-6 Diagrama de dispersión entre los contenidos de TiO<sub>2</sub>% y la relación geoquímica Fe<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup> en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.

Los cationes bivalentes ocupan la posición [X<sup>2+</sup>] en la estructura de la celda cristaloquímica unidad en la espinela cromífera y teóricamente la suma de ambos cationes - de ocuparse todas las posiciones - sería un valor máximo de ocho cationes bivalentes, según ha estudiado Irvine en detalle (Irvine, T. N., 1965)<sup>49</sup>.

En realidad las posiciones catiónicas bivalentes son sustituidas por cationes metálicos de valencias atómicas similares en sus radios iónicos, es decir que el Mg<sup>2+</sup> y Fe<sup>2+</sup> pueden ser sustituidos por los cationes: Zn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> y Mn<sup>2+</sup>.

En el caso específico de las menas masivas del yacimiento “Cayo Guan” los valores de los cationes de  $Mg^{2+}$  son superiores en línea general al número de cationes de  $Fe^{2+}$ , lo cual se puede valorar de las fórmulas cristaloquímicas y en las tablas No. II-7 y No. II-8, respectivamente.

**Tabla No. II-7 Número de cationes bivalentes en la celda cristalográfica unidad de las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.**

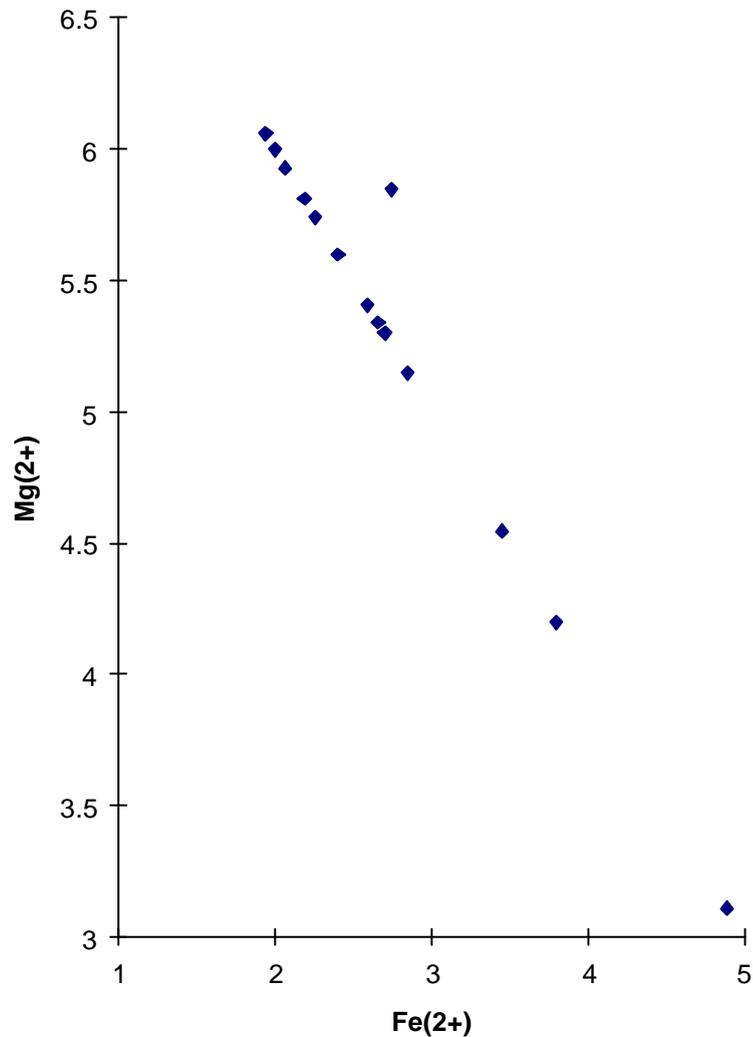
Muestras	Ni <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	S X <sup>2+</sup>
m-1-64	0.024	2.19	5.81	0.039	8.063
m-1-34	0.038	2.26	5.74	0.037	8.075
m-1-59	0.03	2.59	5.41	0.044	8.074
m-1-28	0.011	4.89	3.11	0.066	8.077
m-3-52	0.037	2	6	0.035	8.072
m-3-54	0.036	1.94	6.06	0.039	8.075
m-1-82	0.008	3.45	4.55	0.052	8.06
m-sp-117	0.038	2.74	5.85	0.04	8.668
m-sp-115	0.043	2.07	5.93	0.037	8.08
m-sp-118	0.03	2.7	5.3	0.053	8.083
m-sp-119	0.031	2.66	5.34	0.039	8.07
m-sp-36	0	2.85	5.15	0.028	8.028
m-sp-11	0	2	6	0.049	8.049
m-sp-47	0	3.8	4.2	0.06	8.06
m-sp-116	0.044	2.4	5.6	0.037	8.081

**Tabla No. II-8 Número de cationes trivalentes en la celda cristalográfica unidad de las espinelas cromíferas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.**

Muestras	Ti <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	S Y <sup>3+</sup>
m-1-64	0.041	7.48	7.92	0.6	16.041
m-1-34	0.045	7.63	7.87	0.5	16.045
m-1-59	0.05	7.69	8.15	0.16	16.05
m-1-28	0.058	7.71	7.04	1.25	16.058
m-3-52	0.014	8.07	7.33	0.6	16.014
m-3-54	0.011	7.84	7.45	0.71	16.011
m-1-82	0.076	8.41	7.26	0.33	16.076
m-sp-117	0.022	7.59	7.82	0.59	16.022
m-sp-115	0.017	7.67	7.59	0.74	16.017
m-sp-118	0.059	6.78	8.22	1	16.059
m-sp-119	0.073	6.76	8.22	1.03	16.083
m-sp-36	0.069	7.91	8.33	0	16.309
m-sp-11	0.022	8.16	7.24	0.6	16.022
m-sp-47	0.24	9.09	6.44	0.47	16.24
m-sp-116	0.015	7.85	7.97	0.18	16.015

Como consecuencia de ocupar las posiciones ( $X^{2+}$ ) en la estructura de las espinelas cromíferas, los valores de los cationes ( $Mg^{2+}$  y  $Fe^{2+}$ ), manifiestan una elevada

correlación inversa (coeficiente de correlación: **-0.98254**), por lo que al aumentar o disminuir un catión, aumenta y disminuye el otro respectivamente, tal como se visualiza gráficamente. (Fig. No. II-7 y Fig. No. II-8).



**Fig. No. II-7** Diagrama de dispersión entre el número de cationes bivalentes (  $Mg^{2+}$  y  $Fe^{2+}$  ) en la celda cristalográfica unidad de las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan” , Moa.

Esta representación gráfica nos permite, además identificar desde el punto de vista mineralógico a las espinelas cromíferas, mediante el empleo del cálculo del número de cationes de la celda cristalográfica de cada muestra, así queda corroborado en el Fig. No. II-8.

A continuación se exponen gráficamente las variaciones de los cationes bivalentes ( $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$ ) en todas las muestras de espinelas cromíferas masivas investigadas, lo que se demuestra en la Fig. No. II-8.

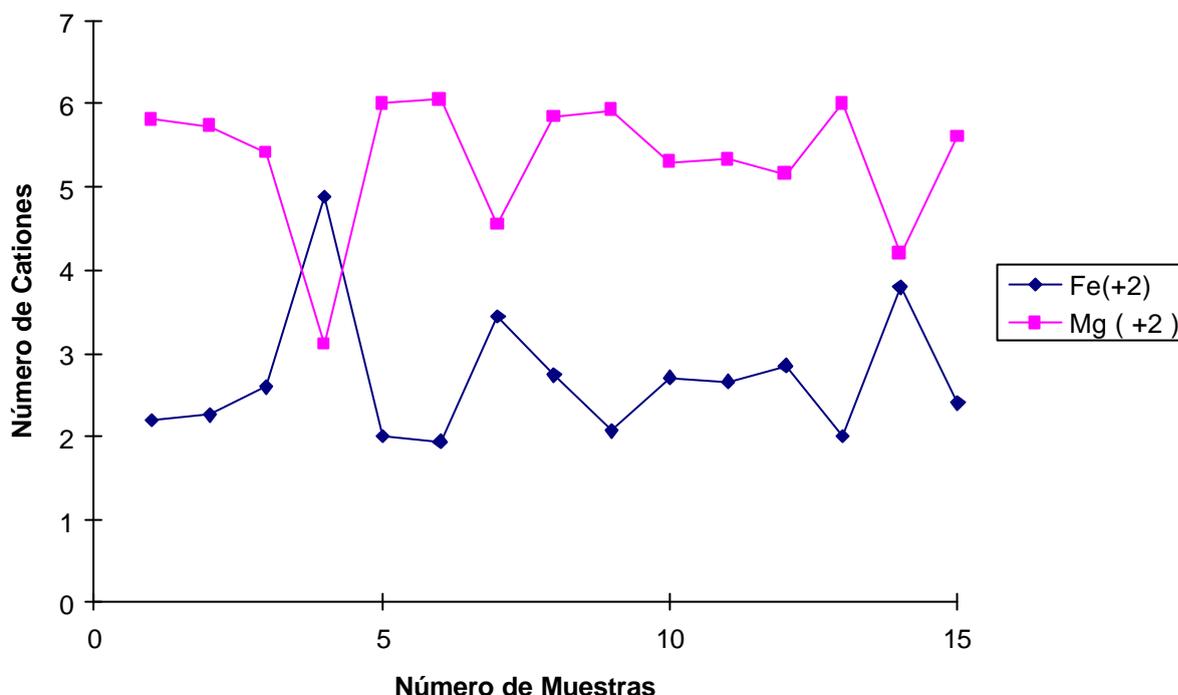
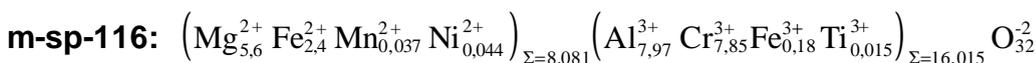
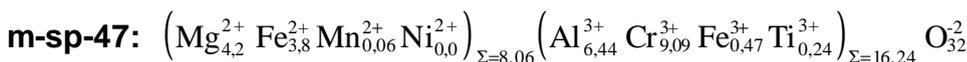
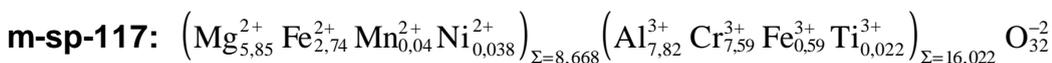
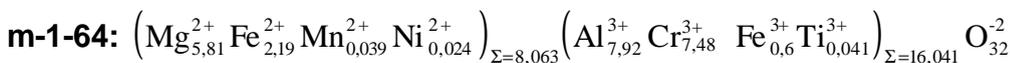


Fig. No. II-8 Diagrama comparativo entre los números de cationes bivalentes  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  en la celda cristalográfica unidad de las espinelas cromíferas masivas del yacimiento "Cayo Guan", Moa.

Seguidamente, se recogen a manera de ejemplos cuatro muestras de espinelas cromíferas masivas donde se exponen sus fórmulas cristalquímicas de sus respectivas celdas unitarias:



Los cationes trivalentes en la celda cristalográfica de la espinela cromífera están representados por los cationes:  $\text{Al}^{3+}$  -  $\text{Cr}^{3+}$  -  $\text{Fe}^{3+}$ , los cuales ocupan estequiométricamente la posición  $[\text{Y}^{3+}]$ , completando un total de dieciséis cationes, según ha sido

demostrado por Irvine (Irvine, T.N., 1965)<sup>49</sup> y más recientemente por Leblanc y Ceuleneer (Leblanc, M. and Ceuleneer, G., 1992)<sup>69</sup>. Los ligeros incrementos se deben a los contenidos de titanio y de vanadio ( $\text{Ti}^{3+}$  y  $\text{V}^{3+}$ ), los cuales se ubican en la posición de los cationes trivalentes.

Del análisis de las tablas donde se exponen los números de cationes bivalentes y trivalentes de las muestras de espinelas cromíferas masivas investigadas, así como de las fórmulas cristaloquímicas expuestas, se destacan los valores de los números de cationes de  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ , con valores muy próximos entre ellos, en cambio, los cationes  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Ti}^{3+}$  manifiestan valores muy bajos, raramente alcanzan los valores de la unidad. Estas relaciones tienen un extraordinario significado geoquímico, al indicarnos que la mineralización cromífera es rica en alúmina y se corresponde con las características genéticas de menas cromíferas asociadas a los complejos ofiolíticos, tal como ha sido demostrado en las menas cromíferas de Nueva Caledonia. (Augé, T. and Maurizot, P., 1995)<sup>7</sup>.

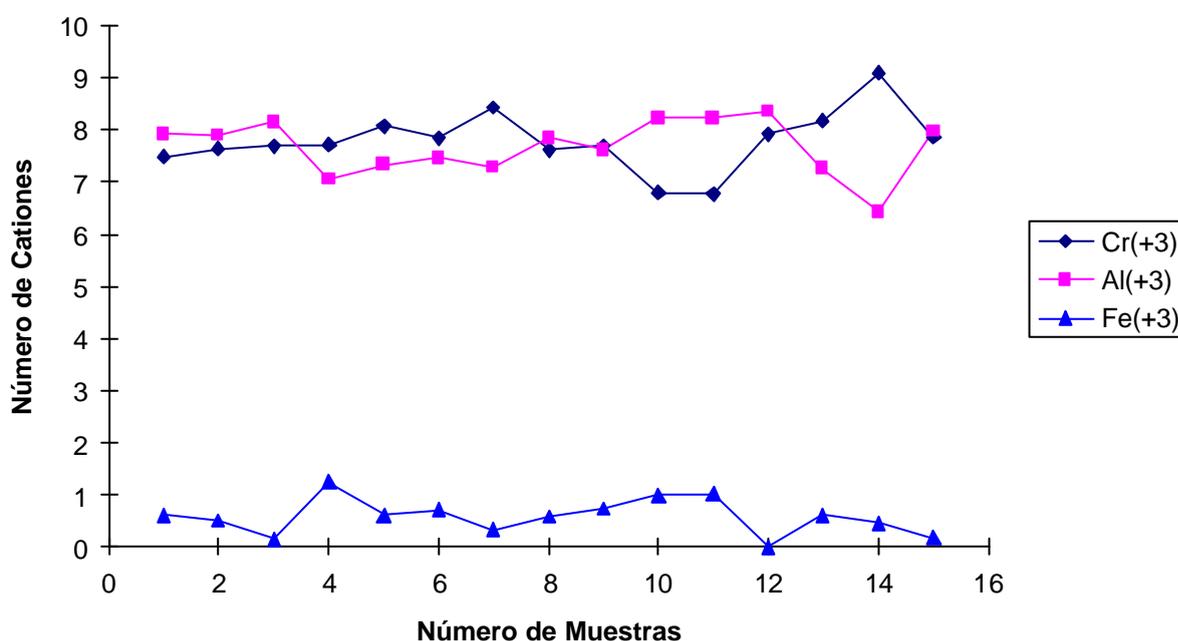
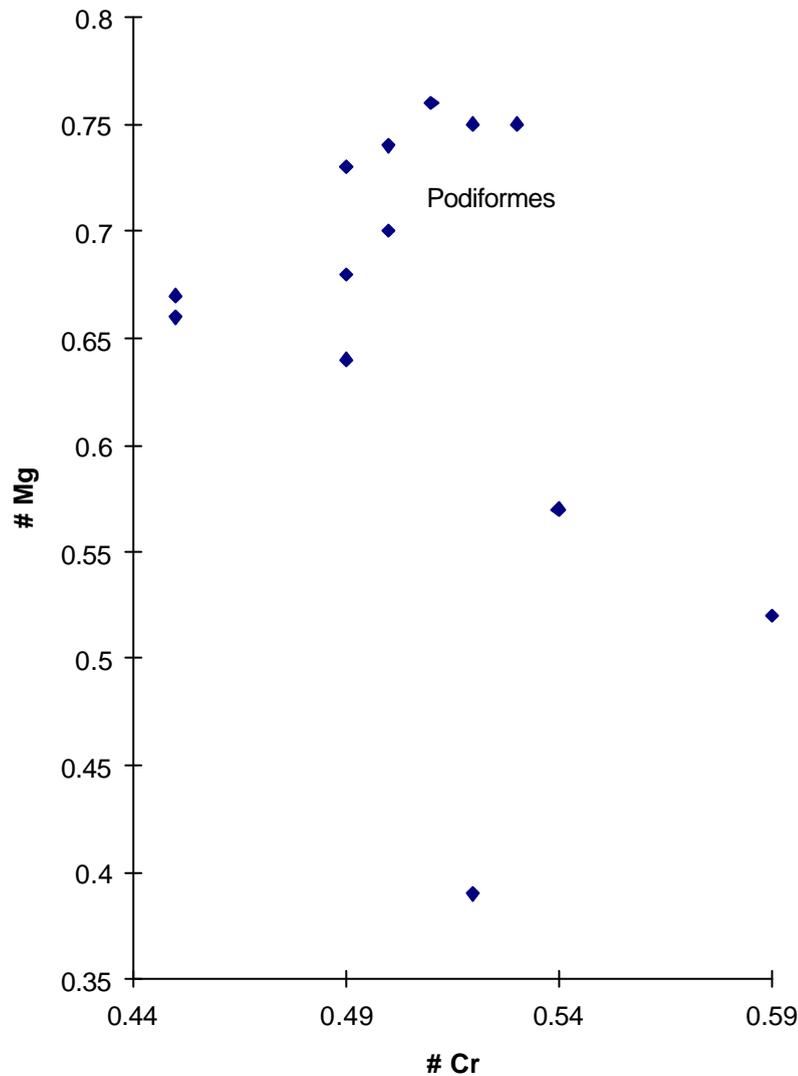


Fig. No. II-9 Diagrama de variación entre el número de cationes trivalentes en las celdas cristaloquímicas de las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.

En las menas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan” se pone de manifiesto su carácter genético asociado al complejo ofiolítico, lo que queda representado en la Fig. No. II-9.



**Fig. No. II-10** Diagrama de dispersión entre las relaciones geoquímicas  $\# Cr = Cr^{3+} / (Cr^{3+} + Al^{3+})$  y  $\# Mg = Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+})$  en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.

Finalmente, se analizó la relación geoquímica:  $\# Cr = Cr^{3+} / (Cr^{3+} + Al^{3+})$  y  $\# Mg = Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+})$  la que ha sido empleada por numerosos investigadores. (Leblanc, M. y Nicolas. A., 1992)<sup>68</sup>, (Leblanc, M., 1994)<sup>70</sup>, (Boudier, F., Nicolas, A., 1995)<sup>11</sup>. La relación geoquímica permite analizar la ubicación de las espinelas cromíferas masivas en función del número de cationes bivalentes y trivalentes en los campos de las menas cromíferas podiformes o estratiformes.

En las menas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan”, el # Cr presenta un valor medio de **0,51** y un intervalo de **0,45 < #Cr < 0,59** situándose en menas de bajo contenido de cromo (#Cr= 0,45) y alto contenido de aluminio, hasta espinelas cromíferas con alto contenido de cromo (#Cr = 0,59) y bajo contenido de aluminio. (Fig. No. II-10).

La relación #Mg manifiesta un valor medio de **0,67** lo cual verifica el alto contenido relativo de magnesio en las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan” (ver fórmulas cristaloquímicas), la relación geoquímica presenta un amplio intervalo: **0,39 < #Mg < 0,76**, en las que se incluyen espinelas cromíferas con bajo contenido de magnesio (#Mg = 0,39) y alto contenido de hierro hasta muestras con alto contenido de magnesio (#Mg = 0,76) y bajo contenido de hierro.

En sentido general y de acuerdo al área que abarcan los dos intervalos analizados (Fig. No. II-10) la mayoría de las muestras se ubican en la zona de las menas cromíferas asociadas a complejos ofiolíticos.

También, una vez más, queda demostrado el carácter refractario de las menas del yacimiento “Cayo Guan”, utilizando la relación geoquímica #Cr y #Mg, tal como ha sido expuesto por Lewis J. F. et al. “... *the refractory segregated high alumina chromites from the Moa-Baracoa area show a wide range in composition. In fact, this composition, in terms of both #Cr and #Mg, is much wider than for high Al-chromites in any other part of the world...*” (pág. 2) (Lewis, J.F. et al., 1996)<sup>74</sup>.

### **Espinelas Cromíferas Accesorias**

Las espinelas cromíferas accesorias en las litologías del complejo máfico y ultramáfico se han estado utilizando como importantes indicadores geoquímicos y petrogenéticos, por las características mineralógicas de las espinelas y su alta estabilidad ante diferentes procesos de alteración tales como la serpentización y variaciones hidrotermales-metasomáticas y la limitada migración geoquímica del cromo.

En el área del yacimiento “Cayo Guan” se estudiaron muestras de espinelas cromíferas accesorias en harzburgitas serpentizadas (complejo cumulativo ultramáfico), gabros olivínicos y troctolitas (complejo cumulativo máfico).

A continuación se exponen los contenidos de los componentes principales de las espinelas cromíferas accesorias:

Tabla No. II-9 Contenidos en por ciento en peso de los componentes principales de las espinelas cromíferas accesorias en harzburgitas serpentinizadas en el yacimiento “Cayo Guan” , Moa.

Oxidos	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48.13	17.4	39.41	30.73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50.12	21.88	28.26	28.24
MgO	18.73	9.89	13.39	8.84
FeO	25.06	13.66	18.54	11.4
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.14	0.25	0.17
MnO	0.7	0	0.04	0.7
NiO	0.26	0	0.11	0.26

Tabla No. II-10 Contenidos en por ciento en peso de los componentes principales de espinelas cromíferas accesorias en gabros olivínicos del yacimiento “Cayo Guan” , Moa.

Oxidos	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47.41	37.2	40.23	10.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.04	14.82	23.71	14.22
MgO	15.44	7.23	13.04	8.21
FeO	36.93	16.14	21.67	20.79
TiO <sub>2</sub>	1.88	0.21	0.68	1.67
MnO	1.06	0.02	0.29	1.04
NiO	0.25	0	0.11	0.25

Tabla No. II-11 Contenidos medios en por ciento en peso de los componentes principales en las espinelas cromíferas accesorias en troctolitas del yacimiento “Cayo Guan” , Moa.

Oxidos	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.48	35.95	38.64	6.53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.61	19.6	24.54	7.01
MgO	13.48	7.97	10.76	5.51
FeO	33.95	17.75	24.57	16.2
TiO <sub>2</sub>	0.66	0.3	0.36	0.36
MnO	0.96	0.23	0.52	0.73
NiO	0.18	0	0.11	0.18

Tabla No. II-12 Valores medios en por ciento en peso de las espinelas cromíferas masivas y de las espinelas cromíferas accesorias en el yacimiento “Cayo Guan” , Moa.

Espinela Cromífera	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	NiO
Masivas ( menas)	40.75	26.98	15.99	14.93	0.29	0.21	0.13
Gabros olivínicos	40.23	23.71	21.66	13.04	0.68	0.29	0.11
Troctolitas	38.64	24.54	24.57	10.76	0.52	0.36	0.11
Harzburgitas	39.41	28.26	18.54	13.39	0.04	0.25	0.11

## Macrocomponentes

Los componentes fundamentales de las espinelas cromíferas accesorias del área del yacimiento “Cayo Guan”:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  -  $\text{MgO}$  -  $\text{FeO}$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - manifiestan tendencias geoquímicas que reflejan las características genéticas de sus respectivas litologías. Así, las espinelas cromíferas accesorias en las harzburgitas serpentinizadas presentan contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  muy similares a las espinelas cromíferas accesorias del complejo máfico e inclusive a las espinelas cromíferas masivas que constituyen las menas del yacimiento “Cayo Guan” *sensu strictu*. (Tabla No. II-1).

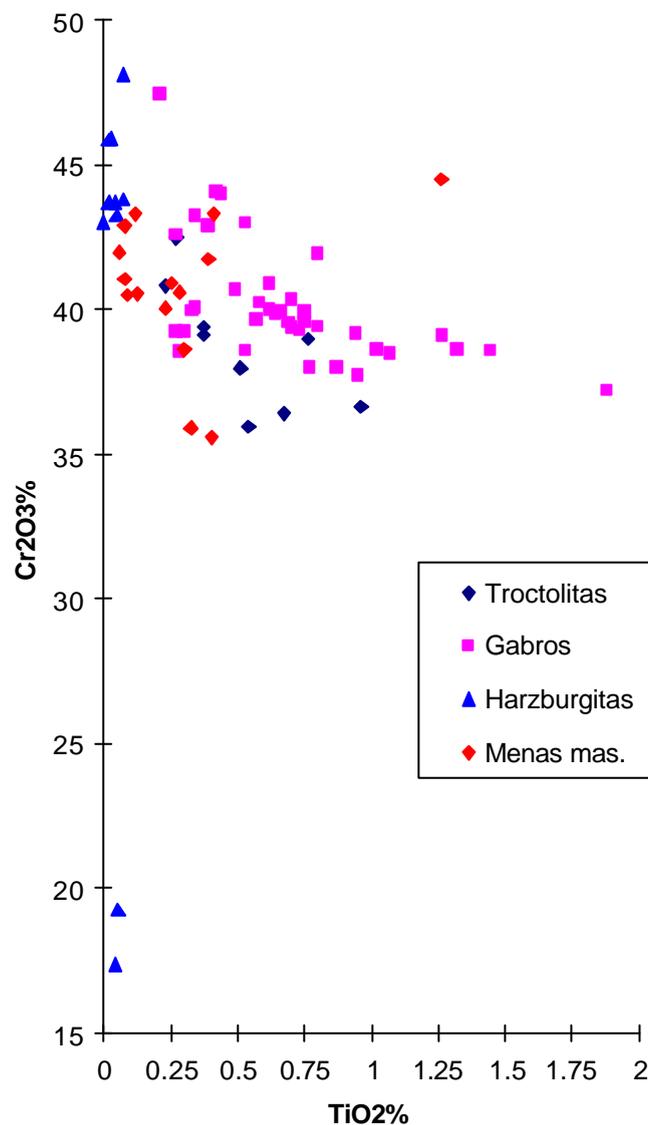


Fig. No. II-11 Diagrama de dispersión entre los contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3\%$  y  $\text{TiO}_2\%$  de las espinelas cromíferas masivas (menas) y las espinelas cromíferas accesorias del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.

Los contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3\%$  se corresponden con los valores determinados para las espinelas cromíferas podiformes ricas en alúmina, con valores muy similares entre sí. No obstante, las espinelas cromíferas del complejo máfico se manifiestan con contenidos inferiores a las espinelas cromíferas accesorias del complejo ultramáfico; resultados semejantes fueron obtenidos por Leblanc y Violette al investigar los yacimientos de Filipinas y Nueva Caledonia (Leblanc, M. and Violette, J. F., 1983)<sup>67</sup>.

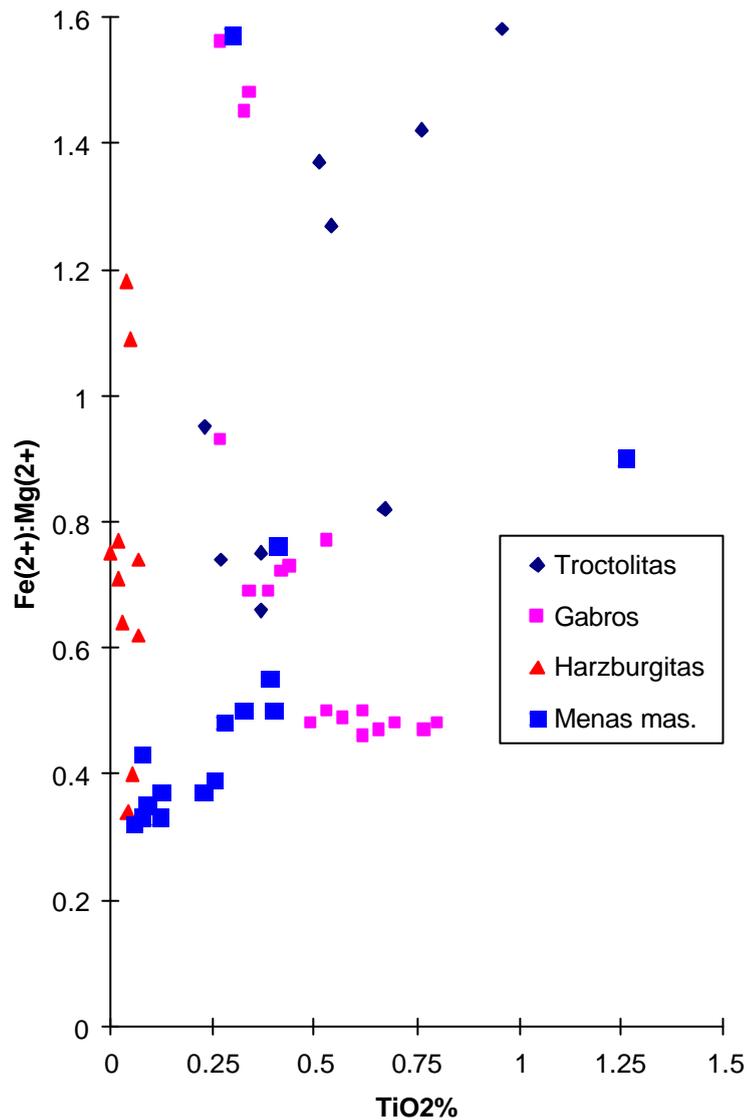


Fig. No. II-12 Diagrama de dispersión entre los contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  y los valores de la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$  en las espinelas cromíferas masivas (menas) y las espinelas cromíferas accesorias del yacimiento "Cayo Guan", Moa.

Al parecer, se produce una cristalización de las espinelas cromíferas muy adelantada, por lo que no está influenciada por los altos contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  del complejo máfico en relación al complejo ultramáfico. No obstante, los contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  en las

espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Cayo Guan” y los contenidos de ambos óxidos en las espinelas cromíferas accesorias, son muy semejantes lo que revela que las litologías máficas presentes en el campo menífero forman parte del resto de una antigua zona de transición entre las ultramafitas serpentinizadas y las litologías del complejo máfico gabroide. Estas zonas de transición son de extraordinaria importancia para la prospección de la mineralización cromífera, representada en este caso por los yacimientos “Cayo Guan”, “Cromitas” y “Narciso” y las manifestaciones minerales en el área.

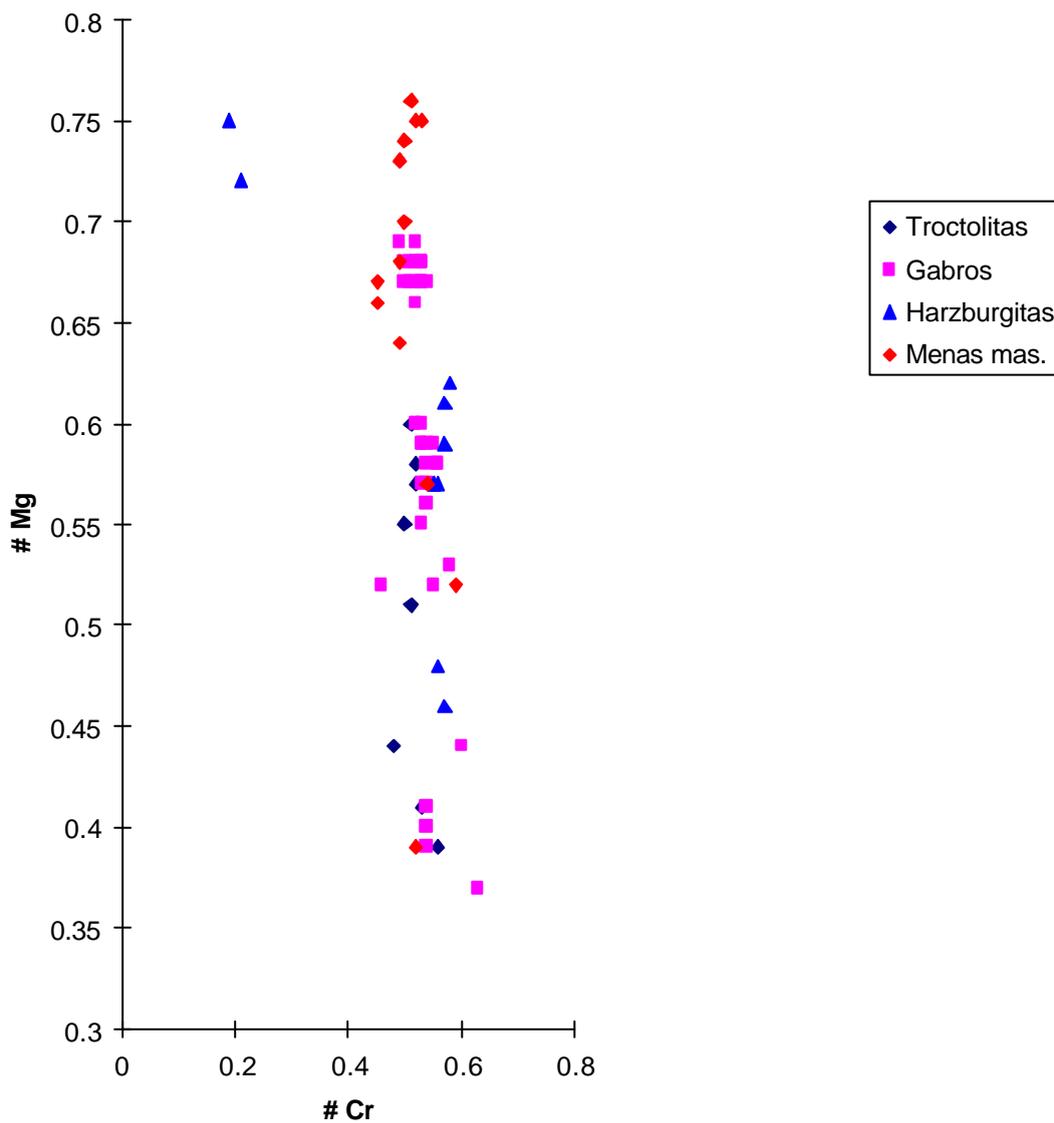


Fig. No. II-13 Diagrama de dispersión entre las relaciones geoquímicas  $\# Cr = Cr^{3+} / (Cr^{3+} + Al^{3+})$  y  $\# Mg = Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+})$  en las espinelas cromíferas masivas (menas) y las espinelas cromíferas accesorias del yacimiento “Cayo Guan”, Moa.

En los macrocomponentes se destacan los altos contenidos de FeO% en las espinelas cromíferas accesorias los cuales son superiores a los contenidos internacionalmente establecidos para las espinelas cromíferas asociadas a los complejos ofiolíticos alpinos, **[FeO = 15,0%]**.

El incremento del hierro en las espinelas cromíferas accesorias puede estar motivado por la intensa movilización del metal durante el proceso de serpentización; afectando a todos los complejos y a los yacimientos minerales asociados y por ende, a las espinelas cromíferas masivas, en las cuales, la actividad del hierro se pone de manifiesto al alterar a la espinela en forma de ferri-cromita, la que en forma de anillo bordea a los cristales y agregados cromíferos, situación semejante se produce en el área del yacimiento " Potosí " (Capítulo IV). Los datos expuestos corroboran el incremento sustancial del hierro en las espinelas cromíferas accesorias en las litologías del complejo cumulativo máfico; no excluyéndose la posibilidad de que los procesos hidrotermales hayan contribuido a la modificación de la composición primaria de las espinelas cromíferas.

Los contenidos de MgO son bajos en sentido general y no rebasan el 15%, lo cual es lógico debido a la relación inversa entre los contenidos de MgO y FeO. No obstante, los contenidos de MgO, en las espinelas cromíferas, van disminuyendo sus valores desde las harzburgitas serpentizadas hasta las litologías del complejo máfico.

En sentido general se aprecia una similitud entre las espinelas cromíferas del complejo ultramáfico serpentizado y las espinelas cromíferas masivas que conforma las menas del yacimiento "Cayo Guan", manifestándose esa misma correspondencia entre las espinelas cromíferas accesorias en las litologías del complejo máfico.

#### • **Microcomponentes**

En los microcomponentes de las espinelas cromíferas accesorias - TiO<sub>2</sub> - NiO - MnO - se expresan los contenidos de sus valores medios en la Tabla No. II-12 en comparación con los valores medios determinados en las menas masivas. Los valores medios calculados para el NiO son casi constante en todas las espinelas, de igual manera se valora el contenido de MnO, siendo el mayor valor el de las litologías del complejo cumulativo máfico. Los contenidos de MnO se incluyen en el intervalo en los valores determinados para otros yacimientos cromíferos cubanos y extranjeros (Tablas No. II-2).

Entre los microcomponentes se distinguen los contenidos de  $\text{TiO}_2$  en las espinelas cromíferas accesorias en las harzburgitas serpentinizadas y las litologías del complejo máfico (troctolitas y gabros olivínicos).

La relación entre los contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  y los contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3\%$  en las espinelas cromíferas accesorias están representadas gráficamente (Fig. No. II-11), se delimitan dos campos bien definidos: 1) las harzburgitas serpentinizadas con bajo contenido de  $\text{TiO}_2$  ( $\text{TiO}_2 < 0,25\%$ ) a las que se asocian algunas muestras de menas y 2) las troctolitas y gabros olivínicos con muestras de espinelas cromíferas masivas con contenidos de  $\text{TiO}_2 > 0,25\%$ . Como se demuestra, queda bien definido el complejo cumulativo ultramáfico - **harzburgitas serpentinizadas** - del complejo cumulativo máfico - **gabros olivínicos y troctolitas** - manifestándose un incremento de  $\text{TiO}_2$  en los gabros olivínicos.

Complementariamente al análisis anterior se obtiene un resultado similar al estudiarse la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  y los contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  (Fig. No. II-12), donde se corrobora la distribución de las espinelas cromíferas accesorias, en las harzburgitas serpentinizadas, con bajo contenido de  $\text{TiO}_2$ , las que presentan un reducido intervalo ( $0,40 < \text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+} < 0,45$ ), es decir se ubican en el campo de las espinelas cromíferas podiformes.

La mayoría de las muestras de espinelas cromíferas accesorias de las litologías cumulativas máficas se distribuyen en el campo de las espinelas cromíferas estratiformes, llama la atención la distribución de varias muestras de gabros olivínicos alrededor del contenido  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+} = 0,50$  límite entre ambos campos; se trata de muestras cuyos contenidos de hierro casi duplican los contenidos de magnesio, se ubican además muestras de espinelas cromíferas masivas (menas), todas por encima de 0,25% de  $\text{TiO}_2$ . (Fig. No. II-12)

Al analizarse el #Mg y el #Cr en las espinelas cromíferas accesorias se pone de manifiesto: a) un intervalo muy restringido en el #Cr:  $0,4 < \text{\#Cr} < 0,6$  lo que corrobora la similitud de los contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en los diferentes tipos de espinelas, incluyendo a las menas propiamente dichas (Fig. No. II-13) y b) un intervalo amplio en el #Mg:  $0,35 < \text{\#Mg} < 0,77$  demostrando las amplias variaciones de los contenidos de hierro y magnesio en las espinelas cromíferas masivas y accesorias.

Es de singular importancia que las espinelas cromíferas accesorias en las harzburgitas serpentinizadas se distribuyen en el mismo campo que las espinelas cromíferas

accesorias del complejo máfico, demostrando que las harzburgitas serpentinizadas constituyen en el campo menífero del yacimiento “Cayo Guan” la litología transicional, junto con las dunitas enstatíticas, hacia las litologías del complejo cumulativo gabroide, tal como ha sido señalado por E. Fonseca al estudiar el área del yacimiento “Cayo Guan” (Fonseca, E. et al., 1991)<sup>33</sup>.

### Resultados Geoquímicos

1. Desde el punto de vista geoquímico se demuestra el carácter podiforme de las menas masivas del yacimiento “Cayo Guan” asociadas a los complejos ofiolíticos, no obstante, se comprueba en relación con los contenidos de FeO% y TiO<sub>2</sub>% cierta tendencia hacia el campo de las espinelas cromíferas asociadas a intrusiones estratiformes, lo que se demuestra en las relaciones: Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>% - TiO<sub>2</sub>% (Fig. No. II-5) y Fe<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup>-TiO<sub>2</sub>% (Fig. No. II-6).
2. Se utiliza, por primera vez, en el estudio de la mineralización cromífera, los contenidos de TiO<sub>2</sub> como indicador geoquímico, lo que ha facilitado argumentar el carácter genético de la mineralización cromífera en el yacimiento “Cayo Guan”.
3. Se calcularon varias relaciones geoquímicas, las que han facilitado el análisis de comportamiento de los macro y microcomponentes en las espinelas cromíferas y sus relaciones mutuas; asimismo, contribuyeron a establecer criterios geoquímicos sobre la génesis de la mineralización cromífera, entre ellas: cálculo del número de cationes bivalente y trivalentes en la celda cristalográfica unidad de la espinela cromífera,  $\#Cr = Cr^{3+} / (Cr^{3+} + Al^{3+})$ ,  $\#Mg = Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+})$ , Fe<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup>.
4. Mediante el estudio de la mineralización cromífera se ha corroborado el carácter refractario de las menas cromíferas del yacimiento “Cayo Guan”, afirmándose, junto a otros yacimientos de la región de Moa - Baracoa, como las menas más refractarias que se hayan explotado en el mundo, hasta la actualidad.
5. Se comprobó el papel activo del hierro durante el proceso de serpentización en los complejos ultramáficos y máficos, e inclusive, un incremento adicional del metal en las litologías del complejo ofiolítico y yacimientos minerales asociados debido a efectos hidrotermales-metasomáticos.
6. Se ha comprobado una amplia distribución de los contenidos de magnesio en las espinelas cromíferas accesorias en litologías de los complejos cumulativos máficos y ultramáficos, lo cual queda demostrado en las fórmulas cristalóquímicas y en las relaciones geoquímicas #Cr y #Mg.(Fig. No. II-13).

7. El empleo de la microsonda electrónica de barrido para la determinación de la composición química de las espinelas cromíferas masivas, ha permitido incrementar la precisión y confiabilidad de los resultados analíticos de los elementos químicos que integran las menas cromíferas. Estos resultados pueden ser utilizados para medir el grado de eficiencia industrial en la planta de beneficio de Punta Gorda. (Tabla No. II-2).
8. El procesamiento computarizado de los resultados analíticos de las espinelas cromíferas mediante la microscopía electrónica de barrido, permitió obtener el número de cationes bivalentes y trivalentes, facilitando la interpretación geoquímica y corroborando la identificación de la espinela cromífera, tal como se ejemplifica en las relación catiónica:  $\text{Fe}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$  (Fig. No. II-7 y Fig. No. II-8).
9. Se demuestra que las relaciones geoquímicas entre el número de cationes trivalentes principales de las espinelas cromíferas ( $\text{Cr}^{3+} - \text{Al}^{3+} - \text{Fe}^{3+}$ ) permite discriminar el origen primario de las menas, en función de las sustituciones mutuas. En las menas podiformes asociadas a los complejos ofiolíticos la sustitución se produce entre los cationes  $\text{Cr}^{3+} - \text{Al}^{3+}$  y el  $\text{Fe}^{3+}$  permanece con bajos valores y casi constante; tal como sucede en las menas masivas del yacimiento "Cayo Guan" (Fig. No. II-9), en cambio, si la sustitución se produce entre los cationes  $\text{Cr}^{3+} - \text{Fe}^{3+}$  y el  $\text{Al}^{3+}$  permanece casi constante y con bajos valores se está en presencia de espinelas cromíferas de génesis estratiforme.
10. En los microcomponentes:  $\text{TiO}_2 - \text{NiO} - \text{MnO}$  - de las espinelas cromíferas accesorias, los contenidos de sus respectivos metales se encuentran por encima del valor del clarke en los casos del níquel ( $\text{Ni}_{\text{clarke}} = 99,0 \text{ ppm.}$ ) y el manganeso ( $\text{Mn}_{\text{clarke}} = 1,060 \text{ ppm.}$ ). En el caso del titanio solo una muestra está por encima de la abundancia natural del metal ( $\text{Ti}_{\text{clarke}} = 6,320 \text{ ppm.}$ ).

## **CAPITULO III**

# **MINERALOGIA DE LAS MENAS CROMIFERAS DEL YACIMIENTO “POTOSI”**

### Capítulo III. Mineralogía de las Menas Cromíferas del Yacimiento “Potosí”

Introducción

Identificación de minerales metálicos

Paragénesis minerales

Orden de consecutividad de formación de las paragénesis minerales y sus modelos teóricos

Resultados mineralógicos.

#### Introducción

En el capítulo se recogen los resultados de las investigaciones mineralógicas llevadas a cabo durante los últimos años en las menas cromíferas del yacimiento “Potosí”, en las que se incluyen las menas cromíferas masivas, propiamente dichas, las menas cromíferas diseminadas, las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas y los minerales asociados.

Estudios iniciales de la composición mineralógica de las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí” y de algunas manifestaciones de este campo mineral fueron desarrollados en los años de la década de los sesenta por Kenarev (Kenarev, V., 1966)<sup>56</sup>. En años recientes, el autor realizó trabajos cuyos resultados han sido publicados en el país y en el extranjero. (Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M., 1992)<sup>79</sup>, (Muñoz Gómez, J.N., 1995)<sup>80</sup> y (Lewis, J.F. et al., 1996)<sup>74</sup>.

#### Identificación de Minerales metálicos

Las menas cromíferas del yacimiento “Potosí” fueron estudiadas mineralógicamente mediante técnicas mineragráficas tradicionales y por microscopía electrónica de barrido lo que permitió realizar una identificación precisa de los minerales asociados a la mineralización cromífera.

En las técnicas mineragráficas se emplearon:

- **Parámetros Ópticos:** Color, birreflexión, anisotropía - isotropía, reflejos internos.
- **Dureza y Microdureza:** Dureza Mohs y microdureza Vickers (**VHN**)
- **Capacidad de reflejo:** Determinaciones en el espectro visible, obtención de las curvas de dispersión de la capacidad de reflejo.

**Microscopía Electrónica de Barrido:** Determinaciones cualitativas y cuantitativas de la composición de los minerales. Se utilizó el siguiente haz de electrones: **2 OsLa1; 3Ira1; 4RuLa1; 15SKa1; 6CaKa1; 7Ka1; 8FeKa1 y 9 CrKa1.**

A continuación se expone la identificación de los minerales metálicos acompañantes a las espinelas cromíferas masivas, a las menas diseminadas y a las espinelas cromíferas asociadas a los diques de gabro-pegmatitas, especificándose los análisis realizados en cada mineral. La composición mineralógica de las menas es compleja y se caracteriza por la presencia de rutilo, minerales del grupo del platino y sulfuros asociados en paragénesis complejas.

La identificación de los minerales metálicos se expone en el siguiente orden:

- Espinela cromífera
- Rutilo
- Laurita - Erlichmanita
- Calcopirita
- Pirita
- Mackinawita
- Millerita
- Pentlandita
- Heazlewoodita
- Pirrotina

**Espinela cromífera:  $(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)_2O_4$**

**Parámetros ópticos:**

**Color:** gris, gris claro.

**Birreflexión:** Muy raramente se localizan muestras en que se manifiesta débil birreflexión anómala, probablemente relacionada con procesos tectónicos de dinamometamorfismo que hayan afectado a las espinelas cromíferas.

**Relación con la luz polarizada elíptica:** En todos los ensayos se manifiesta la isotropía, característica típica de las espinelas cromíferas.

**Reflejos Internos:** Estos se manifiestan ocasionalmente, sobre todo en los bordes de agregados independientes, se observan con mayor desarrollo si se emplean líquidos de inmersión, presentándose con matices desde el pardo al carmelita oscuro, carmelita - rojizo, destacándose mejor en las zonas de microfracturas.

**Capacidad de reflejo:** Se determinaron valores entre 10%-12%, se obtuvo un valor mínimo de 10,4% ( $\lambda= 700 \text{ nm}$ ) y un valor máximo de 12,8% ( $\lambda= 620 \text{ nm}$ ) y un valor medio de 11,4%; seguidamente se relacionan los valores obtenidos:

Tabla No. III-1 Valores de la capacidad de reflejo (R%) de la espinela cromífera.(\*) Muestra m-36-a. (\*\*). Datos de la curva patrón.[Valores medios de Ramdohr y Uytenbogaardt]. (Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>, (Uytenbogaardt, W., 1971)<sup>117</sup>. Todas las determinaciones realizadas por el microespectrofotómetro FMV-4001. En lo adelante, en el texto, todas las determinaciones de la capacidad de reflejo (R%) están referidas al patrón internacional de silicio puro (Si= 99,9999%) [  $\lambda=486(\text{nm})$ , R=39,4%;  $\lambda=551(\text{nm})$ , R=36,6%;  $\lambda=589(\text{nm})$ , R=35,2%;  $\lambda=656(\text{nm})$ , R=34,0% ]. [  $\lambda(\text{nm})$ -longitud de onda del espectro visible, en nanómetros ].

$\lambda$ (nm)	R(%)(*)	$\lambda$ (nm)(**)	R(%)
460	11.4	460	10.6
500	12.6	500	12.4
540	11.2	540	12.1
580	10.8	580	11.0
620	12.8	620	12.4
660	11.0	660	11.6
700	10.4	700	10.8

A partir de los datos obtenidos de la capacidad de reflejo (R%) se obtuvo la curva de dispersión de la capacidad de reflejo en comparación con la curva patrón de la espinela cromífera, tal como se representa gráficamente.

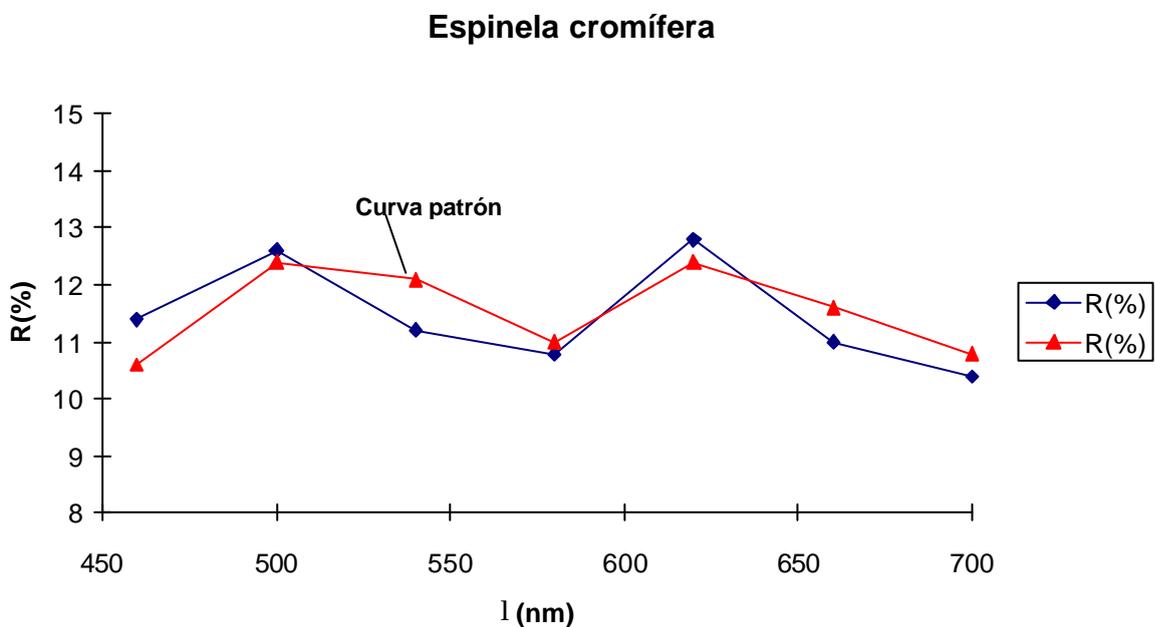


Fig. No. III-1 Curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la espinela cromífera en comparación con la curva patrón (Valores medios de Ramdohr y Uytenbogaardt) (Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup> y (Uytenbogaardt, W., 1971)<sup>117</sup>.

## Dureza y Microdureza

Todos los ensayos realizados, tanto los de dureza Mohs como los de microdureza Vickers se encuentran dentro de los intervalos internacionales para la espinela cromífera, citados por Uytenbogaardt (Uytenbogaardt, W.,1971)<sup>17</sup>. De acuerdo al análisis estadístico el valor máximo es de 1924 (Kg/mm<sup>2</sup>), el valor mínimo de 1759,5 (Kg/mm<sup>2</sup>) y el valor medio de 1831,4 ( kg/mm<sup>2</sup> ).

Tabla No. III-2 Resultados de los ensayos de microdureza Vickers (VHN) en la espinela cromífera de las menas masivas del yacimiento "Potosí", Moa. Muestras: PS-6; PS-10; PS-12; PS-18; PS-24a; PS-36a-b; PS-38e; PS-41a; PS-43a-b. (\*) Todos los ensayos realizados por el microdurómetro PMT-3 ( t= 15 seg.; P=100g.)

No. de Ensayos	VHN (kg/mm <sup>2</sup> )
1	1893.41
2	1765.36
3	1924.50
4	1871,55
5	1798.24
6	1786.52
7	1852.16
8	1759.55
9	1827.44
10	1835.48

Las espinelas cromíferas masivas fueron identificadas por microscopía electrónica de barrido, algunos de esos resultados analíticos han sido publicados (Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M., 1992)<sup>79</sup>.

Tabla No. III-3 Resultados analíticos de las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa. Microscopía Electrónica de Barrido. (Instituto de Geología de los Yacimientos Minerales, Geoquímica, Petrología y Mineralogía de la Academia de Ciencias de la ex-URSS, Moscú).

Muestras	FeO %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	MnO %	MgO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	NiO %	Total %
P-36-a	18.4	44.94	1.93	0.27	12.81	23.37	0.08	101.8
P-36-b	18.66	42.45	0.54	0.31	14.56	23.14	0.11	99.77
P-36-c	18.99	42.62	0.44	0.24	14.08	23.43	0.1	99.9
P-36-d	18.89	41.14	0.58	0.12	14.56	24.58	0.15	100.02
P-40-2a	27.51	38.01	1.86	0.18	11.01	19.9	0	98.47
P-40-2b	26.25	38.73	1.64	0.18	10.94	20.62	0	98.36
P-40-2c	26.44	38.38	1.68	0.38	10.9	20.33	0	98.11
P-40-2d	27.61	37.78	1.2	0.32	11.49	20.21	0	98.61
P-40-2e	25.47	38.49	1.35	0.29	11.45	21.11	0	98.16
P-40-3	28.17	38.29	2.24	0.37	10.85	18.88	0	98.8
P-45-1-1	18.52	39.84	0.27	0.27	15.19	25.84	0	99.93
P-45-1-2	18	39.02	0.41	0.28	15.23	26.36	0	99.3
P-45-1-3	17.9	39.76	0.34	0.26	14.96	26.09	0	99.31
P-45-2-2	18.49	40.31	0.35	0.35	14.21	25.88	0	99.59

El análisis de la composición de las menas masivas serán tratadas más adelante, así como sus rasgos geoquímicos más significativos, a continuación se recoge una microfotografía de una mena masiva.

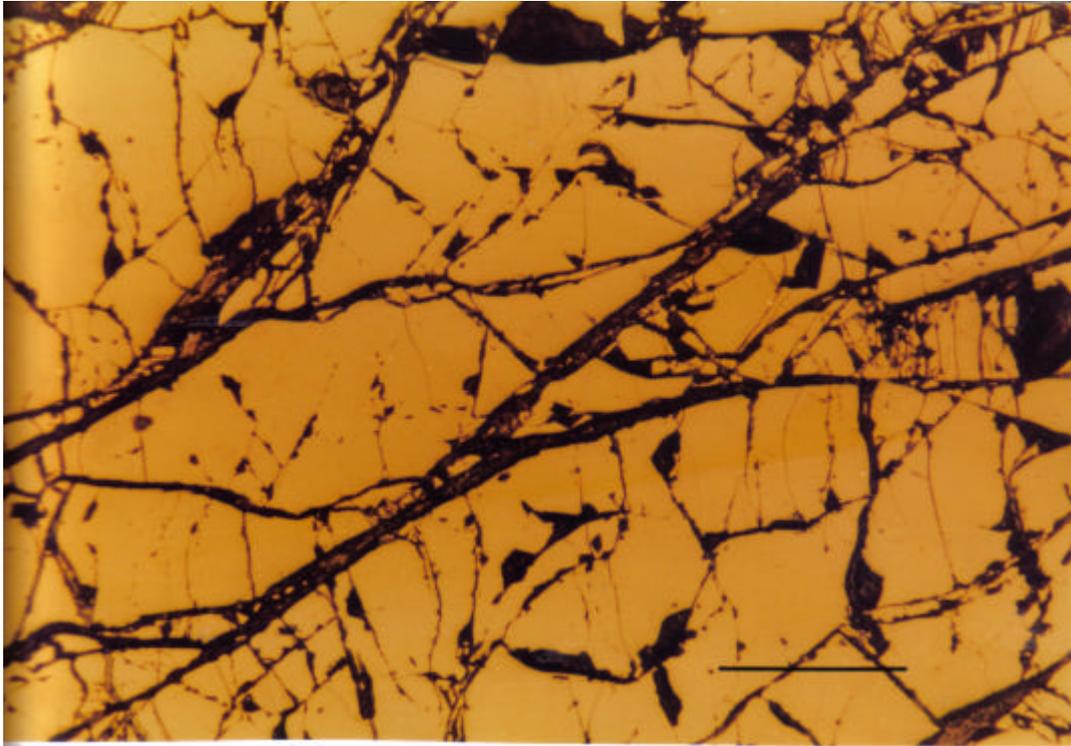


Fig. No. III-2. Microfotografía. Muestra PS-18. Mena cromífera masiva, yacimiento "Potosí", Moa. Aumento 200x. En aire. Nícoles cruzados. (JENAPOL-U). Longitud de la barra: 200 micrones.

### Rutilo $\text{TiO}_2$

De acuerdo a los contenidos de  $\text{TiO}_2$  reportados por los análisis de microscopía electrónica de barrido (Tabla No. III-3), el mineral se encuentra en el seno de las espinelas cromíferas masivas o en los sistemas de microagrietamiento de las menas; así como en las espinelas cromíferas que se localizan en los diques de gabropegmatitas, por lo que se deduce que antes de cristalizar el fundido cromítico se segregaron cristales idiomórficos de rutilo de forma acicular, el cual por su carácter primario, denominado **rutilo-I** y en el caso de los rutilos segregados en los sistemas de microagrietamiento de las espinelas cromíferas, denominado como **rutilo-II**, de formación evidentemente posterior.

Los cristales de **rutilo-I** se manifiestan bien formados, aciculares, con dimensiones que oscilan entre 45-50 $\mu$ m (micrones) hasta 2,6mm., presentándose raramente cristales xenomórficos.

En algunas secciones pulidas se identificaron finísimas agujas de rutilo-I dispersas en el seno de los agregados cromíticos, sin orientación predominante, las dimensiones de las agujas varían entre los primeros micrones de longitud (de 5 hasta 10 micrones) y se interpretan como una variedad de las texturas de descomposición de soluciones sólidas entre las espinelas cromíferas (componente principal) y el rutilo-I (componente secundario), la mencionada textura fue reportada por primera vez en investigaciones desarrolladas por P. Ramdorh y Schniederhölm (Ramdorh, P., 1980)<sup>98</sup>.

La existencia del rutilo se identificó a través de las técnicas minerográficas y por microsonda electrónica de barrido:

### **Minerografía**

#### **Parámetros ópticos:**

**Color:** Gris claro (más claro que el gris de la espinela cromífera)

**Birreflexión:** No se manifiesta.

**Relación con la luz polarizada elíptica:** No se manifiesta, debido al enmascaramiento que le producen los intensos reflejos internos.

**Reflejos internos:** Intensos, se manifiestan en toda la superficie del mineral, rojos, naranjas y pardos oscuros.

**Capacidad de reflejo:** Valores entre 22,4% ( $\lambda=660\text{nm}$ ) y 19,3% ( $\lambda=580\text{nm}$ ), los que representan los valores máximos y mínimos.

Los valores obtenidos por el microespectrofotómetro se exponen a continuación, así como la curva de dispersión obtenida a partir de esos resultados.

Tabla No. III-4 Valores de la capacidad de reflejo (R%) del rutilo en el espectro visible. (\*)-Muestra: PS-30b; (\*\*) Datos de la curva patrón. (Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vjalsov, citados en Ramdorh) ( Ramdorhr, P., 1980)<sup>98</sup>.

(\*) Todas las determinaciones con el microespectrofotómetro MFV-4001.

l (nm)	R(%)(*)	l (nm)	R(%)(**)
460	20.4	460	21.6
500	19.9	500	20.4
540	20.1	540	22.6
580	19.3	580	18.4
620	19.8	620	21.2
660	22.4	660	24.5
700	21.7	700	22.2

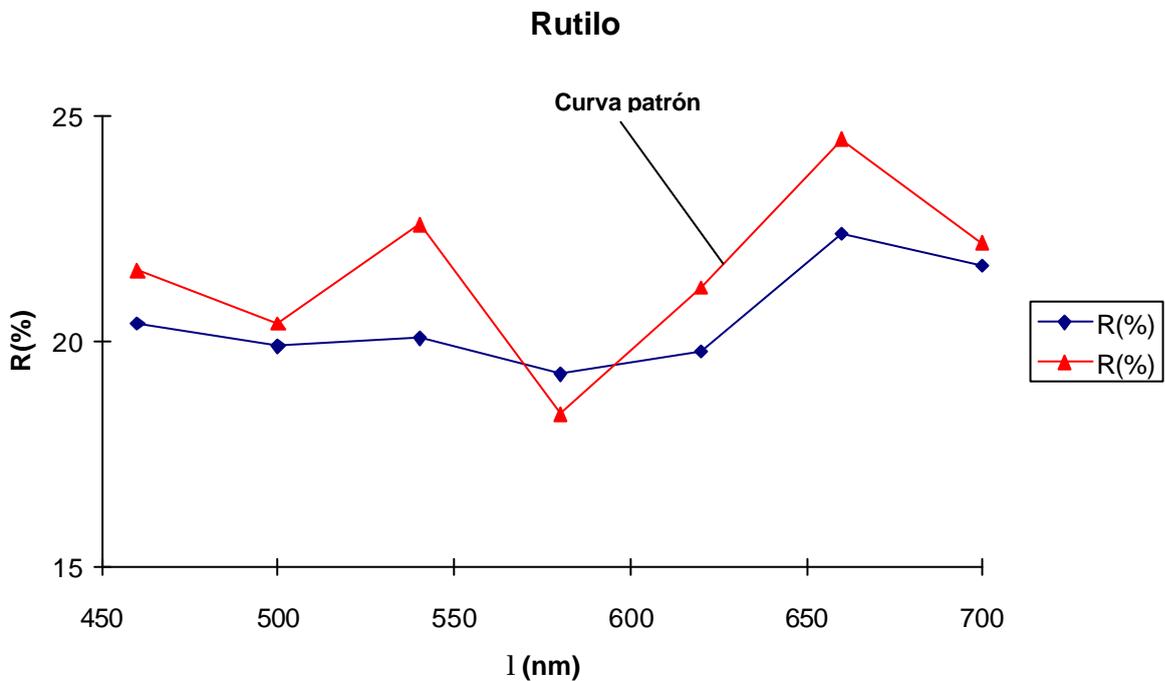


Fig. No. III-3 Curva de dispersión de la capacidad de reflejo del rutilo en las menas cromíferas del yacimiento “Potosí”, en comparación con la curva patrón. (Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vjalsov, citados en Ramdorh) ( Ramdorhr, P., 1980)<sup>98</sup>.

### Microdureza

En el caso del rutilo (tanto el rutilo-I como el rutilo-II), no fue posible realizar la medición de la dureza Mohs en las muestras, debido a las dimensiones pequeñas de los cristales del mineral, es por ello que solo se exponen los resultados de los ensayos de microdureza Vickers (VHN):

Tabla No. III-5 Resultados de los ensayos de microdureza Vickers (VHN) de rutilos en las menas cromíferas masivas. Yacimiento "Potosí", Moa. (\*). Muestras: PS-6; PS-10; PS-12; PS-18; PS-24a; PS-36a,b; PS-44a; PS-43a,b.

(\*). Todos los ensayos realizados con el microdurómetro PMT-3 ( t=15 seg; P= 100g.)

No. de Ensayos	VHN ( kg/mm <sup>2</sup> )
1	1854.1
2	1236.62
3	1324.25
4	1328.64
5	1434.62
6	916.8
7	1084.35
8	1185.62
9	976.18
10	1423.77

El valor medio calculado es de  $VHN_{100} = 1276,49 \text{ kg/mm}^2$ , valor máximo  $VHN_{100} = 1854,10 \text{ Kg/mm}^2$  y el mínimo de  $VHN_{100} = 916,80 \text{ kg/mm}^2$ , todos los valores calculados, con excepción del ensayo No.6 ( $VHN_{100} = 916,80 \text{ kg/mm}^2$ ) se encuentran en los rangos internacionalmente reconocidos tales como los publicados por Uytendogaardt y Ramdorhr (Uytendogaardt, W., 1971)<sup>117</sup>, (Ramdorhr, P., 1980)<sup>98</sup>, y Spray (Spray, P.G. and Gedlinske, B.L.,1987)<sup>106</sup>.

#### Microsonda electrónica de barrido

La identificación del rutilo existente en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" se realizó por microscopía electrónica de barrido, se ensayaron tres muestras, cuyos resultados se exponen en la tabla No.III-6

Tabla No. III-6 Resultados analíticos de microscopía electrónica de barrido en rutilo: I-II en espinelas cromíferas del yacimiento "Potosí", Moa. (\*) Análisis Realizados en el Instituto de los Yacimientos Minerales, Geoquímica, Petrología y Mineralogía de la Academia de Ciencias de la ex-URSS.

Muestra	FeO%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	MnO%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO%	Total
P - 32	1.4	0.75	96.25	-	0.35	0.40	99.15
P - 40 - 1	0.19	0.27	99.21	-	0.21	-	99.98
P - 40 - 2	0.21	2.62	99.62	-	0.19	-	100.20

Desde el punto de vista mineralógico, se destaca la importancia de los resultados analíticos, los que corroboran la existencia del rutilo libre en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" y en las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas. Del tratamiento ulterior de esos resultados se elaboraron las fórmulas

cristaloquímicas de la celda unidad para cada una de las tres muestras ensayadas: (Disther, et al., 1989)<sup>28</sup>, ( Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M.,1992)<sup>79</sup>.

Fórmulas cristaloquímicas correspondientes a los ensayos de microscopía electrónica de barrido:

**Muestra: P-32 ( Fe<sub>0,02</sub> Cr<sub>0,005</sub> Mg<sub>0,01</sub> Al<sub>0,01</sub> Ti<sub>0,962</sub> )<sub>S=1,040</sub> O<sub>2,01</sub> [\*]**

**Muestra: P-40-1 ( Fe<sub>0,002</sub> Cr<sub>0,001</sub> Al<sub>0,002</sub> Ti<sub>0,995</sub> )<sub>S=1,0</sub> O<sub>2,001</sub> [\*]**

**Muestra: P-40-2 ( Fe<sub>0,003</sub> Cr<sub>0,018</sub> Mn<sub>0,005</sub> Al<sub>0,002</sub> Ti<sub>0,972</sub> )<sub>S=1,0</sub> O<sub>2,01</sub> [\*\*]**

Las muestras marcadas [\*] y [\*\*] representan a cristales de rutilo-I y rutilo-II respectivamente

En la microfotografía se observan a continuación las relaciones entre el rutilo ( II ) y las espinelas cromíferas:

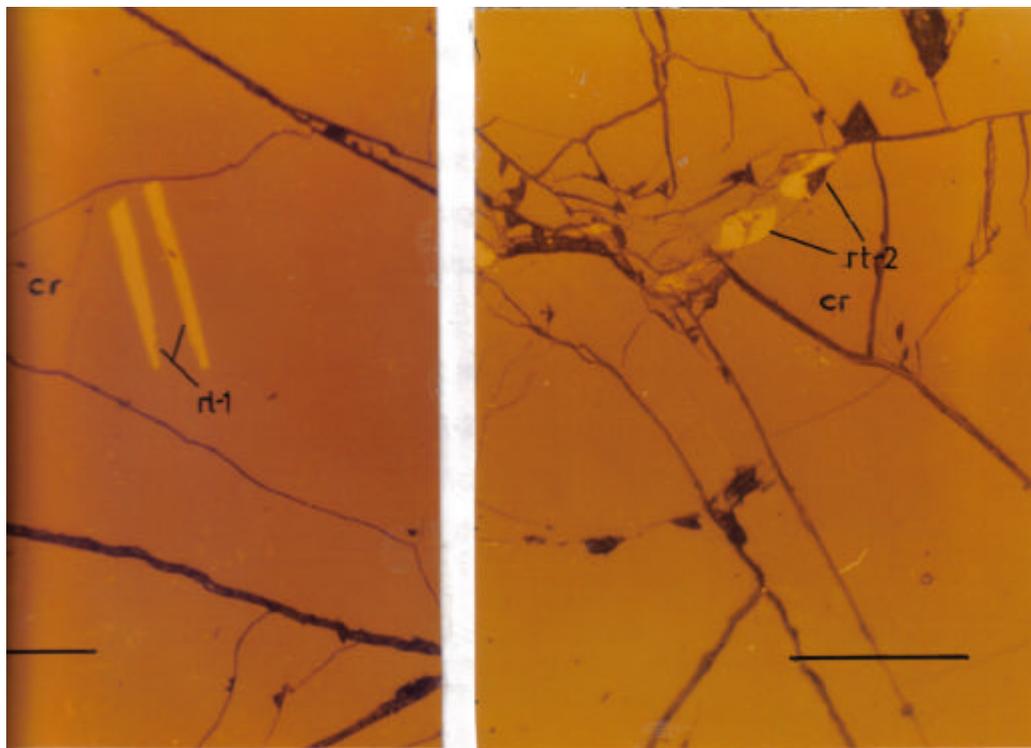


Fig. No. III-4 Microfotografía. Muestra PS-45 Cristales idiomórficos de rutilo-I y rutilo-II en microgrietas de los agregados cromíticos. Luz reflejada; en aire; 200x; JENAPOL-U. [rt-1 - rutilo-I, rt-2 - rutilo-II, cr- espinela cromífera]. Longitud de la barra: 200 micrones.

#### Laurita - Erlichmanita: RuS<sub>2</sub> -OsS<sub>2</sub>

La laurita-erlichmanita constituyen una serie isomorfa entre el disulfuro de rutenio y disulfuro de osmio, ambos minerales representan los extremos de la serie, en correspondencia a lo expuesto por Sntsingher y Leonard et.al. (Snetsinger, K.G.,1971)<sup>103</sup> y (Leonard, B.G. et al., 1969)<sup>75</sup>, en realidad, lo que existe es una mezcla continua entre

ambos sulfuros, en ocasiones incluye el disulfuro de iridio, unas veces se manifiesta con mayor contenido de rutenio (**laurita**), y otras con mayor contenido de osmio (**erlichmanita**), predominando la primera; ambos minerales representan la forma de existencia de los minerales del grupo del platino en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", los que fueron identificados por medio de microscopía electrónica de barrido, no lográndose obtener los parámetros ópticos por las técnicas minera-gráficas, debido fundamentalmente a las dimensiones de los minerales del grupo del platino; excepto con el análisis de la capacidad de reflejo (R%).

Las fases mineralógicas de los disulfuros de rutenio y osmio no solo fueron detectadas en las menas cromíferas masivas, sino además en los sulfuros primarios - **calcopirita-pirrotina-pentlandita** - las dimensiones de los minerales identificados varían entre los 8-12 $\mu$ m (micrones), raramente se identificaron lauritas de 50-75 $\mu$ m.

En la muestra **PS-24** correspondiente a las menas cromíferas masivas se obtuvo el siguiente resultado analítico a través de la microscopía electrónica de barrido. (Disther, V.V. et al, 1989)<sup>27</sup>, (Muñoz Gómez J.N. y Campos Dueñas M., 1992)<sup>79</sup>. La asociación de la serie **laurita-erlichmanita** aquí expuesta es muy similar a la reportada por Ohnenstetter, en Blind River Sill, Manitoba. (Ohnenstetter, D., et al., 1982)<sup>91</sup>.

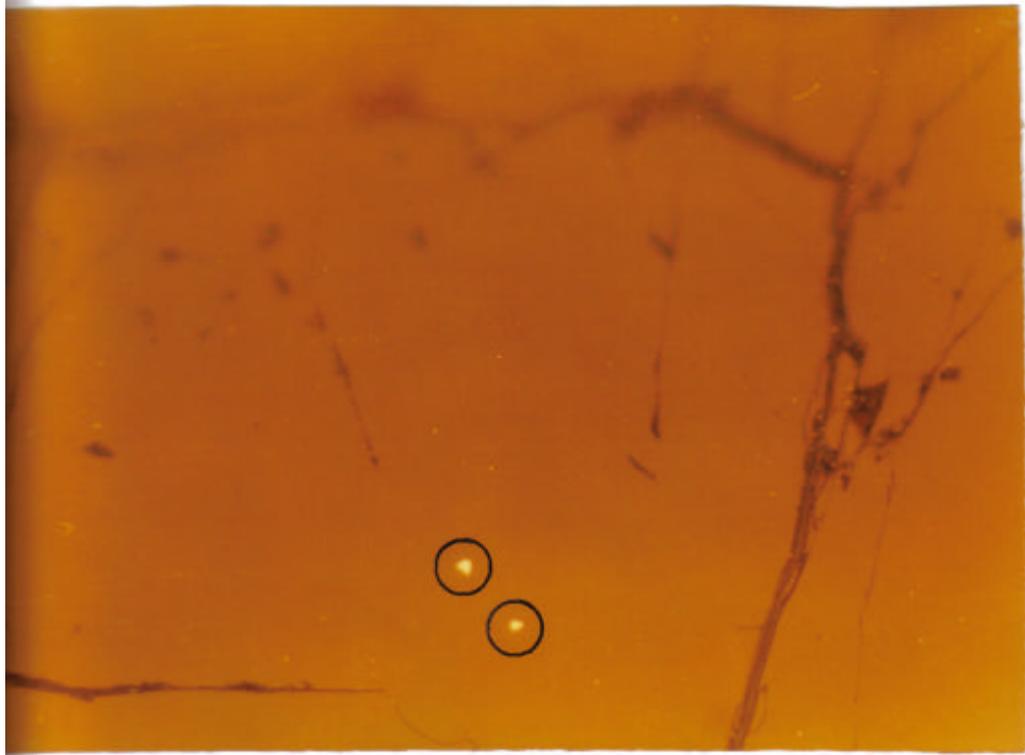
Muestra: **PS-24: Ru= 41,22%; Os= 16,42%; Ir= 5,60%; Rh= 1,49% y S= 35,26%**

Obteniéndose la fórmula cristaloquímica: **PS-24- ( Ru<sub>0,75</sub> Os<sub>0,16</sub> Ir<sub>0,05</sub> Rh<sub>0,03</sub> )<sub>S=0,99</sub> S<sub>2,01</sub>**

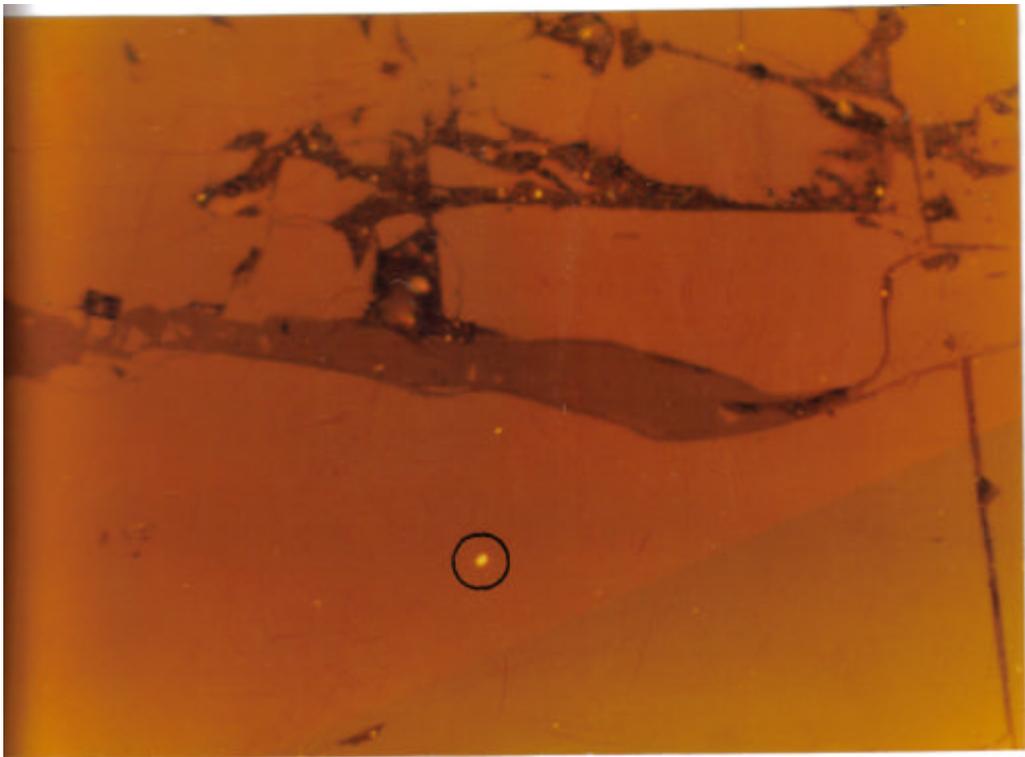
La laurita fue identificada mediante las mediciones de la capacidad de reflejo (R%) en el espectro visible y la obtención de la curva de dispersión de la capacidad de reflejo.

**Tabla No. III-7 Resultados de la capacidad de reflejo ( R%) de la laurita-erlichmanita en el espectro visible. (\*) y (\*\*) representan los valores obtenidos y los valores medios de la curva patrón, respectivamente. Tomado de Cabri (Cabri, J.L., 1981)<sup>16</sup>. Todas las determinaciones realizadas con el microespectrofotómetro MFV-4001.**

l (nm)	R(%)(*)	l (nm)	R(%)(**)
460	47.8	460	48.3
500	46.6	500	45.3
540	43.7	540	44.4
580	38.6	580	40.6
620	36.8	620	38.9
660	37.4	660	39.2
700	36.2	700	38.4



**Fig. No. III-5** Microfotografía. Laurita - erlichmanita en espinela cromífera masiva del yacimiento "Potosí", Moa. Aumento 500x; en aire. JENAPOL - U. Dimensiones de los agregados: 8,8 y 5,1 micrones.



**Fig. No. III-6** Microfotografía. Laurita - erlichmanita en espinela cromífera de los diques de gabro - pegmatitas. Yacimiento "Potosí", Moa. Aumento 500x; en aire. JENAPOL - U. Dimensión del agregado 7,6 micrones.

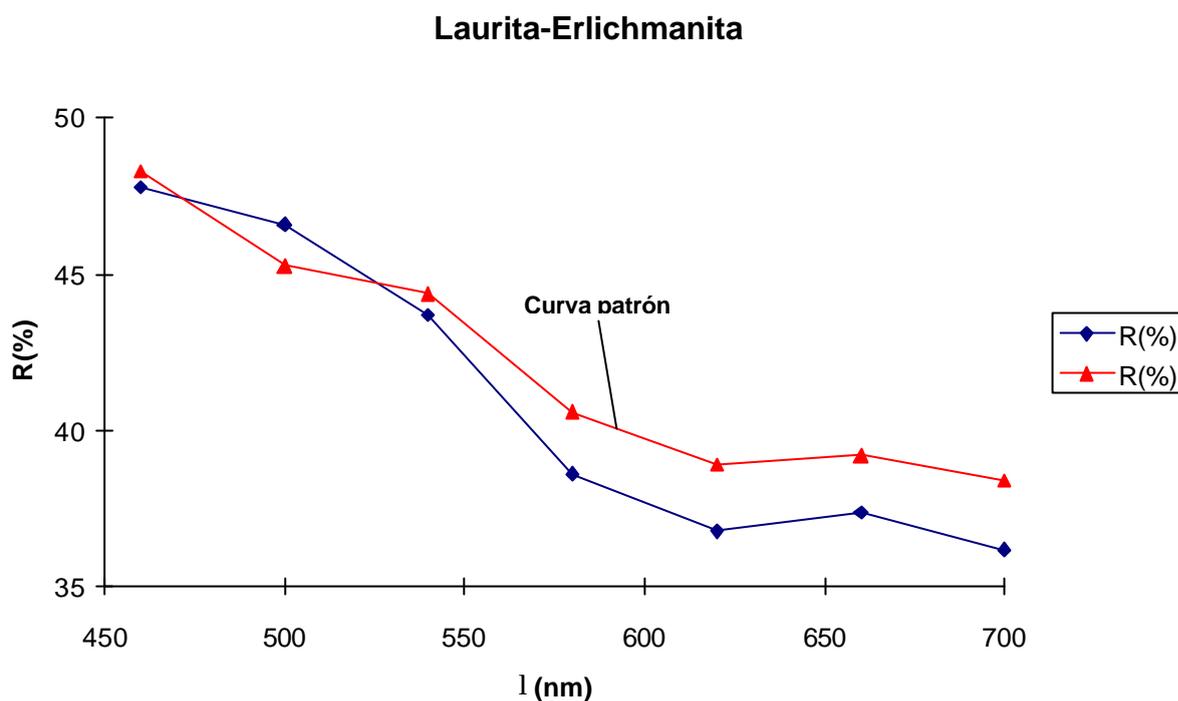


Fig. No. III-7 Curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la laurita-erlichmanita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. Comparado con la curva patrón. (Valores tomado de Cabri. (Cabri, J.L., 1981)<sup>16</sup>.

La mineralización platinífera en el yacimiento “Potosí”, está representada, además de lo expuesto, por la presencia de platino nativo, identificado durante los trabajos realizados por Kenarev (1966)<sup>56</sup> y Stranova donde se expone: “... *en las zonas periféricas de los cristales de espinelas de cromo que forman el mineral, de vez en cuando se observan diseminaciones (que miden milésimas de mm) de platino puro en forma de emulsión...*”(pág.4), (Kenarev, V.I., 1966)<sup>56</sup>; asociación mineralógica muy similar a la identificada por Christian y Johan al estudiar las menas cromíferas masivas del UG-2 en Bushveld, Africa del Sur (Christian, H.M. and Johan, D., 1982)<sup>20</sup>, y a las reportadas por Talkilton al estudiar la presencia de los elementos del platino en Stillwater, Montana. (Talkilton, R. W. and Lipin, B. R., 1986)<sup>116</sup>.

### Calcopirita: $\text{CuFeS}_2$

La calcopirita es uno de los sulfuros primarios localizados en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí” y se presenta bien en inclusiones en el seno de los agregados cromíticos, así como en los sistemas de microgrietas de las espinelas, junto

a otros sulfuros. La calcopirita fue identificada a través de los métodos y técnicas minerográficas y no por microscopía electrónica de barrido.

### Parámetros Ópticos

**Color:** Amarillo, amarillo claro, presenta un buen pulido.

**Birreflexión:** Se manifiesta en las determinaciones en aire; mucho mejor en inmersión.

**Relación con la luz polarizada elíptica:** Se manifiesta débilmente; como un ligero descenso de la intensidad de la tonalidad del amarillo, produciéndose cada 45° de giro de la platina del microscopio.

**Reflejos internos:** No se manifiestan, mineral completamente opaco.

**Capacidad de reflejo:** Se determinaron valores entre  $R = 49.6\%$  ( $\lambda = 700\mu\text{m}$ ) y  $R = 34,6\%$  ( $\lambda = 460\mu\text{m}$ ) los que se corresponden con los valores máximos y mínimos respectivamente.

En la tabla III-8 se exponen los valores obtenidos de los ensayos del microespectrofotómetro ocular, así como la curva de dispersión de la capacidad de reflejo comparada con la curva patrón.

**Tabla III-8 Valores de la capacidad de reflejo (R%) de la calcopirita en el espectro visible.**

(\*) - Muestra: PS-18. (\*\*) Datos de la curva patrón. Valores medios de Besmertnaya, Picot, Vlasov; citados en Ramdohr (1980)<sup>98</sup> y Uytenbogaardt (1971)<sup>117</sup>. Todas las determinaciones realizadas con el microespectrofotómetro MFV-4001.

l (nm)	R(%)(*)	l (nm)	R(%)(**)
460	34.6	460	32.5
500	45.4	500	42.1
540	44.8	540	47.1
580	46.4	580	49.2
620	46.9	620	48.7
660	48.2	660	48.4
700	49.6	700	48.5

En el caso específico de la calcopirita para establecer los valores usados en la curva patrón se tomaron y se promediaron los datos de la literatura especializada entre ellos los publicados por Ramdohr y Uytenbogaardt (Ramdohr, P., 1989)<sup>98</sup>; (Uytenbogaardt, W., 1971)<sup>117</sup> y (Spray, P.G. and Gedlinske, B.L., 1987)<sup>106</sup>.

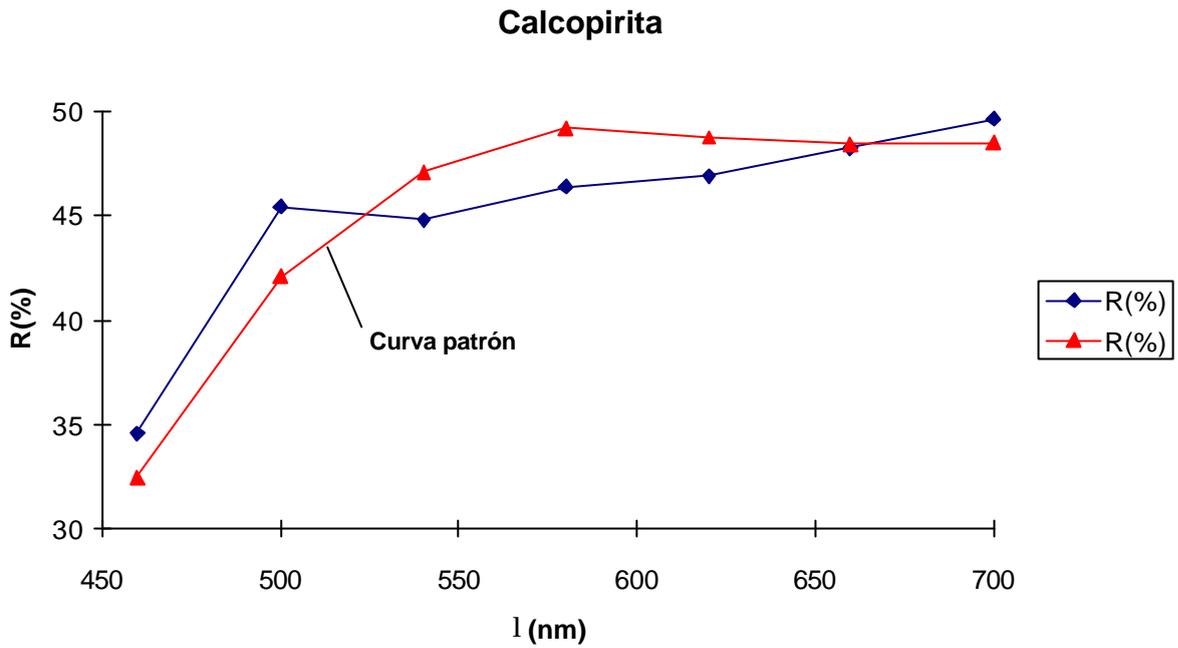


Fig. No. III-8 Curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la calcopirita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. Comparada con la curva patrón. Valores medios de Besmertnaya, Picot, Vlasov; citados en Ramdohr y Uytenbogaardt. (Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>, (Uytenbogaardt, W., and Burke, E.A.J., 1971)<sup>117</sup> y (Spray, P.G. and Gedlinske, B.L., 1987)<sup>106</sup>.

### Microdureza

La calcopirita se ensayó, para su identificación, mediante la metodología de la microdureza Vickers (**VHN**), obteniéndose resultados que se corresponden con los intervalos de microdureza calculados internacionalmente, tales como los de Spray y Galinske (Spray, P.G. and Gedlinske, B.L., 1987)<sup>106</sup>. El valor máximo 273,94 Kg/mm<sup>2</sup>, el mínimo de 183,19 kg/mm<sup>2</sup> y el valor medio calculado de 217,64 Kg/mm<sup>2</sup>.

Tabla No. III-9 Resultados de los ensayos de microdureza Vickers (VHN) en calcopiritas de las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. (\*) Todos los ensayos realizados con el microdurómetro PTM-3 (t=15 seg.; P=100g.).

No. de Ensayos	VHN ( Kg/mm <sup>2</sup> )
1	183.19
2	198.21
3	189.28
4	273.94
5	197.23
6	219.18
7	226.14
8	211.54
9	245.83
10	231.87

**Pirita- FeS<sub>2</sub>**

Constituye el segundo mineral sulfuroso más abundante, después de la pirrotina, asociado a la mineralización cromífera; significando el hecho de que su génesis es posterior a la cristalización de la mineralización cromítica, localizándose en los sistemas de microagrietamiento de las espinelas cromíferas, así como en los diques de gabro-pegmatitas, junto a otros sulfuros. La pirita fue identificada a través del empleo de las técnicas minerográficas.

**Parámetros Ópticos:**

**Color:** Amarillo blancuzco, amarillo claro (incide mucho en su color el mineral metálico que se encuentra en contacto).

**Birreflexión:** No presenta (ni en aire ni en inmersión).

**Relación con la luz polarizada elíptica:** Isotrópica, algunos especímenes muestran una débil anisotropía anómala, debido probablemente a esfuerzos provocados por el dinamometamorfismo.

**Reflejos Internos:** No presenta, mineral completamente opaco.

**Capacidad de reflejo:** Se obtuvieron valores de  $R = 56,4\%$  ( $\lambda = 660\text{nm}$ ) y  $R = 45,8\%$  ( $\lambda = 460\text{nm}$ ), los cuales se corresponden con los valores máximos y mínimos respectivamente, el valor medio calculado  $R = 53,6\%$ , ( $\lambda = 620\text{nm}$ ).

**Tabla No. III-10 Valores de la capacidad de reflejo (R%) de la pirita en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" y en los diques de gabro-pegmatitas. Muestra: PS-8. (\*) Valores obtenidos por el microespectrofotómetro ocular MFV-4001. (\*\*) Valores medios de la curva patrón.**

l (nm)	R(%)(*)	l (nm)	R(%)(**)
460	45.8	460	45.5
500	53.6	500	51.3
540	55.2	540	53.8
580	54.9	580	55,2
620	53.7	620	55.5
660	56.4	660	56.6
700	55.8	700	57

A continuación se expone la curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la pirita basada en los datos anteriores:

**Microdureza**

Se efectuó un número alto de ensayos de microdureza Vickers en las piritas vinculadas con la mineralización cromítica, obteniéndose resultados que se corresponden con los calculados internacionalmente, (Uytenbogaardt, W., 1971)<sup>94</sup>.

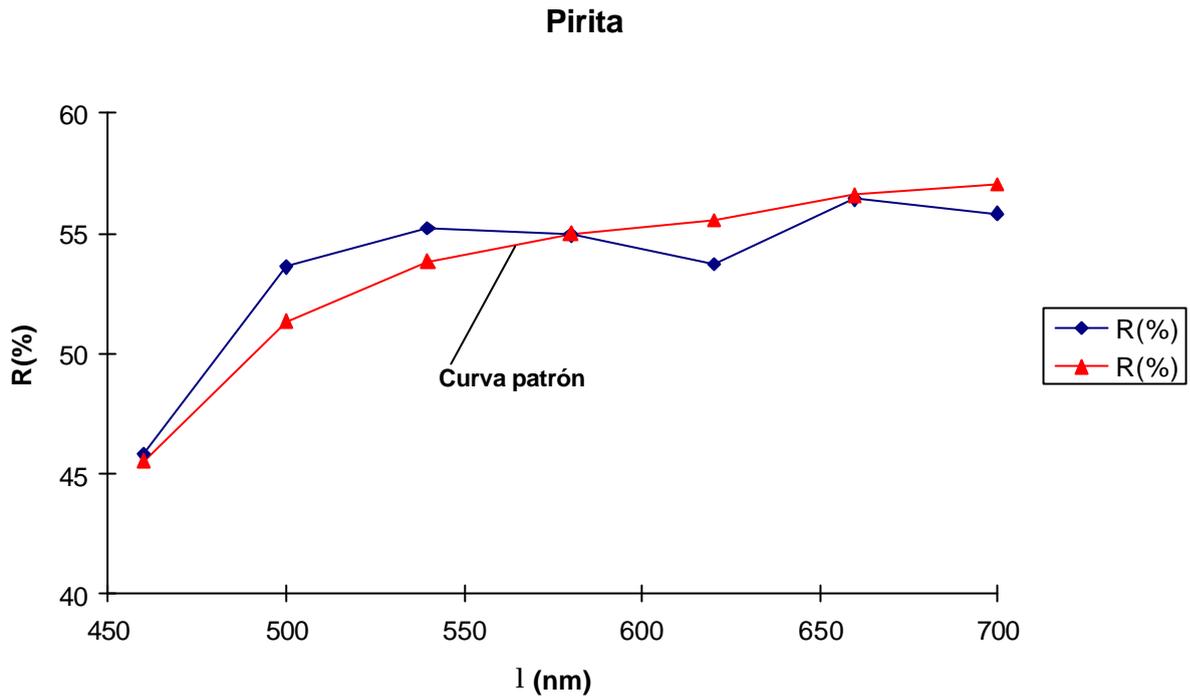


Fig. No. III-9 Curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la pirita en las menas cromíferas masivas y en las gabro-pegmatitas del yacimiento “Potosí”, Moa. Comparada con la curva patrón. Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vlasov, citados por Ramdohr (Ramdohr, P.,1989)<sup>98</sup>.

Los valores determinados en las piritas fueron publicadas por el autor y Campos (Muñoz Gómez, J.N. y Campos Dueñas, M.,1992)<sup>79</sup>. El valor máximo calculado es de  $VHN_{100} = 1206,43$  (  $Kg/mm^2$  ); el valor mínimo  $VHN_{100} = 1014,27$  y el valor medio calculado  $VHN_{100} = 1132,027$  (  $Kg/mm^2$  ).

Tabla No. III-11 Resultados de los ensayos de microdureza (VHN) de piritas en las menas cromíferas masivas y gabro-pegmatitas del yacimiento “Potosí”, Moa. (\*). Muestras: PS-4; PS-20; PS-28<sup>a</sup>. (\*) Todos los ensayos realizados con el microdurómetro PMT-3 (t=15 seg.; P= 100g).

No. de Ensayos	VHN ( $Kg/mm^2$ )
1	1193.67
2	1014.27
3	1154.21
4	1206.43
5	1178.25
6	1056.93
7	1179.23
8	1194.23
9	1024.41
10	1118.64

### Mackinawita - FeS ó ( Fe, Ni, Co,...)S

La mackinawita es un sulfuro de hierro poco abundante, siendo notificado en asociaciones similares a la que aquí se reporta la analizada por Chamberlain y Delabio en la intrusión Muskov, Canadá (Chamberlain, J.A. and Delabio, R.N., 1965)<sup>19</sup>, en el caso específico de las menas cromíferas de “Potosí” se encuentran en las microgrietas de las espinelas cromíferas y en los olivinos y piroxenos serpentinizados. La mackinawita es un sulfuro formando durante el proceso de serpentización de los complejos máficos y ultramáficos; en ese sentido P. Ramdohr lo considera como un mineral típico formado durante el proceso de serpentización de los complejos máficos y ultramáficos y es un indicador de ese proceso (Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>; criterios similares fueron expresados por Goldschmidt. (Goldschmidt, V.M., 1972)<sup>40</sup>.

La mackinawita se identificó mediante las técnicas mineragráficas:

#### Parámetros Ópticos:

**Color:** Crema pálido (varía mucho sus tonalidades en función de los minerales que se encuentran en contacto).

**Birreflexión:** Débil, aunque se manifiesta; se ensayó una muestra en inmersión, presentando débil tonalidad violeta.

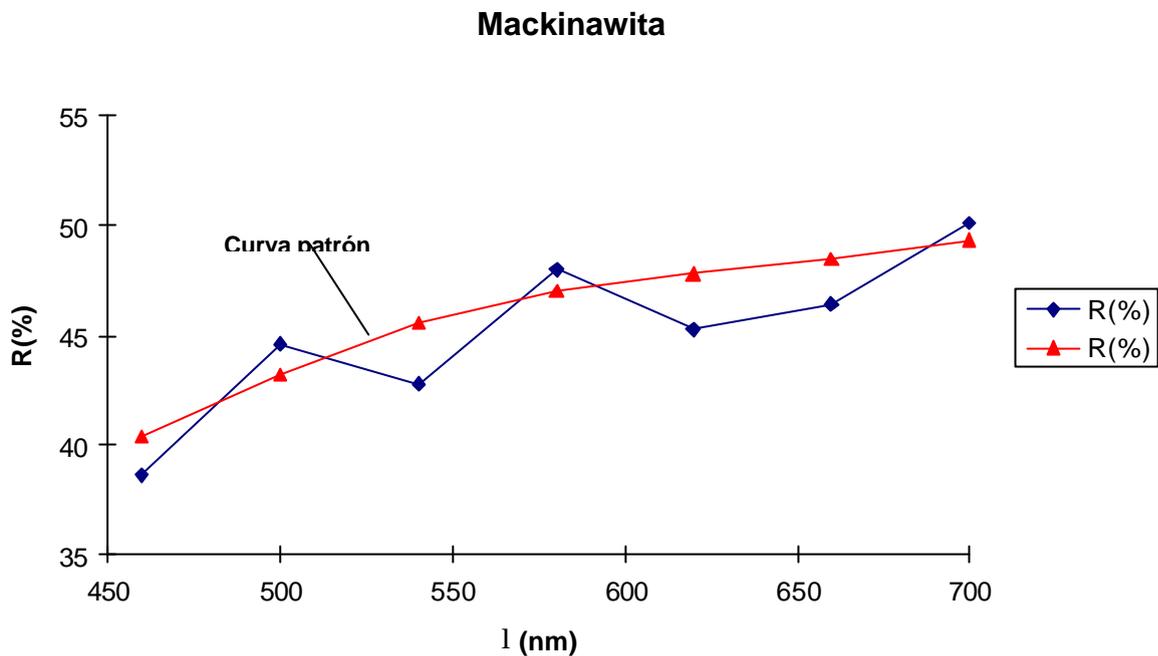
**Relación con la luz polarizada elíptica:** Muy anisotrópica, se manifiesta con alta intensidad, presentando cambios de tonalidades desde el gris hasta verde-azuloso.

**Capacidad de reflejo:** De los resultados del microespectrofotómetro ocular se obtuvo un valor máximo de R= 50,1% ( $\lambda= 700\text{nm}$ ) y un valor mínimo de R= 38,6% ( $\lambda= 460\text{nm}$ ), en sentido general, se aprecia un incremento de la capacidad de reflejo del mineral con el incremento de la longitud de onda de luz monocromática incidente en el espectro visible.

**Tabla No. III-12 Valores de la capacidad de reflejo (R%) de la mackinawita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. (\*) Cálculos realizados con el micro-espectrofotómetro ocular MFV-4001. (\*\*) Valores promedios publicados internacionalmente. Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vlasov, citados por Ramdohr (Ramdohr, P.,1989)<sup>98</sup>.**

$\lambda$ (nm)	R(%)(*)	$\lambda$ (nm)	R(%)(**)
460	38.6	460	40.4
500	44.6	500	43.2
540	42.8	540	45.6
580	48	580	47
620	45.3	620	47.8
660	46.4	660	48.5
700	50.1	700	49.3

Partiendo de los valores expuestos en la Tabla No. III-12 se obtuvo la curva de dispersión de la capacidad de reflejo para la mackinawita, comparada con la curva patrón.



**Fig. No. III-10** Curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la mackinawita en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa. Comparada con la curva patrón. Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vlasov; citados en Ramdohr. (Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>.

### Microdureza

Similar a otros minerales identificados, no fue posible valorar la dureza Mohs de la mackinawita, debido a las dimensiones de los agregados del mineral en los piroxenos y olivinos serpentinizados, así como los agregados localizados en los sistemas de micro-agrietamiento de las espinelas cromíferas masivas.

Los ensayos de microdureza realizados permitieron obtener un valor máximo de  $VHN_{100} = 296,24$  (  $Kg/mm^2$  ), un valor mínimo de  $VNH_{100} = 206,89$  ( $kg/mm^2$ ) y un valor medio calculado de  $VHN_{100} = 247,82$  (  $Kg/mm^2$  ).

Todos los valores obtenidos de los ensayos se corresponden con los intervalos de microdureza para la mackinawita publicados, como los reportados por Uytenbogaardt (Uytenbogaardt, W., 1971)<sup>117</sup> y Ramdohr (1980)<sup>98</sup>.

A continuación se recogen los valores de microdureza Vickers ensayados en muestras de espinelas cromíferas con mackinawita.

Tabla No. III-13 Resultados de los ensayos de microdureza Vickers (VHN) en mackinawita en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa. Muestras: PS-12a; PS-16b; PS-22b. (\*) Ensayos realizados con el microdurómetro PMT-3 (t= 15 seg.; P= 100 g.).

No. de Ensayos	VHN ( Kg/mm <sup>2</sup> )
1	255.14
2	234.52
3	221.09
4	243.49
5	206.89
6	286.79
7	219.08
8	248.77
9	266.17
10	296.24

### Millerita - NiS

La millerita se encuentra en los sistemas de microgrietas de las espinelas cromíferas masivas en asociación con otros sulfuros entre ellos calcopirita y pirrotina, el mineral no fue localizado en el seno de los agregados cromíferos; se presenta también en asociación con otros sulfuros entre ellos la pentlandita en los diques de gabro-pegmatita.

La millerita se identificó mediante el empleo de técnicas mineragráficas; los resultados de esas investigaciones se exponen a continuación:

### Parámetros Ópticos

**Color:** Amarillo pálido, amarillo tenue, en algunas muestras se presenta con un ligero tinte crema sobre todo cuando está en contacto con calcopirita.

**Birreflexión:** Débil en inmersión se manifiesta claramente, con tonalidades que varían desde el gris oscuro al amarillo.

**Relación con la luz polarizada elíptica:** Mineral muy anisotrópico, se manifiesta intensamente en variaciones de las tonalidades desde azulosa hasta violeta.

**Reflejos internos:** No presenta, es un mineral completamente opaco.

**Capacidad de reflejo:** Todos los valores obtenidos de la capacidad de reflejo para la millerita, mediante el microespectrofotómetro ocular, se localizan dentro de los intervalos medidos para los valores de la longitud de onda en el espectro visible.

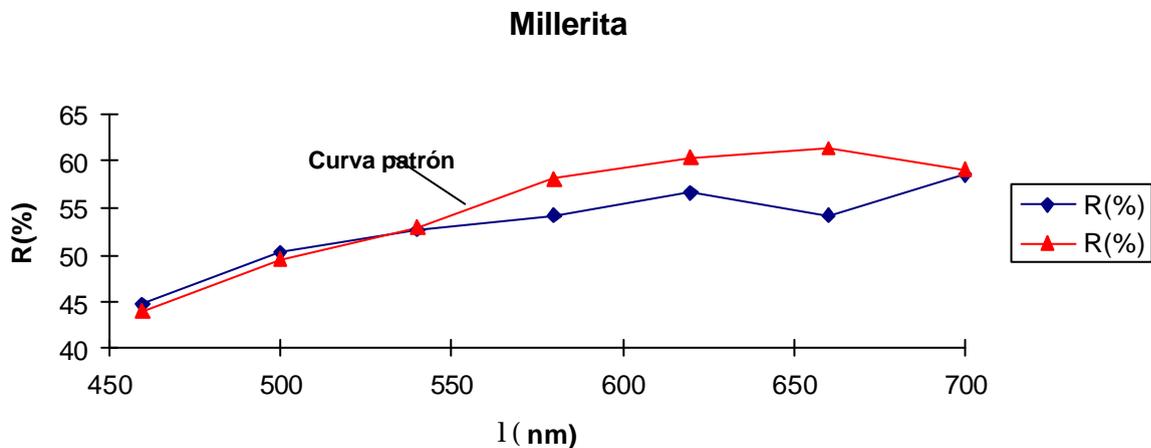
El valor máximo  $R = 58,4\%$  ( $\lambda = 700\text{nm}$ ), el valor mínimo de  $R = 44,7\%$  ( $\lambda = 460\text{nm}$ ) y el valor medio calculado de  $R = 52,9$  ( $\lambda = 560\text{nm}$ ). Como se puede deducir la capacidad de

reflejo de la millerita crece en proporción directa al incremento de los valores de la longitud de onda monocromática incidente en el espectro visible (coeficiente de correlación: 0,90893748).

**Tabla No. III-14** Valores de la capacidad de reflejo (R%) de la millerita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. Muestra: PS-9a. (\*) Cálculos realizados por el microespectrofotómetro ocular MFV-4001. (\*\*) Valores medios de la millerita publicados. Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vlasov, citados por Ramdohr (Ramdohr, P.,1989)<sup>98</sup>.

l (nm)	R(%)(*)	l (nm)	R(%)(**)
460	44.7	460	44
500	50.2	500	49.5
540	52.6	540	52.9
580	54.2	580	58
620	56.6	620	60.3
660	54.2	660	61.3
700	58.4	700	59

La curva de dispersión de la capacidad de reflejo obtenida para la millerita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, muestra la dependencia lineal anteriormente señalada.



**Fig. No. III-11** Curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la millerita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. Comparada con la curva patrón. Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vlasov; citados en Ramdohr (Ramdohr, P.,1980)<sup>98</sup>.

**Microdureza**

En los agregados de millerita en las espinelas cromíferas y en las gabro-pegmatitas no se determinaron los valores de dureza Mohs por sus dimensiones (200-275 µm de longitud), los valores que se exponen se corresponden con los obtenidos a través de la

microdureza Vickers. Se obtuvo un valor máximo de  $VHN_{100} = 321.06$  ( $Kg/mm^2$ ), un valor mínimo de  $VHN_{100} = 184,76$  ( $Kg/mm^2$ ) y un valor medio calculado de  $VHN_{100} = 246,53$  ( $kg/mm^2$ ).

**Tabla No. III-15 Resultados de ensayos de microdureza Vickers (VHN) en millerita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. Muestras: PS-9a; PS-17b; PS-26d. (\*) Ensayos realizados con el microdurómetro PMT-3 ( t= 15seg.; P= 100g. ).**

No. de Ensayos	VHN ( kg/mm <sup>2</sup> )
1	196.45
2	184.76
3	201.27
4	219.8
5	278.1
6	190.36
7	271.15
8	305.26
9	297.11
10	321.06

### **Pentlandita - (Fe, Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>**

La pentlandita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí” se presenta en los sistemas de microgrietas de los agregados cromíticos asociados con otros sulfuros, así como inclusiones mecánicas en el seno de las espinelas cromíferas, además la pentlandita, está presente, como una fase posterior, en los sulfuros existentes en los diques de gabro-pegmatitas, lo anterior expuesto ha sido publicado por Muñoz Gómez y Campos Dueñas (Muñoz Gómez, J.N. y Campos Dueñas, M., 1992)<sup>79</sup> y por Muñoz Gómez . (Muñoz Gómez, J.N.; 1995)<sup>80</sup>.

La pentlandita se identificó a través de técnicas minerográficas y por microscopía electrónica de barrido.

A continuación se recogen los resultados de las investigaciones minerográficas durante su identificación.

### **Parámetros Ópticos:**

**Color:** Blanco-crema, su color está en dependencia de los minerales en contacto, predominando su color casi blanco; en contacto con la pirrotina toma tonalidades blanco-amarillenta.

**Birreflexión:** No se manifiesta, se ensayó una muestra en inmersión.

**Relación con la luz polarizada elíptica:** Mineral completamente isótropo.

**Capacidad de reflejo:** Los valores determinados de la capacidad de reflejo, a través del microespectrofotómetro ocular, muestran una dependencia lineal con el incremento de los valores de la intensidad de la longitud de onda ( $\lambda$ ) monocromática incidente en el espectro visible, dado al hecho de que los valores de la capacidad de reflejo se incrementan al aumentar los valores de la longitud de onda incidente.

El valor máximo de la capacidad de reflejo es de  $R = 51,6$  ( $\lambda = 700\text{nm}$ ); el valor mínimo  $R = 38,4\%$  ( $\lambda = 460\text{nm}$ ) y el valor medio calculado  $R = 45,8\%$  ( $\lambda = 565\text{nm}$ ).

**Tabla No. III-16** Valores de la capacidad de reflejo de la pentlandita (R%) en las menas cromíferas del yacimiento "Potosí", Moa. Muestras: PS-16; PS-20b; PS-32d. (\*) Cálculos realizados por el microespectrofotómetro ocular MFV-4001. (\*\*) Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vlasov, citados por Ramdohr (Ramdohr, P., 1989)<sup>98</sup>.

l (nm)	R(%)(*)	l (nm)	R(%)(**)
460	38.4	460	44.2
500	39.6	500	50.1
540	45.2	540	45.9
580	46.9	580	51.4
620	48.7	620	50.2
660	50.3	660	54.5
700	51.6	700	53.4

A partir de los valores de la capacidad de reflejo de las muestras investigadas y de los valores medios calculados, anteriormente expuestos, se obtuvo la curva de la capacidad de reflejo en comparación con la curva patrón.

### Microdureza

Los agregados y cristales de pentlandita fueron ensayados para la determinación de la microdureza Vickers (VHN).

No se determinó la dureza utilizando la escala de Mohs, debido a las dimensiones de los cristales de pentlandita los que se encuentran entre los primeros micrones de longitud, con la excepción de algunos cristales de pentlandita en los diques de gabro-pegmatitas con dimensiones desde 1,0cm hasta 2,5cm. (Muñoz Gómez, J.N. y Campos Dueñas, M., 1992)<sup>79</sup>.

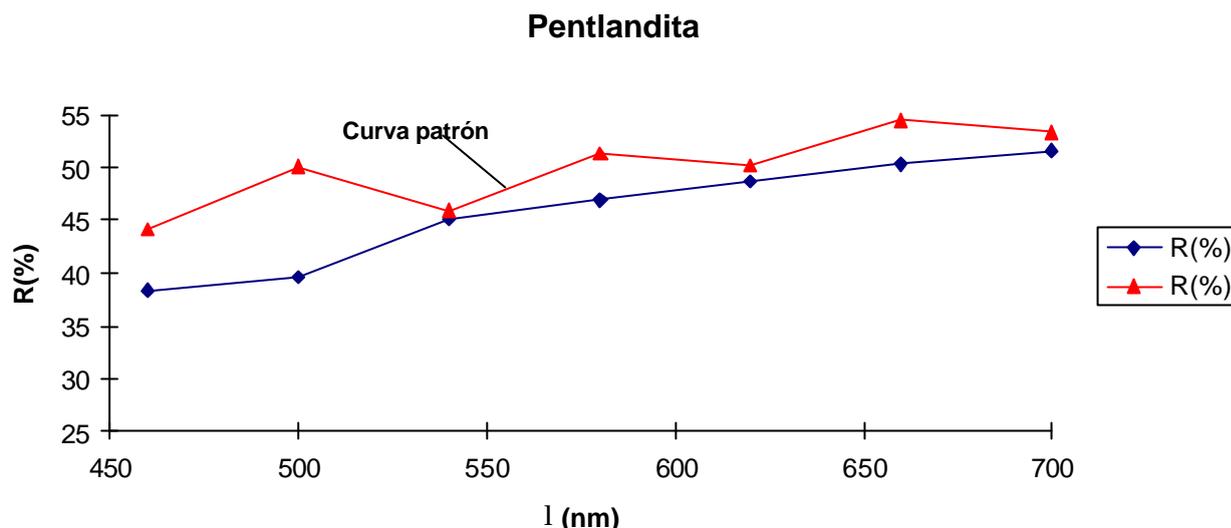


Fig. No. III-12 Curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la pentlandita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. Comparado con la curva patrón . Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vlasov; citados en Ramdohr ( Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>

El valor máximo medido de la microdureza en las pentlanditas ensayadas es de  $VHN_{100} = 254,21$  (kg/mm<sup>2</sup>); el valor mínimo de  $VHN_{100} = 206,24$  (Kg/mm<sup>2</sup>) y el valor medio calculado de  $VHN_{100} = 229,29$  (kg/mm<sup>2</sup>). Todos los valores determinados se encuentran dentro de los intervalos publicados en la literatura especializada (Uytenbogaardt, W. and Burke, E.A.J., 1971)<sup>117</sup>.

Tabla No.III-17 Resultados de los ensayos de microdureza Vickers (VHN) en pentlandita de las menas cromíferas del yacimiento “Potosí” y de los diques de gabro-pegmatitas. Muestras: PS-16; PS-12; PS-43a,b. (\*) Ensayos realizados con el microdurómetro PTM-3. (t= 15seg.; P= 100g.).

No. de Ensayos	VHN (kg/mm <sup>2</sup> )
1	218.21
2	253.84
3	240.25
4	211.06
5	246.18
6	206.24
7	254.21
8	219.53
9	215.94
10	227.48

Para corroborar la identificación de la pentlandita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí” y en los diques de gabro-pegmatitas se ensayó una muestra a través de microscopía electrónica de barrido, obteniéndose la confirmación del mineral asociado con pirrotina (Disther, V., Falcón, H., Muñoz Gómez, J.N. y Campos Dueñas,

M., 1989)<sup>28</sup>; (Muñoz Gómez, J.N. y Campos Dueñas, M., 1992)<sup>79</sup>. Del análisis se estableció la fórmula cristaloquímica de la celda unidad de la pentlandita: **Muestra: PS-27a - ( Fe<sub>5,40</sub> Ni<sub>3,51</sub> Co<sub>0,09</sub> )<sub>S=9,0</sub> S<sub>8,0</sub>** . Verificándose un alto contenido en hierro y un ligero contenido de cobalto. Un intercrecimiento similar fue reportado por Howley y How en menas magmáticas (Howley, J.E.and How, V.A., 1957)<sup>47</sup>. A continuación se exponen gráficamente las relaciones entre las espinelas cromíferas masivas y la pentlandita.

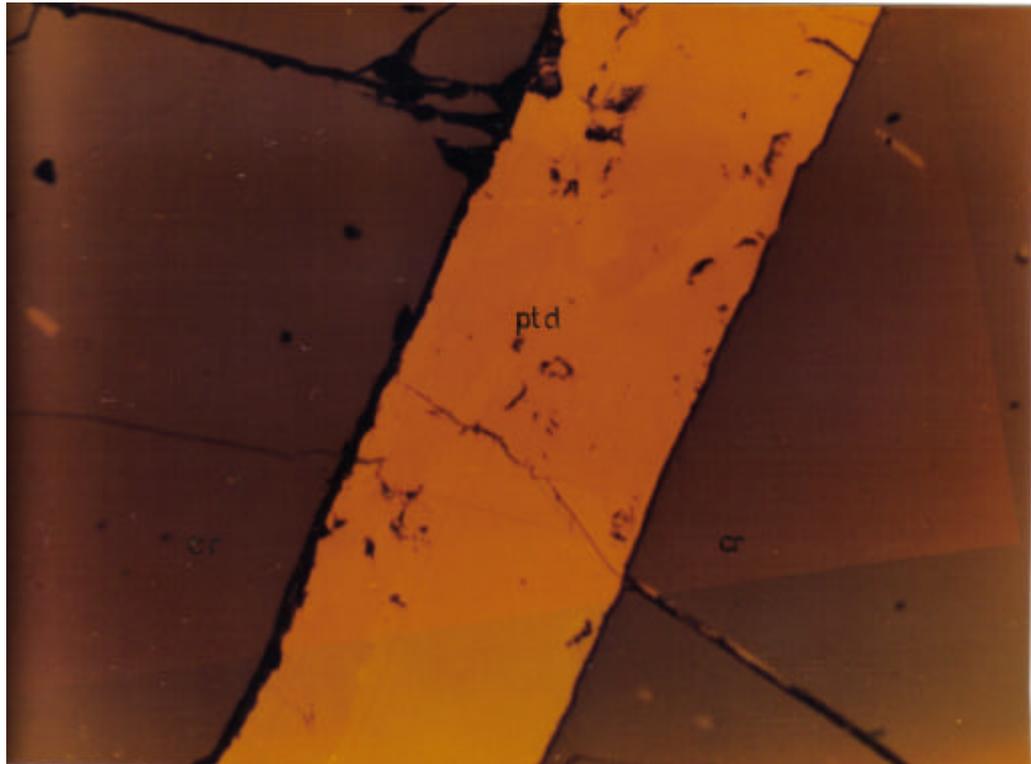
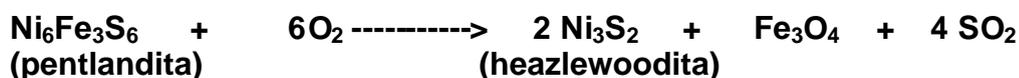


Fig. No. III-12 Microfotografía. Agregados de pentlandita en los sistemas de microagrietamiento de las espinelas cromíferas del yacimiento “Potosí”, Moa. En luz reflejada; en aire; 200x; obj.10x; JENAPOL-U. [cr- espinela cromífera, ptd- pentlandita].

### Heazlewoodita - Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub>

La heazlewoodita, de forma similar a la mackinawita, se formó durante el proceso de serpentización de los complejos máficos y ultramáficos; en consideración de Ramdohr, se formó a partir de la oxidación de la pentlandita, es por eso que ambos minerales se presentan en paragénesis, a continuación se expone la concepción de Ramdohr, a través de la reacción siguiente: (Ramdohr, P.,1980)<sup>98</sup>.



La heazlewoodita se localizó en los sistemas de microagrietamiento de las espinelas cromíferas masivas, asociada a otros sulfuros fundamentalmente a la pentlandita y mackinawita. El mineral fue identificado mediante las técnicas mineragráficas tradicionales y microscopía electrónica de barrido.

### Parámetros Ópticos:

**Color:** Amarillo pálido hasta amarillo con tonalidades crema.

**Birreflexión:** Débil, generalmente no es visible en pequeños agregados y cristales, su valoración es mejor empleando líquidos de inmersión.

**Relación con la luz polarizada elíptica:** Muy anisotrópico, con cambios de coloración que varían desde violeta claro a violeta oscuro y en algunos casos desde el verde pálido al verde esmeralda.

**Reflejos internos:** No se manifiestan, es un mineral completamente opaco.

**Capacidad de reflejo ( R%):** Los resultados obtenidos de las determinaciones de la capacidad de reflejo para la heazlewoodita ofrecen una situación similar a otros sulfuros, - **mackinawita y pentlandita** -, de incrementar su capacidad de reflejo al incrementarse la longitud de onda de la luz monocromática incidente. El valor máximo obtenido es de R= 56,4% ( $\lambda= 700\text{nm}$ ), el valor mínimo R= 47,2% ( $\lambda= 460\text{nm}$ ) y el valor medio calculado R= 52,7% ( $\lambda= 565\text{nm}$ ).

Tabla No. III-18 Valores de la capacidad de reflejo (R%) de la heazlewoodita en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa. Muestras: PS-1a; PS-17b. (\*) Cálculos realizados por el microespectrofómeto ocular MFV-4001. (\*\*) Datos de la curva patrón. Valores medios de Besmertnaya, Picot y Vlasov, citados por Ramdohr. (Ramdohr, P.,1989)<sup>98</sup>.

l (nm)	R(%)(*)	l (nm)	R(%)(**)
460	47.2	460	49.4
500	48	500	46.1
540	51.6	540	52.8
580	54.3	580	52.6
620	55.8	620	56.7
660	56	660	58
700	56.4	700	53.9

La curva de dispersión de la capacidad de reflejo se obtuvo a partir de los datos expuestos en la Tabla No. III-18.

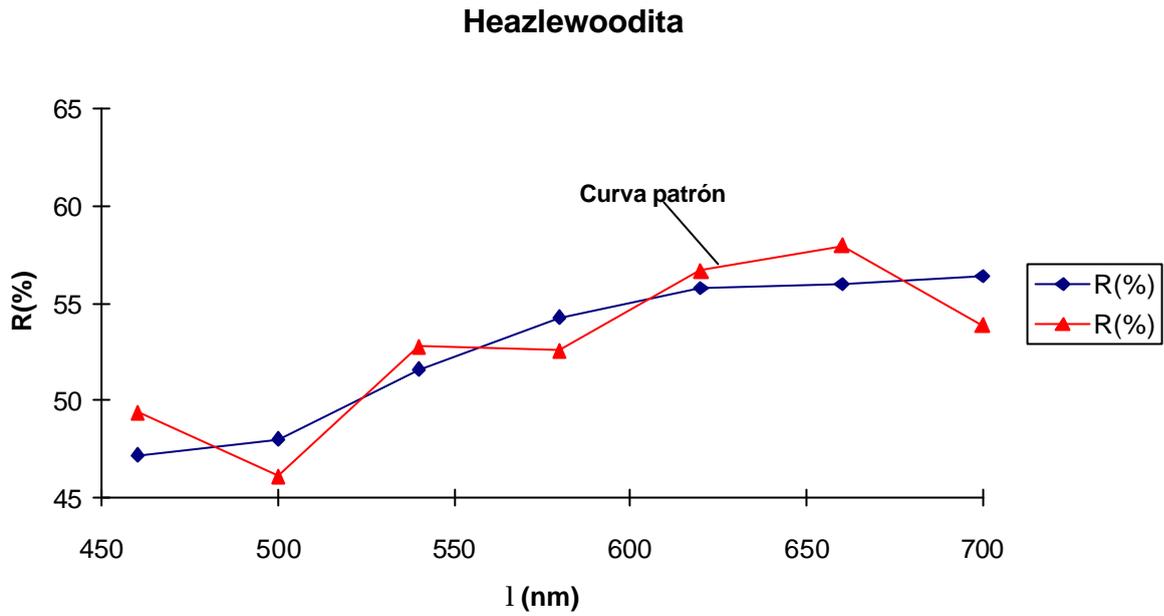


Fig. No. III-14 Curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la heazlewoodita en las menas cromíferas masivas de yacimiento “Potosí”, Moa. Comparada con la curva patrón. Valores medios de: Besmertnaya, Picot y Vlasov; citados en Ramdohr, P. ( Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>.

**Microdureza**

La heazlewoodita se ensayó mediante la técnica de microdureza Vickers, no pudiéndose valorar la dureza de Mohs por las dimensiones de los agregados y cristales de heazlewoodita. (agregados entre 250- 720µm).

Tabla No. III-19 Resultados de los ensayos de microdureza Vickers en la heazlewoodita en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa (\*).  
Muestras: PS-1a; PS-9c; PS-14d  
(\* ) Ensayos realizados por el microdurómetro PMT-3 (t= 15 seg.; P= 100g.).

No. de Ensayos	VHN ( kg/mm <sup>2</sup> )
1	237.86
2	225.05
3	249.73
4	276.19
5	254.23
6	289.1
7	271.34
8	252.25
9	277.43
10	286.68

El valor máximo de microdureza obtenido en la heazlewoodita  $VHN_{100} = 289,10$  ( $\text{kg/mm}^2$ ), el valor mínimo  $VHN_{100} = 225,05$  ( $\text{kg/mm}^2$ ) y el valor medio calculado  $VHN_{100} = 261,98$  ( $\text{kg/mm}^2$ ). Todos los valores calculados se localizan dentro de los intervalos internacionales, entre ellos los de Uyttenbogaardt (Uyttenbogaardt, W. and Burke, E.A.J., 1971)<sup>117</sup> y (Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>. Para la verificación de la existencia de la heazlewoodita se ensayó una muestra por microscopía electrónica de barrido, reportándose los siguientes contenidos: **Fe = 0,19%; Cu = 0,16%; Ni = 72,28%; S = 27,0% (Total: 99,63%)**; del procesamiento del resultado analítico se obtuvo la fórmula cristaloquímica de la celda unidad de la heazlewoodita en las menas cromíferas masivas:

**Muestra: PS-1d ( $\text{Ni}_{2,96} \text{Fe}_{0,01} \text{Cu}_{0,01}$ ) $\text{S}_{2,98} \text{S}_{2,02}$ .**

Comprobándose un déficit del contenido de níquel, sustituido por bajos contenido de hierro y cobre, así como un ligero incremento de azufre.

### **Pirrotina - $\text{Fe}_{1-x} \text{S}$**

Sulfuro de hierro, con relación atómica **1:1** incompleta para el hierro, es portador de los metales del grupo del platino y sus minerales, así como de contenidos de cobalto y de níquel. En el caso particular de las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" es el sulfuro más abundante, se localiza frecuentemente en los sistemas de microagrietamiento de las espinelas cromíferas masivas, en las espinelas cromíferas brechoides en los diques de gabro-pegmatitas y en menor grado en el seno de los agregados cromíferos, casi siempre en asociación con la pentlandita. La pirrotina fue identificada a través de técnicas mineragráficas.

### **Parámetros Ópticos:**

**Color:** Se manifiesta el color crema característico, aunque varía su tonalidad en función del mineral metálico que se encuentra en contacto; con la pentlandita adquiere tonalidades crema-rosado.

**Birreflexión:** Se manifiesta en todas las muestras analizadas, presenta variaciones en sus tonalidades que van desde el crema al carmelita-rosado.

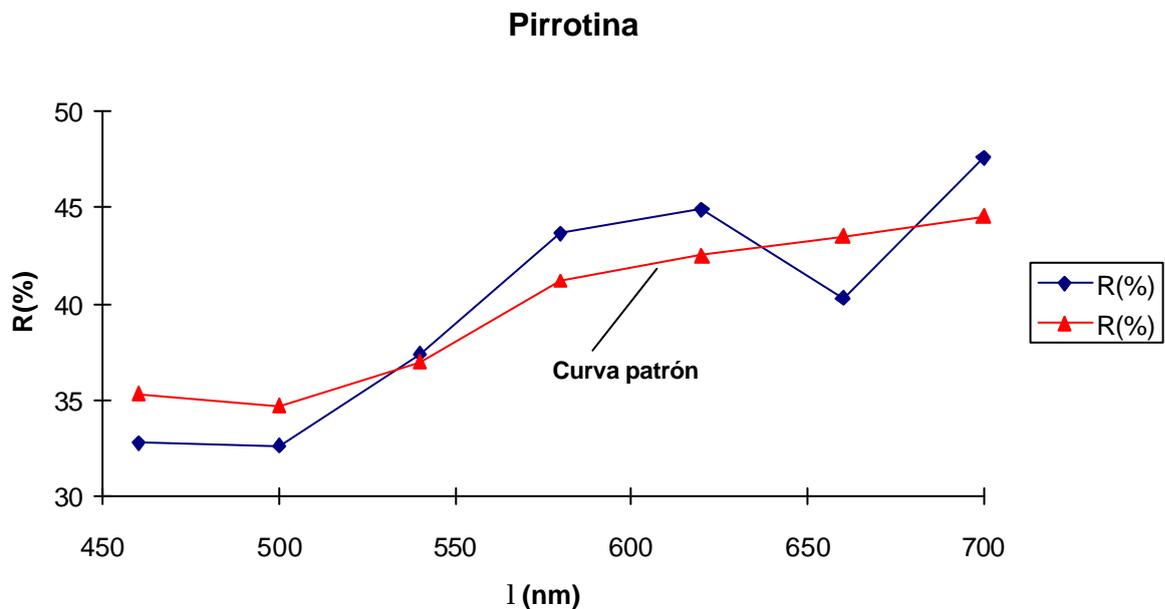
**Relación con la luz polarizada elíptica:** Muy anisotrópica, en todas las muestras estudiadas se manifiesta con el cambio de tonalidades desde el amarillo-crema hasta el verde grisáceo, si se observa con nicoles no completamente cruzados las variaciones de las tonalidades son más intensas, permitiendo la delimitación de los cristales del mineral y sus interrelaciones mutuas.

**Reflejos internos:** No se manifiestan, la pirrotina es completamente opaca.

**Capacidad de reflejo:** Los valores de la capacidad de reflejo para la pirrotina en el espectro visible se mantienen dentro de los intervalos publicados internacionalmente (Howley, J.E. and How, V.A., 1957)<sup>47</sup> y (Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>. Los valores que se exponen a continuación mantienen una tendencia creciente de la capacidad de reflejo (R%) al mismo tiempo que se incrementa los valores de la longitud de onda monocromática incidente. El valor máximo es de R= 47,6% ( $\lambda$ = 700nm), el valor mínimo R= 32,6% ( $\lambda$ = 500nm) y el valor medio calculado de R= 39,88% ( $\lambda$ = 680nm).

**No. III-20** Valores de la capacidad de reflejo (R%) de la pirrotina en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. Muestras: PS-10; PS-10a; PS-12b. (\*) Cálculos realizados por el microespectrofotómetro ocular MFV-4001. (\*\*) Valores de la capacidad de reflejo de la curva patrón. Valores medios de Howley y How. (Howley, J.E., How, V.A., 1957)<sup>47</sup>.

l (nm)	R(%)(*)	l (nm)	R(%)(**)
460	32.8	460	35.3
500	32.6	500	34.7
540	37.4	540	37
580	43.6	580	41.2
620	44.9	620	42.5
660	40.3	660	43.5
700	47.6	700	44.5



**Fig. No. III-15** Curva de dispersión de la capacidad de reflejo de la pirrotina en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa. Comparada con la curva patrón. Valores medios de Howley y How. (Howley, J.E., How, V.A., 1957)<sup>47</sup>.

La curva de dispersión de la capacidad de reflejo obtenida a partir de las mediciones expuestas siguen con bastante aproximación a la curva de dispersión para la pirrotina obtenida de la bibliografía internacional.(Howley, J.E. and How, V.A., 1957)<sup>47</sup>

### Microdureza

Todas las determinaciones de la microdureza se realizaron mediante la metodología Vickers, el valor máximo calculado  $VHN_{100} = 350,55$  (kg/mm<sup>2</sup>); el valor mínimo  $VHN_{100} = 291,96$  (kg/mm<sup>2</sup>) y el valor medio calculado de los ensayos realizados es de  $VHN_{100} = 341,88$  (kg/mm<sup>2</sup>).

Tabla No. III-21 Resultados de los ensayos de microdureza Vickers (R%) en la pirrotina de las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa. (\*). Muestras: PS-10; PS-6a; PS-36b; PS-43<sup>a</sup>. (\*) Ensayos realizados por el microdurómetro PMT-3 ( t=15 seg.; P= 100g. ).

No. de Ensayos	VHN ( Kg/mm <sup>2</sup> )
1	291.96
2	372.42
3	359.41
4	353.7
5	351.74
6	360.1
7	355.81
8	328.75
9	294.96
10	350.55

En la microfotografía se muestran las relaciones de la pirrotina en relación con las espinelas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

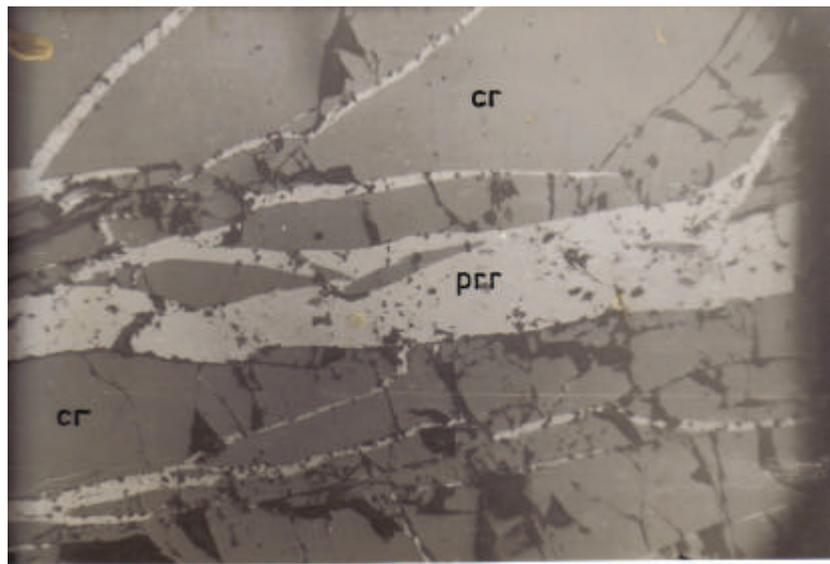


Fig. No. III-16 Microfotografía III-D Relación de la pirrotina con las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa. [cr- espinela cromífera, pr- pirrotina].

Con la pirrotina se concluye la identificación de los principales minerales metálicos asociados a la mineralización cromífera de las menas masivas del yacimiento “Potosí”. Durante las investigaciones se identificaron otros minerales tales como: magnetita, esfalerita y minerales oxidados de hierro y carbonatados de cobre, los cuales no se incluyen en la identificación por su limitada distribución en algunas muestras, siendo la magnetita secundaria la más abundante.

Es necesario puntualizar que los minerales silicatados acompañantes de las espinelas cromíferas y a las mineralizaciones expuestas están representados por: **olivino, ensatita**, minerales serpentínicos, fundamentalmente **crisotilo** y **antigorita**, y la **anortita** muy abundante en los diques de gabro-pegmatitas; todos se recogen en las paragénesis minerales identificadas.

### **Paragénesis Minerales**

La amplia diversidad de minerales metálicos (fundamentalmente sulfuros, rutilo y fases platiníferas), asociados a las menas masivas del yacimiento “Potosí” y a las espinelas cromíferas de los diques de gabro-pegmatitas, así como la distribución espacial de los minerales y sus vínculos genéticos, se han identificado y establecido un determinado número de paragénesis donde se agrupan los minerales en correspondencia con las condiciones fisico-químicas de formación.

Las paragénesis minerales identificadas han sido publicadas (Muñoz Gómez, J.N. y Campos Dueñas, M., 1992)<sup>79</sup>, (Muñoz Gómez, J.N., 1995)<sup>80</sup> y (Lewis, F.J., et al., 1996). Esos resultados fueron analizados y procesados a la luz de nuevos criterios geoquímicos, mineralógicos, genéticos y de la distribución espacial de las paragénesis en el yacimiento “Potosí”, lo cual ha permitido una revalorización de las paragénesis minerales. Se identificaron y se establecieron cuatro paragénesis principales denominadas: **A - B - C - D.**

#### **Paragénesis - A -**

En la paragénesis denominada por - **A** - se incluyen los minerales acompañantes a las espinelas cromíferas masivas que se formaron en el proceso inicial de diferenciación magmática del complejo ultramáfico y en el inicio de la cristalización de los agregados cromíticos.

Las paragénesis se exponen siguiendo el orden de segregación de los minerales que las conforman.

**Paragénesis - A<sub>1</sub>** -. La paragénesis - A<sub>1</sub> - está representada mineralógicamente por:

- ◆ **espinela cromífera - I**
- ◆ **laurita-erlichmanita - I**
- ◆ **platino nativo**

Las fases platiníferas identificadas y representadas en la serie isomorfa laurita-erlichmanita (**RuS<sub>2</sub> - OsS<sub>2</sub>**) se encuentran localizadas en el seno de las espinelas cromíferas masivas, por lo que esta fase de minerales del grupo del platino se segregaron con anterioridad a la cristalización de los agregados cromíferos, en ese sentido, refiriéndose a las características de la laurita-erlichmanita señaló Disther, et al: *“... en las secciones pulidas, los minerales se encuentran en forma de pequeños granos aislados muy pequeños (del orden de 1 a 5 micrones) y raramente alcanzan las primeras decenas de micrones. Los granos mas grandes tienen dimensiones del orden de los 50 micrones. Los minerales se destacan por poseer altos valores de la capacidad de reflejo en relación con las cromoespinelas. Generalmente los cristales están constituidos por una sola fase distinguiéndose por la forma idiomórfica, tabular o laminar de sus cristales...”* p.22 (Distler, V.V., Falcón Hernández, J., Muñoz Gómez, J.N. y Campos Dueñas, M.; 1989)<sup>28</sup>.

En la paragénesis - A<sub>1</sub> - se incluye la existencia de platino nativo, reportada por Kenarev, (Kenarev, V., 1966)<sup>56</sup>, en forma de descomposición de soluciones sólidas, lo que constituye una particularidad de la mineralización platinífera en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", al estar presente fases de los elementos: **Ru - Ir - Os** (laurita-erlichmanita) y fase de los elementos: **Pt - Rh - Pd** (platino nativo). Además, existen los sulfuros magmáticos primarios en el seno de las espinelas cromíferas, sin incluir la formación de las soluciones sólidas con la fase platinífera explicada anteriormente, por lo que se incluye una paragénesis independiente con predominio de sulfuros de hierro, níquel, cobre y laurita-erlichmanita-II en textura laminar con calcopirita-I y pentlandita-I, la cual queda representada como sigue:

**Paragénesis - A<sub>2</sub>** -

- ◆ **espinela cromífera - I**
- ◆ **pirrotina - I**
- ◆ **calcopirita - I**
- ◆ **pentlandita - I**
- ◆ **laurita-erlichmanita - II**

Si se consideran ambas paragénesis, las menas cromíferas del yacimiento "Potosí" incluyen en su seno las fases platiníferas existentes en soluciones sólidas y en sulfuros magmáticos primarios de licuación, por lo que la paragénesis general quedaría conformada por:

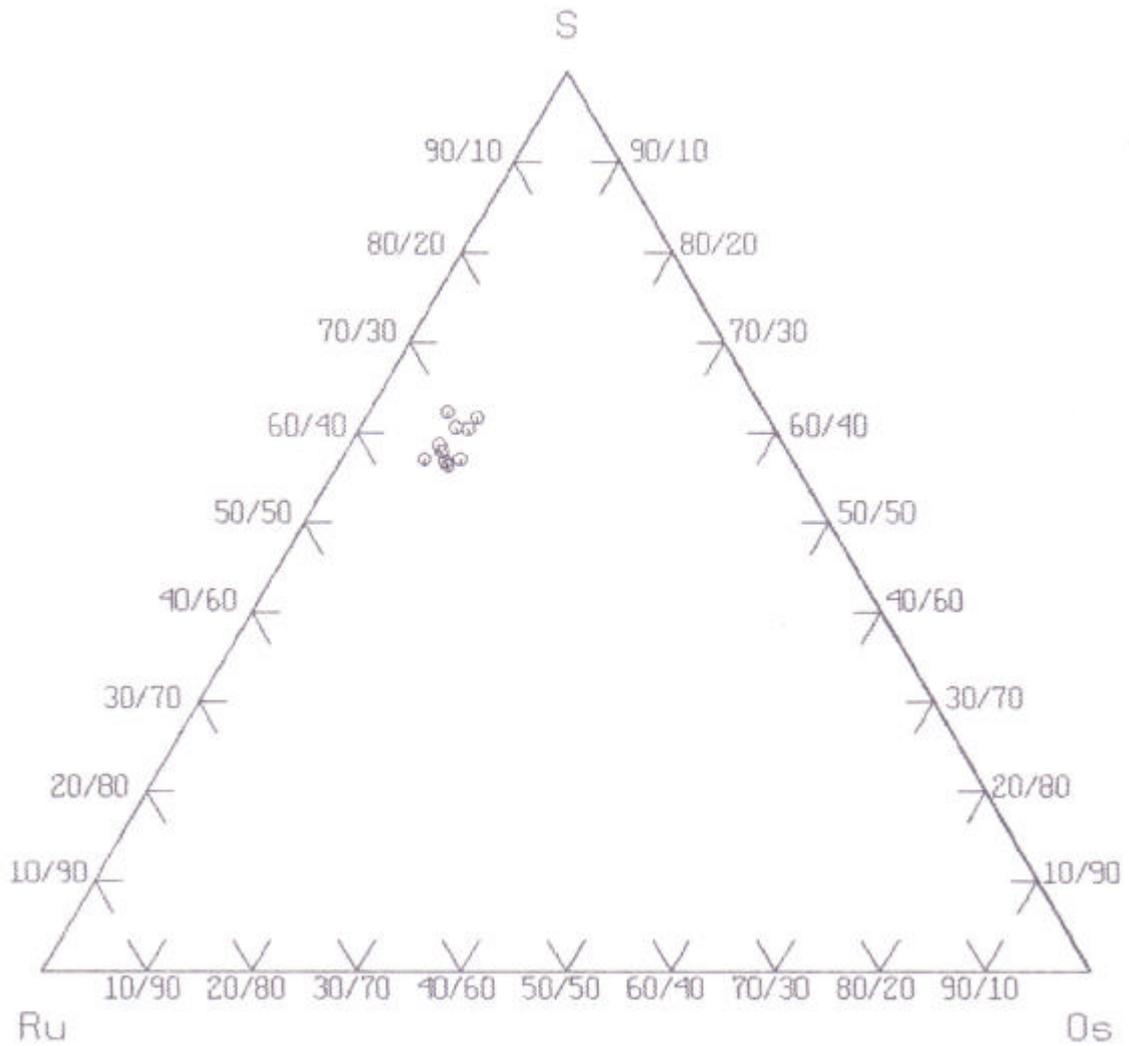


Fig. No. III-17 Diagrama triangular comparativo de la composición de la fase laurita-erlichmanita en el sistema Ru – S – Os (en % de átomos). (Disther, V. V., Falcón Hernández, J., Muñoz Gómez, J. N., Campos Dueñas, M., 1989)

**Paragénesis - A<sub>3</sub> -**

- ◆ **espinela cromífera - I**
- ◆ **laurita-erlichmanita - I**
- ◆ **platino nativo**
- ◆ **pirrotina - I**
- ◆ **calcopirita - I**
- ◆ **pentlandita - I**
- ◆ **laurita-erlichmanita - II**

Durante el proceso de cristalización de las espinelas cromíferas masivas y mediante mecanismos similares de la segregación de fases idiomórficas de la serie laurita-erlichmanita, pero a un intervalo de temperaturas más bajas, se formaron cristales idiomórficos de rutilo, así como también algunas texturas típicas de descomposición de soluciones sólidas en texturas laminar y emulsionadas en la masa de los agregados cromíferos, las que se manifiestan discontinuamente (Muñoz Gómez, J.N., 1988)<sup>78</sup>. La paragénesis está representada mineralógicamente por:

**Paragénesis - A<sub>4</sub> -**

- ◆ **espinela cromífera - I**
- ◆ **rutilo - I**

Paragénesis similares solo han sido reportadas en espinelas cromíferas transicionales a espinelas titano-magnetíticas, como las que fueron descritas por Frankell (1942), localizándose en pegmatitas básicas en el extremo Este del Complejo de Bushveld, citadas por Cameron y Desborough (Cameron, E.N. and Desborough, G.A., 1973)<sup>17</sup>

La paragénesis - A - queda esquemáticamente representada como sigue:

**Paragénesis - A: Fase Inicial de Cristalización de la Espinela Cromífera**

**Paragénesis - A<sub>1</sub>-**

**Espinela cromífera - I**

**Laurita- erlichmanita - I**

**Platino nativo**

**Paragénesis - A<sub>2</sub> -**

**Espinela cromífera - I**

**Pirrotina - I**

**Calcopirita - I**

**Pentlandita - I**

**Laurita- erlichmanita - II**

**Paragénesis - A<sub>3</sub>-**

**Espinela cromífera - I**

**Laurita-erlichmanita - I**

**Platino nativo**

**Pirrotina - I**

**Calcopirita - I**

**Pentlandita - I**

**Laurita-erlichmanita - II**

**Paragénesis - A<sub>4</sub>**

**Espinela cromífera- I**

**Rutilo - I**

**Paragénesis - B -**

En la paragénesis - B - se recogen los minerales metálicos asociados a las espinelas cromíferas, de génesis posterior a los que constituyen la paragénesis - A -, los minerales están localizados en los sistemas de microagrietamiento de los agregados cromíferos. En la paragénesis se incluye el olivino el cual se asocia directamente a los agregados de espinelas cromíferas.

En una primera etapa se formó el **rutilo-II** y posteriormente se formaron sulfuros magmáticos primarios de hierro, cobre y níquel. La paragénesis - B - está representada por:

**Paragénesis - B<sub>1</sub>-**

- ◆ **espinela cromífera - I**
- ◆ **olivino**
- ◆ **rutilo - II**

El resto de los minerales en las microgrietas de las espinelas cromíferas masivas quedan incluidos en la siguiente paragénesis:

**Paragénesis - B<sub>2</sub> -**

- ◆ **espinela cromífera - I**
- ◆ **laurita- erlichmanita - II**
- ◆ **pentlandita - II**
- ◆ **pirrotina - II**
- ◆ **calcopirita - II**
- ◆ **pirita - I**
- ◆ **millerita - I**
- ◆ **crisotilo**
- ◆ **antigorita**
- ◆ **enstatita**

La existencia de la fase platinífera - **RuS<sub>2</sub>-OsS<sub>2</sub>**- en asociación con los sulfuros de hierro, níquel y cobre se manifiesta en forma de solución sólida de forma similar a la analizada anteriormente (Paragénesis - A -), pero en este caso, la segregación y cristalización y la correspondiente descomposición de la solución sólida es posterior, ya que las mismas se ubican en los sistemas de microagrietamiento de los agregados cromíferos.

En esta paragénesis hay un desarrollo diferenciado en la abundancia de sulfuros, siendo los más frecuentes la pirrotina y pirita, siguiéndole en ese orden, la calcopirita y en menor grado la pentlandita y millerita.

La paragénesis B puede quedar representada en el siguiente esquema general:

## Paragénesis - B - Fase Final de Cristalización y Agrietamiento de la Espinela Cromífera.

### Paragénesis - B<sub>1</sub>

Espinela cromífera - I  
Olivino  
Rutilo - II

### Paragénesis - B<sub>2</sub> -

Espinela cromífera - I  
Laurita-erlichmanita - II  
Pentlandita - II  
Pirrotina - II  
Calcopirita - II  
Pirita - I  
Millerita - I  
Crisotilo  
Antigorita  
Enstatita

### Paragénesis - C -

En la paragénesis - C - se asocian los minerales formados durante el proceso final de segregación y cristalización de las espinelas cromíferas masivas, es de destacarse que la característica esencial de esta paragénesis es la presencia de sulfuros formados durante el proceso de serpentinización de los complejos máficos y ultramáficos, y la formación de minerales del grupo de la serpentina, esencialmente crisotilo y antigorita a expensa del olivino y otros minerales ferromagnesianos.

A criterios de P. Ramdohr, la existencia de mackinawita y de heazlewoodita, corrobora el proceso de serpentinización en los complejos máficos y ultramáficos (Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>, incluyendo además, la formación de magnetita secundaria a expensas del olivino y en condiciones de alto nivel del potencial del oxígeno, en ese sentido Ramdohr expone: “... *during the alteration of olivine to serpentine only small part of the iron enters into the serpentine, the rest forms a network of magnetite...*” (pág.932), (Ramdohr, P., 1980)<sup>98</sup>.

La existencia en esta paragénesis de heazlewoodita, mackinawita y minerales serpentiníticos asociada a las espinelas cromíferas masivas, permite establecer desde el punto de vista geoquímico una removilización general del hierro, níquel y cobalto en el complejo ultramáfico serpentinizado.

La paragénesis - C - queda conformada por la siguiente composición mineralógica:

**Paragénesis - C - Fase de Serpentinización de los Complejos Máficos y Ultramáficos.**

Espinela cromífera - I  
Olivino  
Pentlandita - II  
Laurita- erlichmanita - II  
Heazlewoodita  
Mackinawita  
Pirita - II  
Magnetita  
Crisotilo  
Antigorita  
Enstatita  
Anortita

**Paragénesis - D -**

La paragénesis - D - está vinculada espacial y genéticamente con los diques de gabro-pegmatitas y en interrelación con las menas cromíferas masivas. En el capítulo I se exponen los principales rasgos geólogo-estructurales, texturales y sus relaciones con los complejos máficos, ultramáficos y con la mineralización cromítica. Dada sus particularidades y su yacencia, los diques de gabro-pegmatitas constituyen la litología más joven en el área de estudio.

Las espinelas cromíferas-II existentes en los diques de gabro-pegmatitas presentan estructuras brechoides y se encuentran dispersas y fragmentadas en la masa de los diques de gabro-pegmatitas, los fragmentos tienen dimensiones desde los primeros milímetros hasta 40-50-70 centímetros, ocasionalmente mayores. Los fragmentos están englobados en anortita o en piroxenos (enstatita), o en ambos silicatos lo que corrobora que la presencia de las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas no fueron segregadas, - **crystalizadas** -, a partir del fundido gabroide, contribuye a la afirmación anterior la estructura brechoide anteriormente mencionada, de los agregados cromíticos.

No obstante, se demuestra a través de la composición química, diferencias sustanciales entre las espinelas cromíferas que se localizan en los diques de gabro-pegmatitas con las espinelas cromíferas masivas y con las espinelas cromíferas diseminadas. (Capítulo IV).

Los sulfuros están presentes en los diques de gabro-pegmatitas, entre los más comunes se encuentran la calcopirita-III, pentlandita-III y en menor grado pirita-III y millerita-II. La pentlandita es idiomórfica con cristales bien desarrollados, que en ocasiones alcanzan hasta 1,5 centímetros. Es común observar en la superficie de las muestras óxidos e hidróxidos de hierro en los diques de gabro-pegmatitas, indicando el desarrollo de procesos supergénicos con la alteración de los sulfuros de hierro, níquel, cobre y minerales del grupo de la serpiente -crisotilo y antigorita-.

En las espinelas cromíferas que yacen en los diques de gabro-pegmatitas se localizan cristales de rutilo tanto en fases independientes, como en los sistemas de microagrietamiento de los agregados cromíferos.

De acuerdo al análisis realizado la paragénesis - D - está integrada por la siguiente composición mineralógica.

#### **Paragénesis - D - Fase de Emplazamiento de los Diques de Gabro-pegmatitas.**

##### **Paragénesis - D-**

**Espinela cromífera - II**

**Olivino**

**Pentlandita - III**

**Calcopirita - III**

**Pirrotina - III**

**Laurita-erlichmanita - III**

**Pirita - III**

**Millerita - II**

**Rutilo- I**

**Rutilo - II**

**Anortita**

**Enstatita**

**Crisotilo**

**Antigorita**

#### **Orden de Consecutividad de Formación de las Paragénesis Minerales y sus Modelos Teóricos.**

El orden de consecutividad de formación de las paragénesis minerales existentes en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", donde se incluyen los agregados cromíferos en los diques de gabro-pegmatitas, está estructurado en el orden cronológico de formación de las paragénesis minerales (Paragénesis: AB-C-D), en estrecha relación con los estadios o fases de mineralización y los eventos geológico-estructurales de carácter regional que sirvieron de control a las condiciones físico-químicas en las cuales se formaron los minerales identificados.

No obstante, el orden de consecutividad de formación de las paragénesis siguen un orden cronológico en el proceso de segregación de los minerales que las conforman, desde la paragénesis -A- hasta la paragénesis -C-. La paragénesis -D- que incluye los diques de gabro-pegmatitas y los minerales asociados se emplazaron en la fase final de segregación de las litologías máficas y ultramáficas y su edad se corresponde en el tiempo geológico con la paragénesis -C- lo anterior queda expuesto en el Fig. No. III-22 que representa el orden de consecutividad de formación de las paragénesis minerales del yacimiento "Potosí".

En ese sentido, las fases o estadios de mineralización tienen correspondencia espacial y genética con las paragénesis minerales, y recogen todos los eventos geológicos que conllevaron a la formación de los cuerpos minerales cromíticos y su posterior complicación mineralógica.

### **Paragénesis -A-**

La fase de cristalización inicial de la espinela cromífera, desarrollada durante el proceso de diferenciación magmática en la antigua corteza oceánica, en correspondencia a los criterios de Coleman, (Coleman, R.G.; 1977)<sup>22</sup>, se efectuó a altas temperaturas, alrededor del intervalo 1500<sup>o</sup>-1200<sup>o</sup>C, cristalizando en primer lugar los minerales de las fases del grupo de platino, dado su alto grado de refractariedad, criterio sustentado por varios autores, entre ellos, Cabri (Cabri, J.L.; 1981)<sup>16</sup>, inmediatamente después cristalizó el rutilo -I, en sus diferentes formas de existencia.

Un incremento sostenido del contenido relativo del azufre primario en el fundido cromítico permitió la cristalización de sulfuros magmáticos primarios de hierro, níquel y cobre.

Las condiciones físico-químicas y el sostenido decrecimiento de la temperatura permitieron la cristalización idiomórfica de los minerales del grupo del platino y el rutilo, así como la existencia de texturas de descomposición de soluciones sólidas en sus diferentes variedades (laminar y de emulsión, las más difundidas) entre los agregados cromíferos y el rutilo.

El grado de fugacidad del azufre incrementado hacia el final de la fase de mineralización queda demostrado en la composición mineralógica de la paragénesis - A - con la presencia de los sulfuros magmáticos primarios, éstas consideraciones han sido publicadas con anterioridad (Disther, V V., Falcon, H.J., Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M.; 1989)<sup>28</sup>, (Muñoz Gómez, J.N. y Campos Dueñas, M.; 1992)<sup>79</sup>, (Muñoz

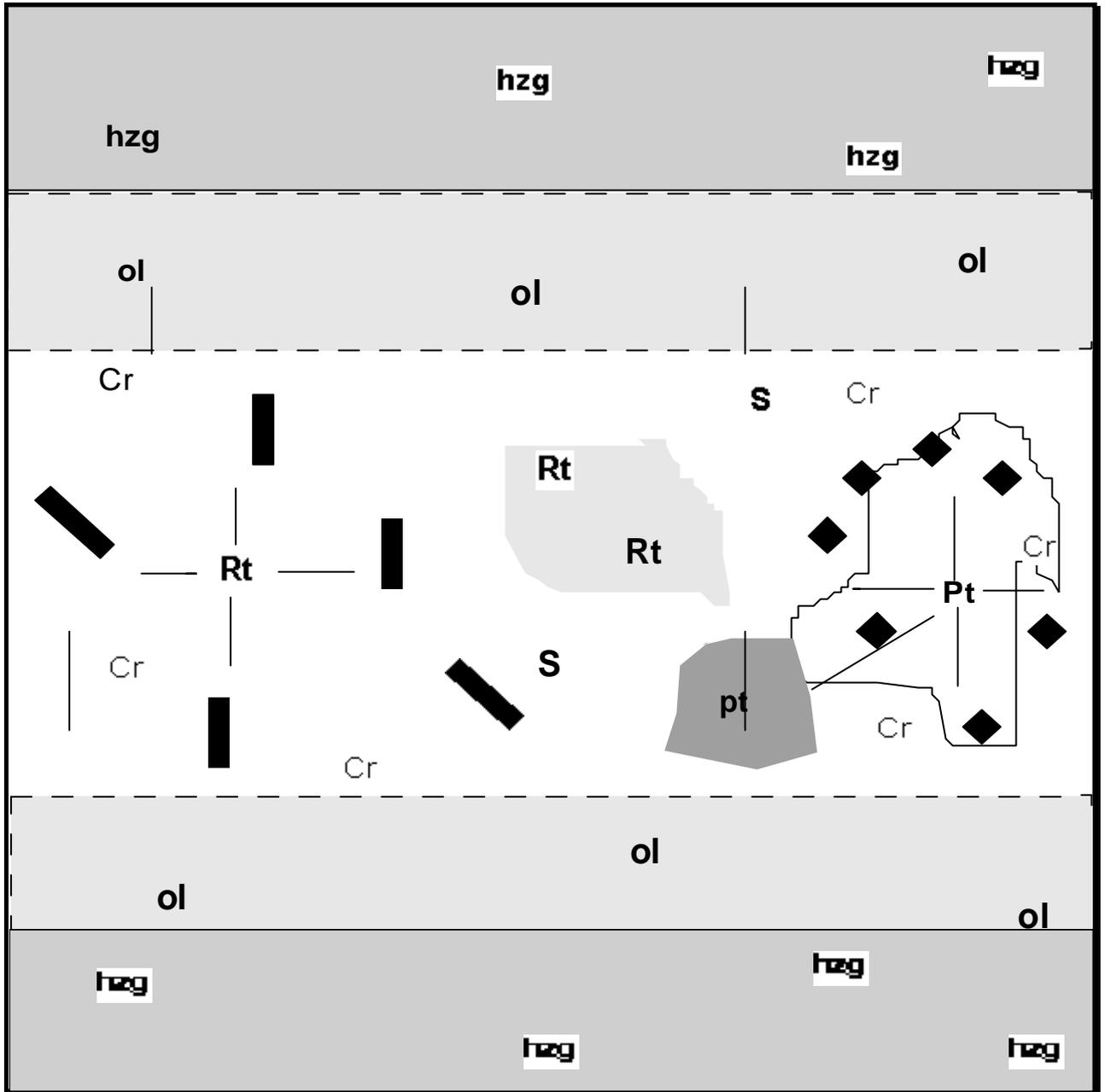


Fig. No. III-18 Modelo teórico de formación de la fase inicial de cristalización de la espinela cromífera (Paragénesis A) (Rt – Rutilo; Cr – Espinela Cromífera; Pt – Minerales del grupo del Platino; S – Sulfuros magmáticos; ol – olivino; hzg – harzburgitas) (Muñoz Gómez, J. N., 1995)<sup>80</sup>

Gómez, J.N.; 1994)<sup>80</sup>. El modelo teórico de la paragénesis está representado en el Fig. No. III-18.

#### **Paragénesis - B -**

En el proceso de consecutividad de cristalización de los minerales se continúa con la formación de los minerales desarrollados en los sistemas de microagrietamiento de los agregados cromíticos, en este estadio o fase de mineralización se produce la cristalización de las menas cromíferas en las cuales se desarrollan texturas metamórficas debido a los efectos del dinamometamorfismo a que fueron sometidas, éstos procesos quedan bien impregnados en los agregados cromíferos debido a la alta dureza de las espinelas cromíferas. En la fase silicatada se segregaron simultáneamente el olivino que se asocia en contacto directo a la espinela cromífera.

En los sistemas de agrietamiento cristalizan el rutilo - II, los sulfuros magmáticos y la serie isomórfica de laurita-erlichmanita - II, en descomposición de soluciones sólidas con la pirrotina-II y pentlandita-II.

Al final de esta fase de mineralización debe de iniciarse el proceso de obducción de los complejos inferiores del corte teórico de la antigua corteza oceánica. La existencia de los sulfuros de hierro, níquel, cobre, osmio y rutenio sirven de fundamento para asegurar que el papel activo del azufre se mantuvo hacia las postrimerías del estadio de mineralización. Lo anterior está representado en el modelo teórico de la paragénesis, Fig. No. III-19.

#### **Paragénesis -C-**

El siguiente estadio o fase de mineralización, (Fase de Serpentinización de los Complejos Máficos y Ultramáficos), representado en la paragénesis - C - vincula las formaciones mineralógicas desarrolladas durante el proceso de serpentinización de los complejos máficos y ultramáficos del corte teórico del complejo ofiolítico. Los minerales típicos representados son la heazlewoodita, mackinawita, magnetita secundaria y minerales serpentiniticos.

Los minerales formados durante esta paragénesis están vinculados a las espinelas cromíferas masivas (espinelas cromíferas - I). El modelo teórico de la paragénesis se representa en el Fig. No. III-20.

#### **Paragénesis -D-**

La fase emplazamiento de los diques de gabro-pegmatitas, están representados por la presencia de minerales petrogénicos, fundamentalmente anortita y piroxenos (enstatita),

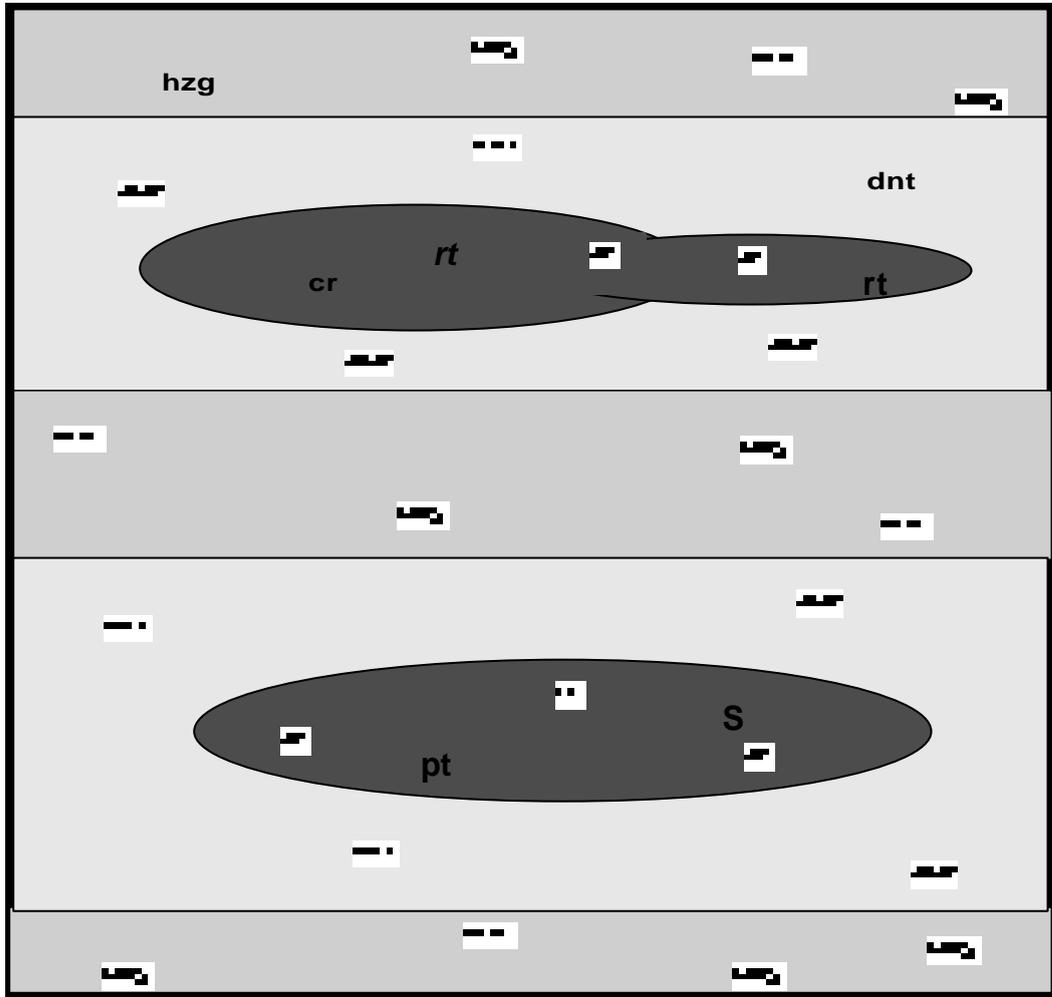


Fig. No. III-19 Modelo teórico de la fase final de cristalización y agrietamiento de la espinela cromífera. Paragénesis B ( Cr- Espinela Cromíferas; Pt - minerales del Grupo del Platino; S ) - Sulfuros Magmáticos, Rt - rutilo I y II; Hzb - Harzburgitas ) ( Muñoz Gómez, J.N., 1995 )<sup>89</sup>.

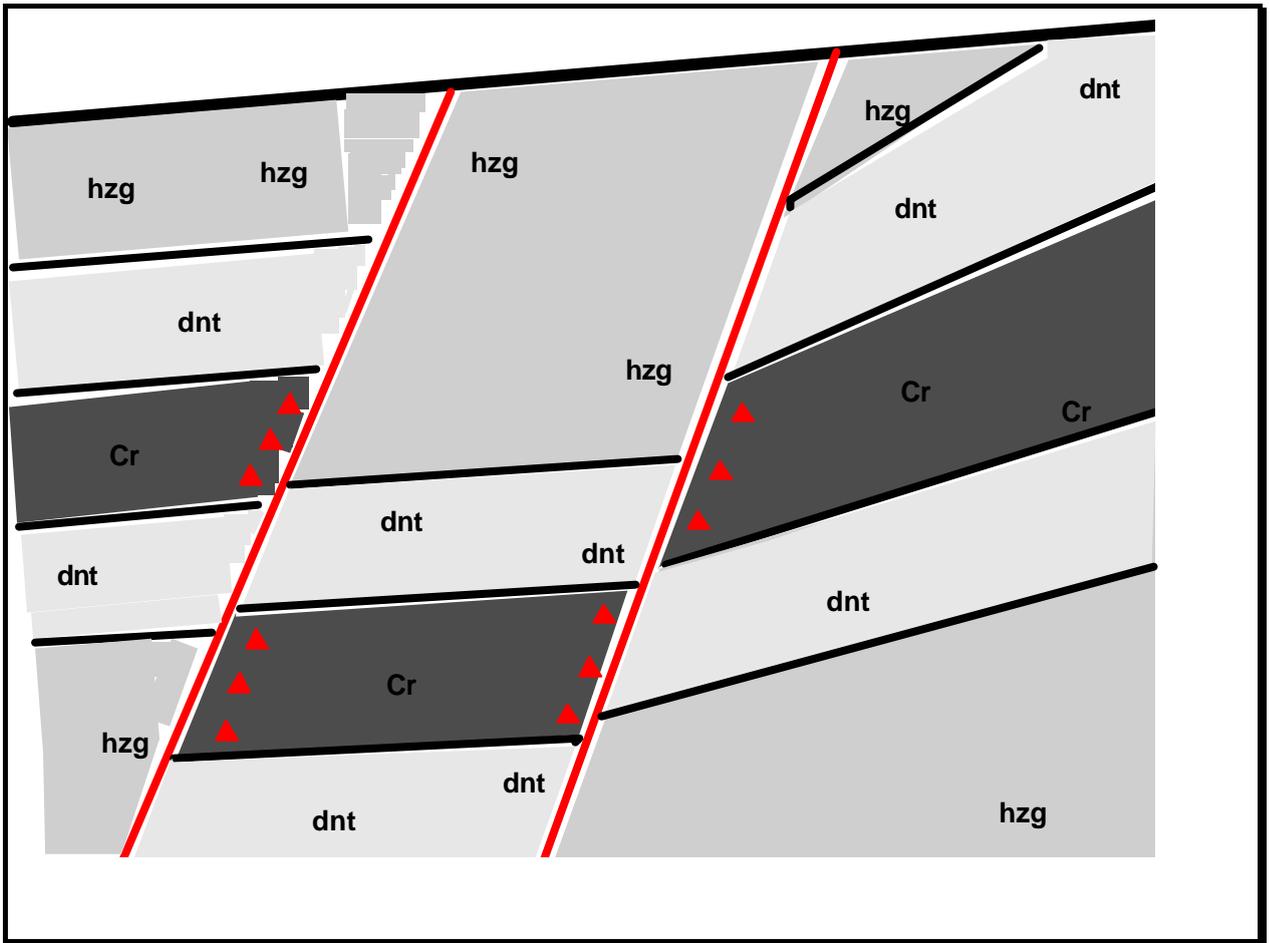


Figura No III-20 Modelo teórico de serpentinización y fallamiento de los cuerpos cromíferos y cristalización de los minerales asociados a los sistemas de microagrietamiento. Paragénesis C. ) (Cr - Espinela cromífera; dnt - Dunita serpentinizada; hzg - Harzburgitas serpentinizadas.)

de acuerdo a la nomenclatura actual (Morimoto, N., et.al., 1988)<sup>87</sup>, así como por la mineralización sulfurosa y la existencia de minerales hipergénicos (óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso) y minerales de la corteza de intemperismo.

Se incluyen además los minerales surgidos por la alteración secundaria de las espinelas cromíferas: kammerita, eskolaita, uvarovita y mariposita.

Se destaca la presencia de espinelas cromíferas brechoide denominada en el esquema de consecutividad de los minerales como espinela cromífera-II, incorporada a los diques de gabro-pegmatitas al penetrar por zonas de fallas cortantes a los cuerpos cromíferos; el carácter diseminado y anguloso de sus fragmentos así lo verifica, la fase queda representada según el modelo teórico, Fig. No. III-21.

El proceso completo de formación de los minerales se representa en el **Orden de Consecutividad de Formación de las Paragénesis Minerales del Yacimiento "Potosí"**. (Fig. No. III-22).

### **Resultados Mineralógicos**

Las investigaciones desarrolladas en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" y las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas ha permitido contribuir al conocimiento científico en el campo de la mineralogía de la mineralización cromífera, enunciándose los resultados mineralógicos siguientes:

1. Se corroboró la presencia de minerales del grupo del platino, asociados a las espinelas cromíferas, a los sulfuros magmáticos primarios en los sistemas de microagrietamiento y en los diques de gabro-pegmatitas representados por los sulfuros primarios de rutenio y de osmio en la serie isomórfica laurita-erlichmanita y emulsión de platino nativo.
2. La existencia del dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), en todas sus formas de existencia, en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" y en los diques de gabro-pegmatitas, lo que constituye una particularidad en la composición mineralógica de las menas cromíferas en la región Moa-Baracoa y se distingue por sus contenidos del resto de los yacimientos cromíferos podiformes cubanos y extranjeros.
3. La identificación y establecimiento de cuatro paragénesis minerales asociadas a la mineralización cromífera del yacimiento "Potosí" es un aporte al conocimiento científico de la mineralogía de las cromititas y a la metalogenia endógena en la región de Moa - Baracoa; siendo el primer yacimiento de espine-

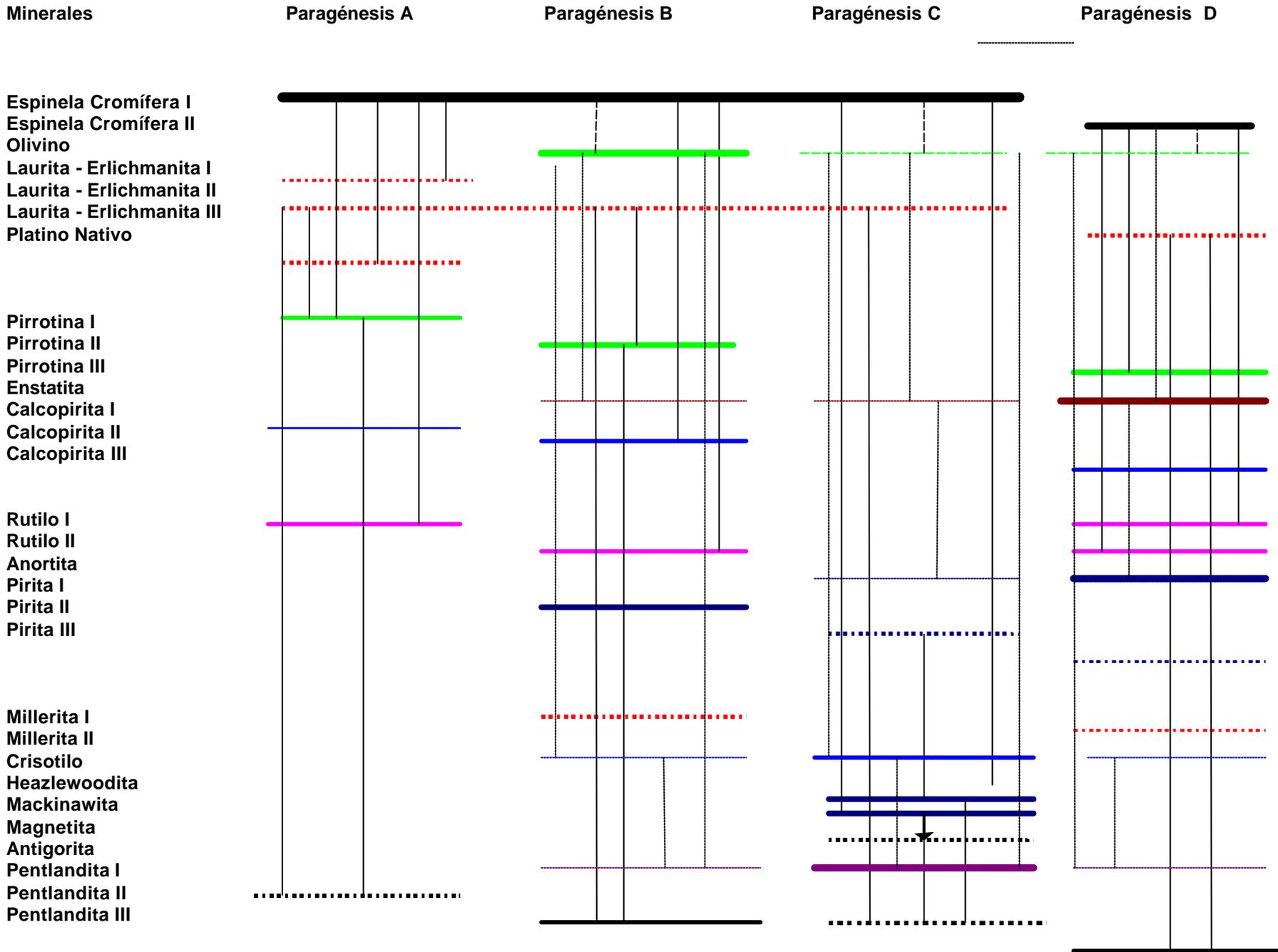


Fig. No III-21 Modelo teórico de la fase de emplazamiento de los diques de gabro-pegmatitas y la mineralización asociada. ( Paragénesis) ( S- Concentración y actividad del azufre; Cr- Espinela cromífera; dnt - Dunitas serpentinizadas; hzg - Harzburgitas serpentinizadas). (Muñoz Gómez, J.N., 1995)<sup>89</sup>,(Lewis, F.J. et al., 1996)<sup>74</sup>.

las cromíferas del país donde se establecieron e identificaron las mismas.

4. Constituye un aporte a la mineralogía de la mineralización cromífera y a la metalogenia endógena de la región de Moa - Baracoa, la elaboración por primera vez, del orden de consecutividad de formación de las paragénesis minerales y los modelos teóricos correspondientes, donde se conjugan la composición de las menas y las condiciones geólogo - estructurales en las que se segregó el yacimiento "Potosí".
5. La existencia de sulfuros magmáticos primarios **-pirrotina-pentlandita-calcopirita** y en menor grado **millerita**, demuestran una alta concentración del níquel y el cobre y una elevada actividad geoquímica asociada a la mineralización cromífera que se extiende hasta los diques de gabro-pegmatitas, indicando que el proceso de cristalización de la espinela cromífera se desarrolló muy próximo al complejo cumulativo máfico, en los cuales el comportamiento geoquímico del níquel, y del cobre es mayor, así como la fugacidad del azufre en comparación con el complejo ultramáfico. Esta conclusión apoya el criterio de que las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" se formaron en la zona de transición entre los complejos máficos y ultramáficos.
6. Los minerales identificados en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" y en los diques de gabro-pegmatitas ponen de manifiesto la elevada fugacidad del azufre durante el largo proceso de **cristalización-obducción-serpentinización-agrietamiento**, lo que se demuestra en la composición sulfurosa de los minerales acompañantes a la mineralización principal.
7. El empleo combinado de los métodos convencionales de microscopía de menas (entre ellos los parámetros ópticos, capacidad de reflejo y microdureza) y microscopía electrónica de barrido permiten, desde el punto de vista del análisis de la composición mineralógica y geoquímica, una identificación precisa de los minerales metálicos. En el caso que nos ocupa, es la primera vez de su empleo simultáneo en el estudio de la mineralización cromífera en la región Moa - Baracoa. El empleo de las microscopía electrónica de barrido ha servido de método de confirmación de los resultados obtenidos con los métodos tradicionales de microscopía de menas.

Fig. 1 ORDEN DE CONSECUTIVIDAD DE FORMACIÓN DE LAS PARAGÉNESIS MINERALES. YACIMIENTO POTOSÍ, MOA



## **CAPITULO IV**

### **CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS DE LA MINERALIZACION CROMIFERA DEL YACIMIENTO "POTOSI"**

## Capítulo IV. Características Geoquímicas de la Mineralización Cromífera del Yacimiento “Potosí”

Introducción

Macrocomponentes

Microcomponentes

Relaciones geoquímicas catiónicas

Hipótesis de segregación de la espinela cromífera

Resultados geoquímicos.

### Introducción

El presente capítulo, similar en su contenido al Capítulo II, tiene como objetivo fundamental analizar, desde el punto de vista geoquímico, el comportamiento y papel de los elementos químicos que integran la celda elemental de la espinela cromífera y las implicaciones genéticas y de prospección de la mineralización cromífera en el área del yacimiento “Potosí”.

Se analiza la composición elemental de la espinela cromífera en todas sus formas de existencia y sus relaciones mutuas. Como fundamento analítico se cuenta con los resultados de 198 muestras de microscopía electrónica de barrido, mediante el empleo de esa técnica se determinó la composición química de las mismas, expresada en óxidos de los elementos químicos que conforman la celda unidad del mineral.

La mineralización cromífera en el área del yacimiento “Potosí” está representada en la existencia de las espinelas cromíferas, las que se manifiestan en:

- Espinelas cromíferas masivas del nivel # 2 (41 muestras)
- Espinelas cromíferas diseminadas (9 muestras)
- Espinelas cromíferas en diques de gabro-pegmatitas (85 muestras)
- Espinelas cromíferas en contacto con litologías del complejo máfico (38 muestras)
- Espinelas cromíferas accesorias en litologías del complejo ultramáfico serpentizado (25 muestras).

Las espinelas cromíferas del nivel # 2 y las espinelas cromíferas diseminadas conforman las menas cromíferas propiamente dichas del yacimiento “Potosí”.

## Macrocomponentes

Atendiendo a la composición química de la espinela cromífera se definieron los macrocomponentes y microcomponentes en función de los contenidos en la celda unidad. Los macrocomponentes están representados por los contenidos en óxidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{FeO}$  -  $\text{MgO}$  y los microcomponentes por  $\text{TiO}_2$  -  $\text{NiO}$  -  $\text{MnO}$ , (todos en por ciento en peso).

A continuación se recoge la composición química de las espinelas cromíferas en todas sus formas de existencia:

**Tabla No. IV-1** Contenidos de los componentes principales de las espinelas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

Oxidos	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
$\text{Cr}_2\text{O}_3\%$	44.94	37.78	40.5075	7.16
$\text{FeO}\%$	28.17	14.42	17.4234	13.74
$\text{MgO}\%$	15.9097	10.85	14.461	5.0597
$\text{Al}_2\text{O}_3\%$	27.3561	18.88	25.4129	8.4761
$\text{TiO}_2\%$	2.24	0.003	0.3905	2.237
$\text{NiO}\%$	0.467	0	0.238	0.467
$\text{MnO}\%$	0.3801	0.1216	0.2728	0.2585

**Tabla No. IV-2** Contenidos de los componentes principales de las espinelas cromíferas en las menas diseminadas yacimiento "Potosí", Moa. [nd - no determinado]

Oxidos	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
$\text{Cr}_2\text{O}_3\%$	38.9615	37.9262	38.6599	1.0353
$\text{FeO}\%$	24.4743	24.1807	24.3387	0.2936
$\text{MgO}\%$	11.9293	11.425	11.7475	0.6043
$\text{Al}_2\text{O}_3\%$	21.6803	20.7477	21.0986	0.9326
$\text{TiO}_2\%$	1.3493	1.1803	1.253	0.169
$\text{NiO}\%$	0.3777	0.2198	0.2982	0.1578
$\text{MnO}\%$	nd	nd	nd	nd

**Tabla No. IV-3** Contenidos de los componentes principales de las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas del yacimiento "Potosí", Moa. [nd - no determinado]

Oxidos	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
$\text{Cr}_2\text{O}_3\%$	41.3563	36.7976	39.6207	4.5588
$\text{FeO}\%$	29.4673	14.9973	21.4389	14.47
$\text{MgO}\%$	15.6022	8.547	12.832	7.0562
$\text{Al}_2\text{O}_3\%$	26.2154	19.834	22.9973	6.3814
$\text{TiO}_2\%$	6.8508	0.1741	0.8049	6.6768
$\text{NiO}\%$	0.3834	0.1532	0.2948	0.2302
$\text{MnO}\%$	nd	nd	nd	nd

Tabla No. IV-4 Contenidos de los componentes principales de las espinelas cromíferas en contacto con litologías del complejo máfico del yacimiento "Potosí", Moa.

Oxidos	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	42.9846	39.4491	41.0794	3.5355
FeO%	19.0921	14.7433	16.1645	4.3488
MgO%	16.1774	13.3623	15.0655	2.8161
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	27.8595	21.7903	25.1617	6.0692
TiO <sub>2</sub> %	0.7021	0.092	0.345	0.6101
NiO%	0.4031	0.1888	0.3154	0.2142
MnO%	nd	nd	nd	nd

Además de las menas cromíferas se incluyen las espinelas cromíferas asociadas a los diques de gabro-pegmatitas (espinela cromífera - II), se tienen además las espinelas cromíferas en contacto con gabros, las que están referidas a las espinelas cromíferas que en forma de pequeños lentes se encuentran en contacto con litologías del complejo máfico. Por último, las espinelas cromíferas accesorias en las litologías ultramáficas están relacionadas con espinelas cromíferas en dunitas serpentizadas, harzburgitas serpentizadas y en menor grado con lherzolitas y wehrlitas serpentizadas.

Tabla No. IV-5 Contenidos de los componentes principales de las espinelas cromíferas accesorias en litologías ultramáficas del yacimiento "Potosí", Moa.

Oxidos	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	43.0628	34.7659	40.2602	8.2969
FeO%	28.0347	17.3313	21.5181	10.7034
MgO%	13.2485	8.8376	11.3442	4.4108
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	27.6831	21.0203	24.159	6.6628
TiO <sub>2</sub> %	0.8112	0.025	0.2667	0.7862
NiO%	0.39091	0.2067	0.2944	0.1841
MnO%	nd	nd	nd	nd

Tabla No. IV-6 Valores medios de los contenidos de los componentes principales de las espinelas cromíferas en el yacimiento "Potosí", Moa. [*scrmas*- espinelas cromíferas masivas; *scrdis*- espinelas cromíferas diseminadas; *scrgrpt*- espinelas cromíferas en diques de gabro-pegmatitas; *scrgrbr*- espinelas cromíferas en contactos con gabros; *scracc*- espinelas cromíferas accesorias en litologías ultramáficas.; *nd* - no determinado].

Oxidos	scrmas	scrdis	scrgrpt	scrgrbr	scracc
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	40.507	38.6599	39.5502	41.0794	40.2602
MgO%	14.461	11.7475	12.5785	15.0655	11.3442
FeO%	17.4234	24.3387	21.9906	16.1645	21.5181
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	25.4129	21.0986	22.6685	25.1617	24.159
TiO <sub>2</sub> %	0.3905	1.253	0.8723	0.345	0.2667
NiO%	0.238	0.2982	0.2921	0.3164	0.2944
MnO%	0.2728	nd	nd	nd	nd

**Tabla No. IV-7 Valores medios de los principales componentes de las menas de los yacimientos cromíferos de la región de Moa-Baracoa. Resultados analíticos de microscopía electrónica de barrido.[FeO% como hierro total de acuerdo a las características de la técnica de análisis].**

Yacimientos	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	FeO%	MgO%	TiO <sub>2</sub> %	MnO%	Total
Cayoguam	40.75	26.98	15.99	14.93	0.29	0.21	99.14
Potosí	39.98	22.83	22.09	13.01	1.06	0.27	99.24
Amores	36.17	27.32	17.76	18.26	0.24	0.19	99.94
Mercedita	38.43	29.14	14.53	16.54	0.28	0.26	99.18

Los contenidos de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en las espinelas cromíferas de las menas del yacimiento “Potosí” son casi similar a los contenidos en las espinelas cromíferas en el yacimiento “Cayo Guan” y superiores al resto de los yacimientos de región de Moa-Baracoa, presentándose ligeras diferencias entre las menas masivas y las menas diseminadas (rangos estadísticos próximos a la unidad).

Es de destacar que los contenidos de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en las espinelas cromíferas de los diques de gabro-pegmatitas y las que se encuentran en contacto con litologías del complejo máfico resultan superiores a los de las menas cromíferas masivas (Tablas No. IV-4 y IV-5).

Las espinelas cromíferas accesorias en las litologías del complejo ultramáfico serpentizado presentan los contenidos más altos de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en relación con el resto de las espinelas cromíferas, estas espinelas cromíferas se localizan en las dunitas serpentizadas y harzburgitas serpentizadas .

Las relaciones entre los contenidos de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en las menas cromíferas masivas se expresan gráficamente, comprobándose una correlación entre ambos contenidos (coeficiente de correlación: 0,42899).

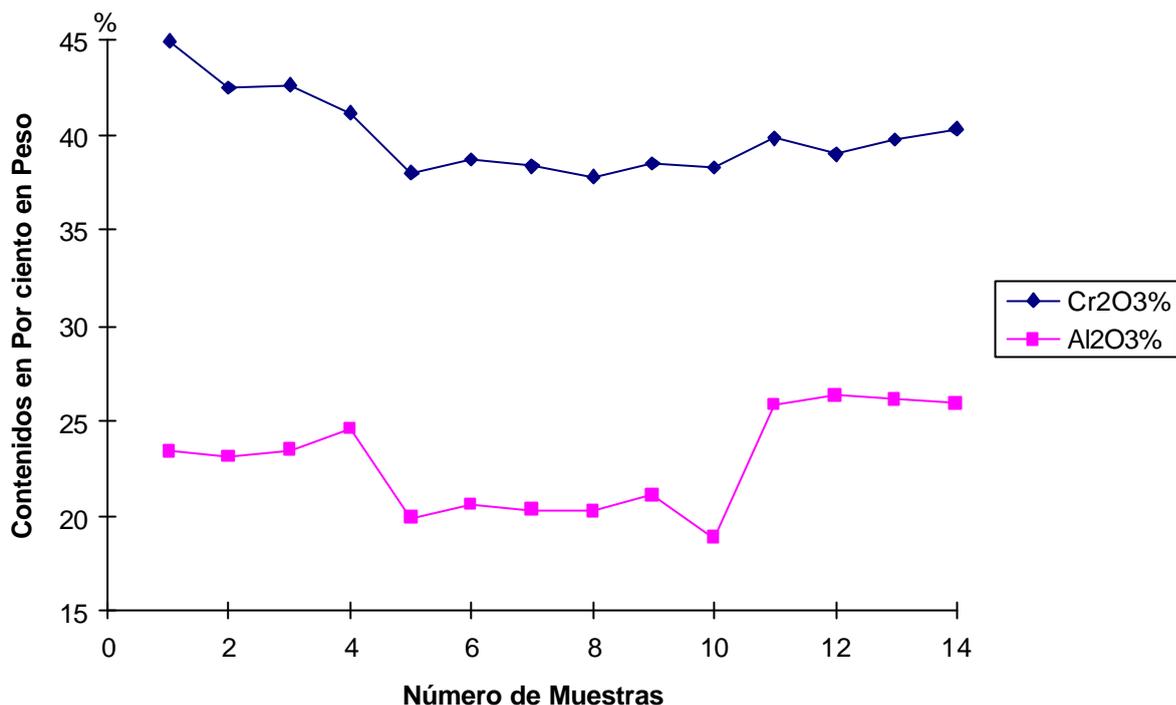


Fig. No. IV-1 Diagrama de variación de los contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

La relación geoquímica  $\#Cr = [\text{Cr}^{3+}/(\text{Cr}^{3+} + \text{Al}^{3+})]$  permite establecer las dependencias entre ambos elementos en forma catiónica en la celda unidad, así para las menas cromíferas masivas se determinó el intervalo:  $\#Cr = 0,49 - 0,65$ ; los extremos del intervalo representan los contenidos para las muestras de bajo contenido de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y alto contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\#Cr = 0,49$ ) y las muestras de alto contenido de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y bajo contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\#Cr = 0,65$ ), respectivamente. Relaciones similares a la expuesta han sido publicadas por Arai y Yurimoto en menas cromíferas masivas en Japón (Arai, S., Yurimoto, H.; 1994)<sup>6</sup>.

Los contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se han utilizado para establecer el carácter podiforme o estratiforme de la mineralización cromífera y para discriminar desde el punto de vista industrial las menas cromíferas refractarias de las metalúrgicas.

En el caso particular de las menas cromíferas del yacimiento "Potosí" se definen como menas refractarias con un contenido medio de 22,83% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , aunque presentan el contenido más bajo entre los cuatro principales yacimientos de la región de Moa-Baracoa (Tabla No. IV-7). También las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" se ubican en las menas podiformes con contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  igual a los reportados por Leblanc al estudiar las menas cromíferas podiformes en Nueva Caledonia (Leblanc, M., et al., 1990)<sup>71</sup>.

Al analizar la relación entre los contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y  $\text{MgO}$  se comprueba una baja correlación positiva (coeficiente de correlación: 0,4833), quedando representada gráficamente en la Fig. No. IV-2.

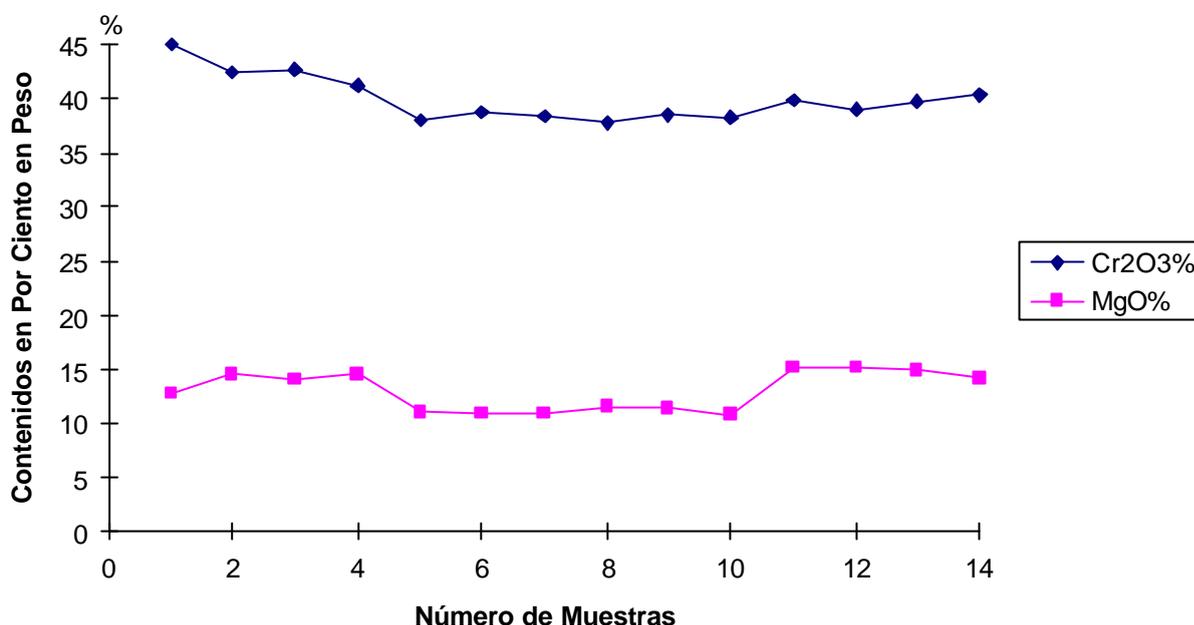


Fig. No. IV-2 Diagrama de variación entre los contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3\%$  y  $\text{MgO}\%$  en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

La relación geoquímica  $\# \text{Mg} = [\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})]$  permite analizar las relaciones entre los cationes:  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  para el caso específico del yacimiento "Potosí" se calcularon valores de  $\# \text{Mg} = 0,49 - 0,68$ ; los extremos del intervalo representan a las menas de bajo contenido de magnesio y alto contenido de hierro ( $\# \text{Mg} = 0,49$ ) y las menas de alto contenido de magnesio y bajo de hierro ( $\# \text{Mg} = 0,68$ ), respectivamente.

En correspondencia con los datos expuestos las espinelas cromíferas del área del yacimiento "Potosí" presentan contenidos relativamente bajos de  $\text{MgO}\%$ ; sólo en las espinelas cromíferas en contactos con las litologías del complejo máfico presentan un valor medio de  $\text{MgO} = 15,0655\%$ , los que se corresponden con los contenidos de las espinelas cromíferas podiformes.

En el resto de las espinelas cromíferas, incluyendo las menas del yacimiento "Potosí", sus contenidos de  $\text{MgO}$  se correlacionan con las menas cromíferas con características estratiformes en correspondencia con los trabajos publicados de Thayer, Wang y

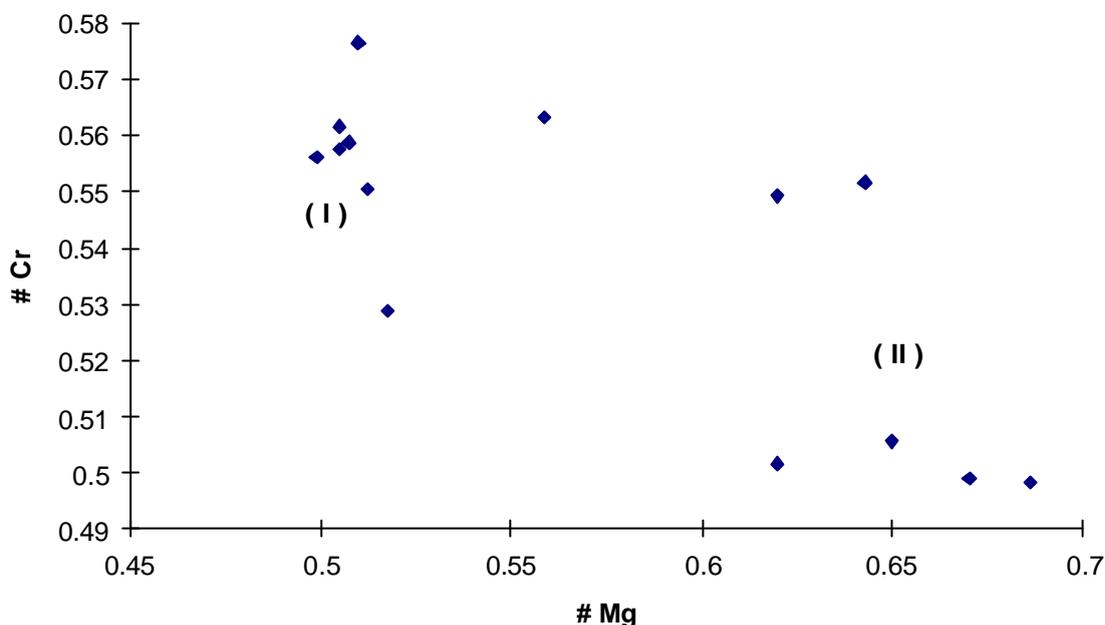
Leblanc en Turkia, China y Nueva Caledonia, respectivamente (Thayer, T. P., 1964)<sup>112</sup>, (Wang, X. And Peisheng, B., 1994)<sup>118</sup> y (Leblanc, M., et al., 1990)<sup>71</sup>.

Al analizarse la relación geoquímica  $\# Cr = [Cr^{3+} / (Cr^{3+} + Al^{3+})]$  y el  $\# Mg = [Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+})]$ , representada gráficamente en la Fig. No. IV-3, quedan bien definidos dos campos de las menas cromíferas masivas; el campo **(I)** donde las menas presentan un alto contenido de  $Cr_2O_3$  y bajo contenido de  $Al_2O_3$  (**# Mg: 0,49 - 0,56 ; # Cr: 0,52 - 0,60**), con bajo contenido de MgO y alto contenido de FeO; y el segundo campo **(II)** donde las menas presentan un bajo contenido de  $Cr_2O_3$  con un alto contenido de  $Al_2O_3$  y MgO (**# Mg: 0,63 - 0,68 ; # Cr: 0,495 - 0,555**).

Se puede concluir, desde el punto de vista económico, que las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí" manifiestan tendencia a menas cromíferas metalúrgicas (campo - I) y tendencia a menas cromíferas refractarias (campo - II).

Atendiendo a los contenidos de FeO en las espinelas cromíferas del yacimiento "Potosí" (menas masivas y diseminadas), así como las que están asociadas en los diques de gabro-pegmatitas y las espinelas cromíferas en contacto con litologías del complejo máfico se destacan por los altos valores de FeO%; siendo los contenidos más altos de la región de Moa-Baracoa.

Esos valores están muy por encima de los valores promedios calculados internacionalmente para menas cromíferas podiformes para las cuales se sitúa el contenido de **FeO = 15,0%** (valor máximo) (Thayer, T.P.; 1969)<sup>113</sup>, (Dickey, J.S. Jr.;1975)<sup>25</sup> y (Leblanc, M., Violette, F.J.; 1983)<sup>67</sup>. Por el valor de los contenidos de FeO% se corresponden con los valores determinados para las menas cromíferas estratiformes tales como los publicados por Christian, H. Y Gauthier (Christian, H.M., and Johan, D.;1982)<sup>20</sup> y (Gauthier,M.,et.al., 1990)<sup>37</sup>.



**Fig. No. IV-3** Diagrama de dispersión entre las relaciones geoquímicas de  $\# Cr = [Cr^{3+}/(Cr^{3+} + Al^{3+})]$  y el  $\# Mg = [Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{2+})]$  en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

Como puede observarse solo las espinelas cromíferas en contacto con litologías del complejo máfico presentan contenidos medios de FeO% próximos al valor establecido (valor medio: 16,1645%, Tabla No. IV-6).

Dando continuidad al análisis debe señalarse que las menas diseminadas mantienen valores altos (FeO = 24,3387%) pero casi constantes, al presentar un rango estadístico de 0,2936% (Tabla No. IV-2), en ese sentido, se destaca que las espinelas cromíferas accesorias en las litologías ultramáficas se vinculan con los mayores contenidos de FeO (valor máximo de FeO = 28,0347%), localizándose los mayores contenidos en las dunitas serpentinizadas y harzburgitas serpentinizadas, disminuyendo ligeramente hacia las lherzolitas y wehrlitas serpentinizadas.

Los altos valores de FeO% en todas las espinelas cromíferas del área del yacimiento "Potosí" sitúan a las mismas con características de menas cromíferas estratiformes, lo que puede explicarse a partir de un incremento de la actividad geoquímica del hierro durante los procesos de obducción de la antigua corteza oceánica y durante el proceso de serpentinización de los complejos máficos y ultramáficos; no descartándose la posibilidad de que las menas cromíferas propiamente dichas, respondan a las

características de las menas estratiformes, sustentados en los contenidos absolutos de FeO en la celda unidad de la espinela cromífera.

Al analizar las relaciones entre los contenidos de FeO y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí” se ha podido corroborar las dos tendencias de las menas -refractarias y metalúrgicas- tal como se representa en el Fig. No. IV-4.

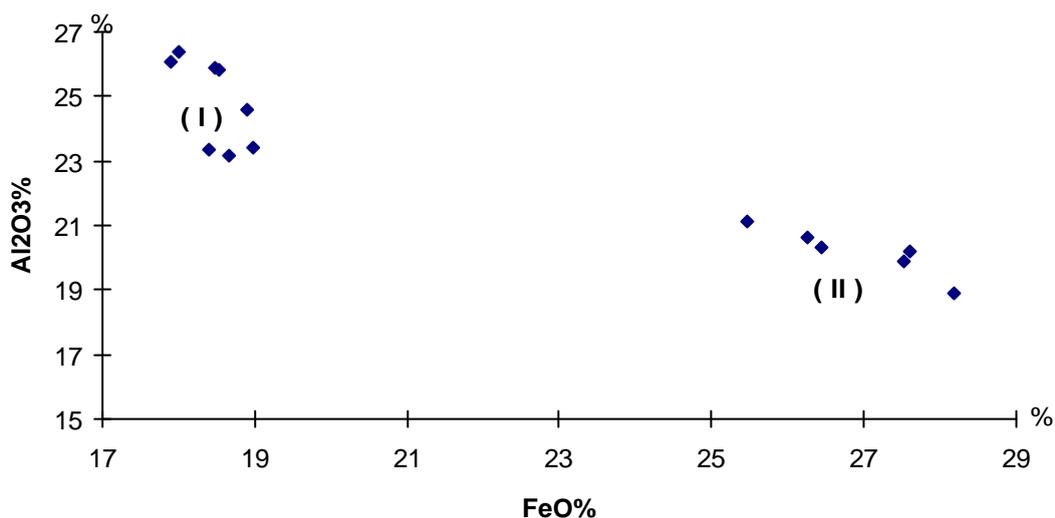


Fig. No. IV-4 Diagrama de dispersión entre los contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>% y FeO% en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa.

Como se puede concluir, en el campo (I) se representan las muestras que tienen alto contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y bajo contenido de FeO (tendencia refractaria) y en el segundo campo (II) donde se representan las muestras que contienen alto contenido de FeO y bajo contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Los dos campos se excluyen dado las relaciones inversas de los contenidos de FeO y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí” y comprobadas también en el yacimiento “Cayo Guan” (Capítulo - II). Así, se ha podido comprobar la correlación inversa antes señalada, donde al incrementarse los contenidos de FeO en las menas cromíferas masivas disminuye el contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y viceversa (**coeficiente de correlación: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>% - FeO% = - 0,93569**).

Tal relación de los contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y FeO ha sido comprobada y demostrada en la literatura internacional como la citada por Leblanc en los yacimientos de Filipinas (Leblanc, M., Violette, J.F., 1983)<sup>67</sup>.

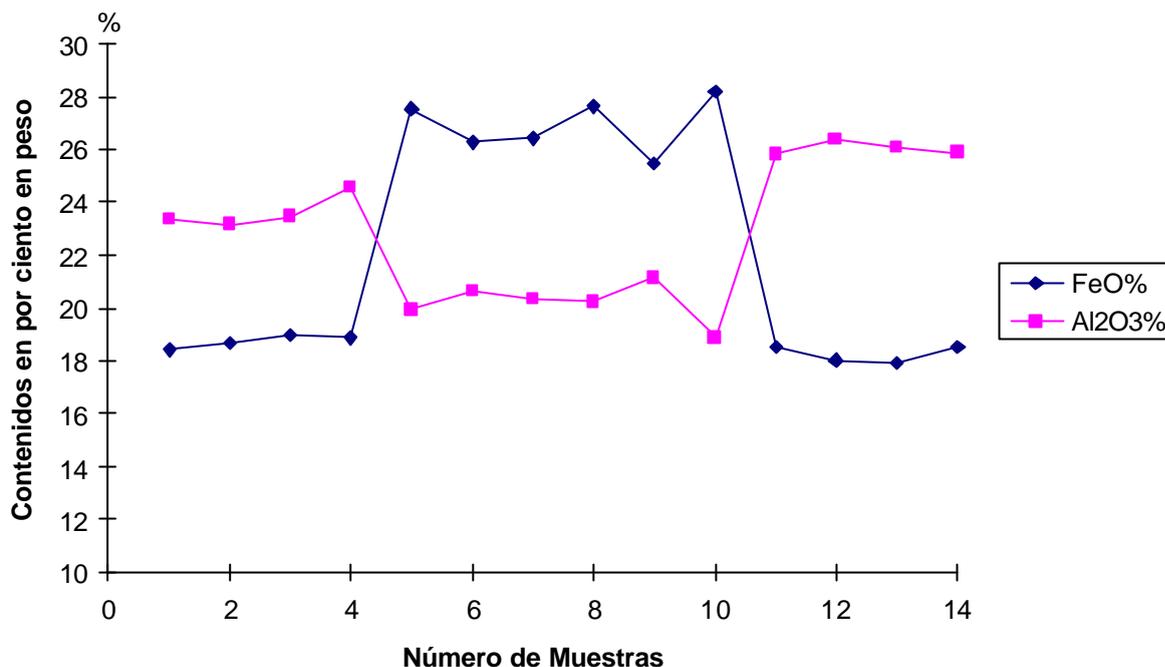


Fig. No. IV-5 Diagrama de variación comparativo de los contenidos de FeO% y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>% en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

### Microcomponentes

Los microcomponentes en las espinelas cromíferas **TiO<sub>2</sub> - MnO - NiO** fueron determinados a través de microscopía electrónica de barrido y sus contenidos se exponen en las Tablas No. IV-1 hasta No. IV-6, ambas inclusive.

Como ha sido analizado con anterioridad (Capítulo-II) los contenidos de **TiO<sub>2</sub>** en las espinelas cromíferas han sido empleados para discriminar la génesis de los yacimientos cromíferos podiformes - **asociados a los complejos ofiolíticos** - y de los yacimientos cromíferos estratiformes - **vinculados a intrusiones estratiformes en placas continentales** - varios autores han utilizado el dióxido de titanio como indicador petrogenético y genético, entre ellos Leblanc y sus colaboradores (Leblanc, M., Violette, J.F., 1983)<sup>67</sup>, Thayer (Thayer, T.P., 1964)<sup>112</sup> y Dickey (Dickey, J.S.Jr., 1975)<sup>25</sup>. Así, Leblanc al investigar las menas cromíferas podiformes del yacimiento "Coto" en Filipinas expone: "... *The low and constant TiO<sub>2</sub> content (about 0,25%) is also characteristic of the podiform deposits (Dickey, 1975, Leblanc et.al., 1980). In contrast, the TiO<sub>2</sub> content of chromite in stratiform deposits is higher and increases with the iron content...*" pág. 296 (Leblanc, M. And Violette, J.F.; 1975)<sup>67</sup>.

Al analizar los resultados analíticos en relación a los contenidos de TiO<sub>2</sub> en las espinelas cromíferas del área del yacimiento "Potosí" se corrobora en todos los casos

que el valor de  $\text{TiO}_2$  está por encima del valor establecido como límite para discriminar las menas podiformes de las estratiformes (Tabla No. IV-6), solo las espinelas cromíferas accesorias en las litologías ultramáficas presentan valores medios muy próximos al 0,25% de dióxido de titanio.

En las menas cromíferas del yacimiento "Potosí" se tienen valores muy bajos (mínimo: 0,003%) hasta valores muy altos de 2,24% de  $\text{TiO}_2$ , lo que se explica por el hecho de que en las menas cromíferas existe  $\text{TiO}_2$  libre, en forma de cristales idiomórficos aciculares de rutilo (rutilo-I) y en forma de descomposición de soluciones sólidas, además no se excluye la posibilidad de la existencia de ulvöespinela ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ) en forma de texturas de descomposición de soluciones sólidas; situación semejante, referidos a la existencia de rutilo libre y a las texturas de descomposición de soluciones sólidas en las espinelas cromíferas fueron estudiadas por Ramdohr y Schneidrhölm, citados en Goldschmidt (Goldschmidt, V.M., 1970)<sup>40</sup>.

Los contenidos muy altos de  $\text{TiO}_2$  en las menas se explican porque el haz de electrones de la microsonda incide directamente en cristales de rutilo o muy próximo a ellos.

No obstante, el valor medio de los contenidos de  $\text{TiO}_2$  para las menas del yacimiento "Potosí", donde se incluyen las menas masivas y las menas diseminadas, está por encima del 0,25% establecido internacionalmente, destacándose las espinelas cromíferas diseminadas con valores medios de 1,25% de  $\text{TiO}_2$ . Así, en las condiciones analizadas los bajos contenidos de  $\text{TiO}_2$  están referidos a los ubicados en la celda unidad de la espinela cromífera (en la posición  $\text{Y}^{3+}$ ) en forma del catión  $\text{Ti}^{3+}$  y los altos contenidos están dados por la existencia de rutilo libre en el seno de la espinela cromífera, en este caso el titanio está en forma de  $\text{Ti}^{4+}$ .

Las relaciones del  $\text{TiO}_2$  con el resto de los componentes de las menas cromíferas masivas demuestran un comportamiento típico de los yacimientos cromíferos estratiformes, tal como se representan en los gráficos de dispersión.

Obsérvese en la Fig. No. IV-6 donde se manifiesta una relación inversa entre los contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  y  $\text{Cr}_2\text{O}_3\%$ , las menas de menor contenido de  $\text{TiO}_2$  presentan mayor contenido de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (campo -I) y viceversa (campo -II). En relación a los contenidos de  $\text{FeO}\%$  y  $\text{TiO}_2\%$  en las menas cromíferas masivas se comprueba una correlación directa entre ambos, así a bajos contenidos de  $\text{FeO}$  le corresponden bajos contenidos de  $\text{TiO}_2$  y a altos contenidos de  $\text{FeO}$  le corresponden altos valores de  $\text{TiO}_2$ , verificándose lo expresado anteriormente por Leblanc y sus colaboradores en relación con el

incremento del FeO en las espinelas cromíferas, originando un incremento de los contenidos de  $\text{TiO}_2$  (Leblanc, M., and Violette, J.F., 1983)<sup>67</sup>, (Leblanc, M., Nicolas, A., 1992)<sup>68</sup>.

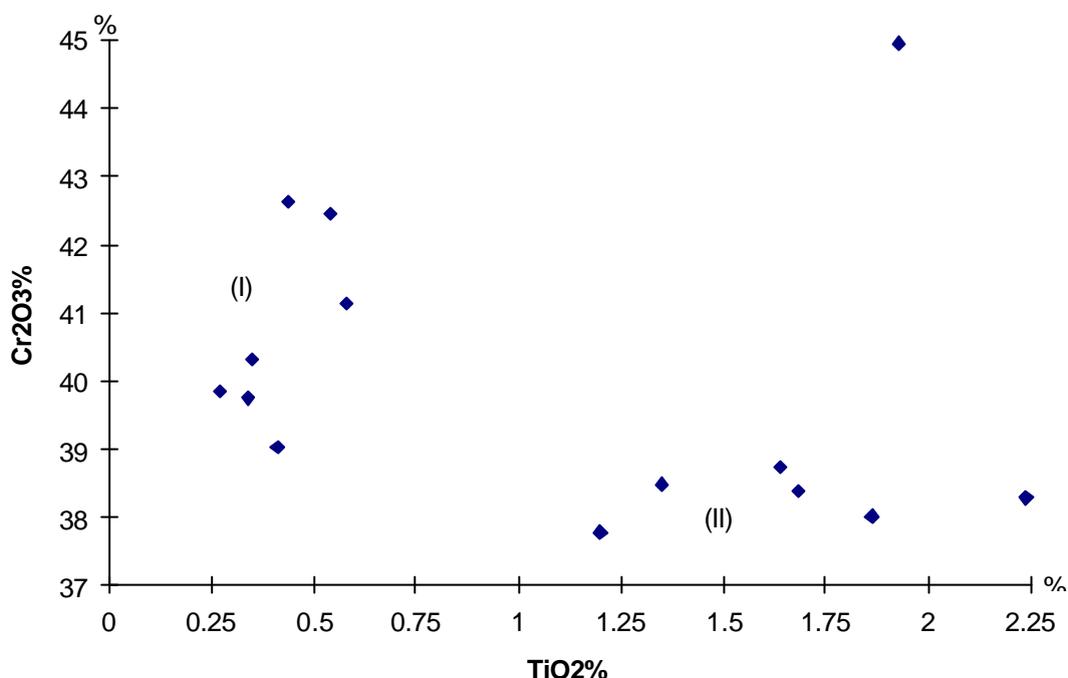


Fig. No. IV-6 Diagrama de dispersión de los contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  y  $\text{Cr}_2\text{O}_3\%$  en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

Constituye una característica geoquímica típica de las menas cromíferas estratiformes el incremento del contenido de  $\text{TiO}_2$  al aumentar los contenidos de FeO, tal como queda representado en la Fig. No. IV-7.

Las muestras correspondientes a las espinelas cromíferas masivas del nivel # 2 (sp-n#2), están por debajo del 0,25% de  $\text{TiO}_2$ .

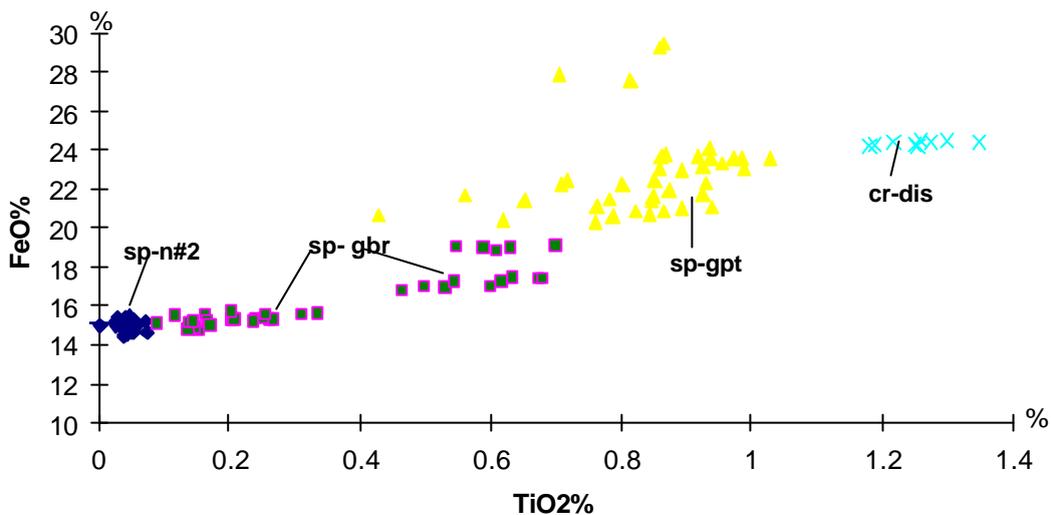
Se destacan dos campos bien delimitados que se corresponden con las espinelas cromíferas en contacto con litologías del complejo máfico:  $0,1\% < \text{TiO}_2 < 0,40\%$  y un segundo campo:  $0,40\% < \text{TiO}_2 < 0,75\%$ .

Todas las espinelas cromíferas asociadas espacialmente a los diques de gabro-pegmatitas presentan valores de  $\text{TiO}_2$  mayores a  $0,40\%$  y menores a  $1,10\%$ .

Como se ha señalado, las menas diseminadas presentan valores de  $\text{TiO}_2$  superiores a la unidad y como valor medio  $1,2530\%$  y en correspondencia con los contenidos de FeO, éstas presentan los mayores contenidos de FeO en toda el área del yacimiento

“Potosí” con un valor medio de **24,3387%** de FeO y un rango estadístico muy limitado corroborándose casi un valor constante del hierro ferroso para esas espinelas cromíferas.

Al comparar los contenidos de TiO<sub>2</sub> con otros yacimientos cromíferos se verifica que en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí” sus contenidos de TiO<sub>2</sub> son los más altos reportados, no sólo para los yacimientos cubanos sino también comparándolos con otros yacimiento extranjeros (Tabla No. II-2) y (Tabla No. IV-7).



**Fig. No. IV-7** Diagrama de dispersión entre los contenidos de FeO% y TiO<sub>2</sub>% en espinelas cromíferas del yacimiento “Potosí”, Moa. [*sp - n#2*: espinelas cromíferas del nivel No. 2; *sp - gbr*: espinelas cromíferas en contacto con litologías del complejo máfico; *sp - gpt*: espinelas cromíferas en diques de gabro-pegmatitas; *sp - crdis*: espinelas cromíferas en menas diseminadas].

En todos los casos al relacionarse los contenidos de TiO<sub>2</sub> con el resto de los componentes se delimitan bien dos campos (I - II), las relaciones geoquímicas antes analizadas constituyen una característica típica de las menas cromíferas estratiformes, lo anterior queda corroborado en la relación de los contenidos de TiO<sub>2</sub> con Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la Fig. No. IV-8, delimitándose también los dos campos anteriormente señalados, pero las relaciones son completamente inversas, las menas cromíferas masivas con más bajo contenido de TiO<sub>2</sub> le corresponden contenidos altos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (campo - I), en cambio, los contenidos más altos de TiO<sub>2</sub> se corresponden con los valores mas bajos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (campo - II). Lo expresado confirma que los contenidos de titanio en la celda unidad de la espinela cromífera ocupan la posición de los cationes trivalentes (Y<sup>3+</sup>).

Al analizar la dependencia de los contenidos de  $TiO_2$  en las menas cromíferas masivas y diseminadas del yacimiento "Potosí" con el resto de los componentes principales se verifica la existencia de una alta correlación negativa, con excepción del hierro y ligeramente positiva con respecto a los contenidos de  $MnO\%$ .(Tabla No. IV-8).

Los contenidos de  $TiO_2$  en las menas del yacimiento "Potosí" constituyen un caso inusual para las menas cromíferas (consideradas hasta ahora como yacimientos cromíferos podiformes), por los altos contenidos de  $TiO_2$ . Casos similares fueron reportados por Cameron al estudiar las menas cromíferas de la porción oriental del complejo de Bushveld, Sudáfrica (Cameron, E.N., 1973)<sup>18</sup>, en las que se localizan altos contenidos del dióxido de titanio.

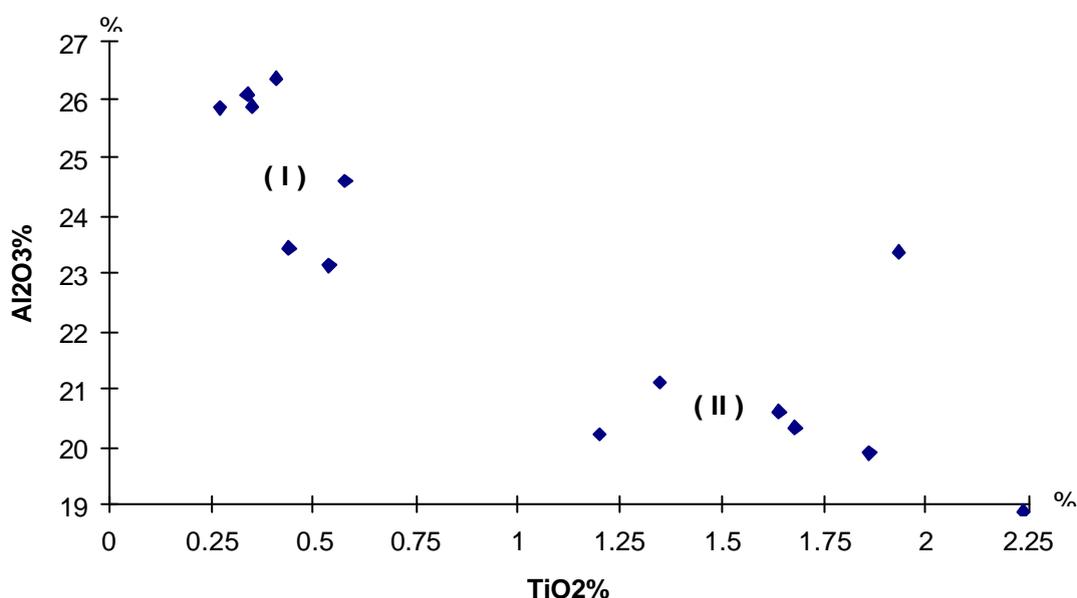


Fig. No. IV-8 Diagrama de dispersión de los contenidos de  $TiO_2\%$  y  $Al_2O_3\%$  en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

Tabla No. IV-8 Coeficientes de correlación de los principales componentes de las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

Oxidos	$Cr_2O_3\%$	$Al_2O_3\%$	$FeO\%$	$MgO\%$	$TiO_2\%$	$MnO\%$
$Cr_2O_3\%$	1	0.42899	-0.70448	0.48433	-0.23209	-0.16092
$Al_2O_3\%$	0.42899	1	-0.93569	0.94641	-0.85321	-0.15391
$FeO\%$	-0.70448	-0.93569	1	-0.94161	0.77676	0.1682
$MgO\%$	0.48433	0.94641	-0.94161	1	-0.89975	0.94641
$TiO_2\%$	-0.23209	-0.85321	0.77676	-0.89975	1	0.12812
$MnO\%$	-0.16092	-0.15391	0.1682	0.94641	0.12812	1

Los contenidos de NiO en las espinelas cromíferas en el área del yacimiento "Potosí" se comportan con bastante regularidad, no apreciándose valores significativos. De acuerdo con los datos expuestos, los contenidos más bajos se relacionan con las menas del yacimiento "Potosí", siendo las menas masivas las de más bajos contenidos y las menas diseminadas las de mayor contenido. Valores semejantes muestran las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas y las espinelas cromíferas accesorias en las litologías ultramáficas serpentinizadas, donde los mayores contenidos se localizan en las espinelas cromíferas que se ubican en contacto con las litologías del complejo máfico. Esto se corresponde con el papel más activo del níquel en las rocas gabroides en relación a los contenidos del metal en el complejo ultramáfico serpentizado.

Se incluyen entre los microcomponentes los contenidos de MnO, determinados solo en 14 muestras de las menas cromíferas masivas, con contenidos medios de 0,27%, contenidos muy semejantes a los calculados para los yacimientos minerales: "Cayo Guan" y "Mercedita" y mayor que los del yacimiento "Amores"(Tabla No. IV-7). Se ha comprobado que existe una correlación positiva entre los contenidos de MnO y MgO (coeficiente de correlación: 0,94641), el resto de las relaciones son negativas con excepción del TiO<sub>2</sub> las cuales son bajas al igual que los contenidos de hierro.

### **Relaciones Geoquímicas Catiónicas**

El análisis de la composición química de la celda elemental de las espinelas cromíferas en las menas del yacimiento "Potosí", ha permitido corroborar el comportamiento geoquímico de los elementos químicos que integran las mismas; así, se ha podido comprobar que la estructura de la celda elemental está más estabilizada hacia los cationes bivalentes en relación con los cationes trivalentes(Tablas No. IV-9 y IV-10), donde se aprecia que algunas muestras o no presentan su estructura completa, o se exceden en fracciones atómicas, sobre todo de los microcomponentes.

Tabla No. IV-9 Número de cationes trivalentes por celda unidad en las espinela cromífera de las menas del yacimiento "Potosí", Moa.

Muestras	Cr <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	SY <sup>3+</sup>
P-36-a	8.61	6.67	0.36	15.64
P-36-b	8.29	6.74	0.86	15,89
P-36-c	8.32	6.81	0.77	15.90
P-36-d	7.96	7.09	0.84	15.89
P-40-2a	7.85	6.12	1.65	15.62
P-40-2b	7.96	6.31	1.40	15.91
P-40-2c	7.94	6.26	1.46	15.66
P-40-2d	7.79	6.21	1.74	15.74
P-40-2e	7.89	6.45	1.38	15.72
P-40-3	7.95	5.84	1.76	15.55
P-45-1-1	7.67	7.41	0.87	15.95
P-45-1-2	7.52	7.57	0.83	15.92
P-45-1-3	7.67	7.50	0.75	15.92
P-45-2-2	7.80	7.46	0.67	15.93

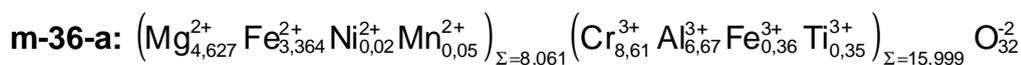
De las muestras analizadas de las espinelas cromíferas del área del yacimiento "Potosí" se seleccionaron algunas de ellas para exponer sus fórmulas cristaloquímicas de la celda unidad.

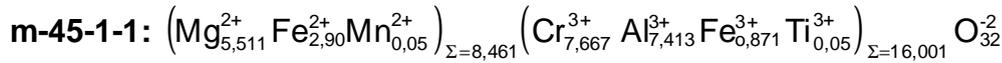
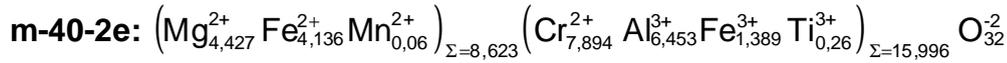
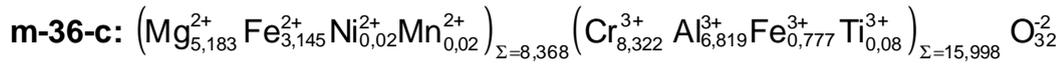
Tabla No. IV-10 Número de cationes bivalentes por celda unidad en las espinela cromífera de las menas del yacimiento "Potosí", Moa.

Muestras	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	SX <sup>2+</sup>
P-36-a	4.62	3.36	7.98
P-36-b	5.36	2.99	8.35
P-36-c	5.18	3.14	8.32
P-36-d	5.31	3.02	8.33
P-40-2a	4.28	4.35	8.63
P-40-2b	4.23	4.30	8.53
P-40-2c	4.24	4.31	8,55
P-40-2d	4.47	4.28	8.75
P-40-2e	4.27	4.13	8.40
P-40-3	4.24	4.41	8.65
P-45-1-1	5.51	2.90	8.41
P-45-1-2	5.53	2.84	8.37
P-45-1-3	5.44	2.90	8.34
P-45-2-2	5,18	3.11	8.29

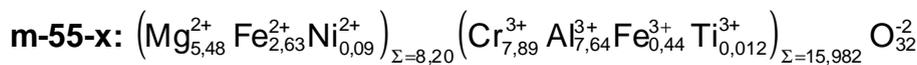
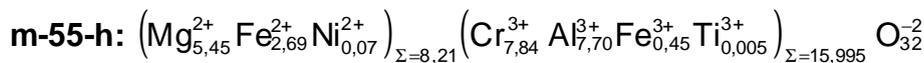
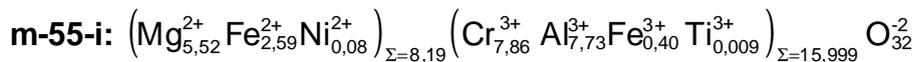
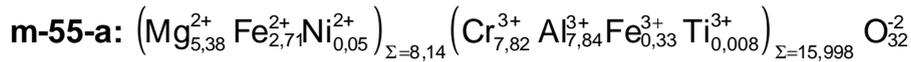
Las muestras de las espinelas cromíferas están referidas a su origen y localización petrológica en el yacimiento "Potosí":

- a) Muestras de espinelas cromíferas masivas con alto contenido de TiO<sub>2</sub> características de menas estratiformes.

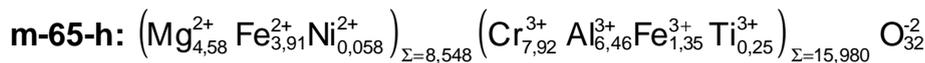
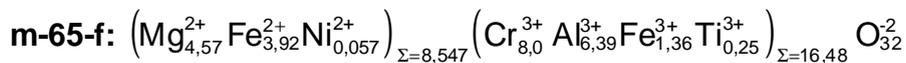
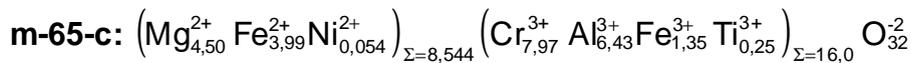
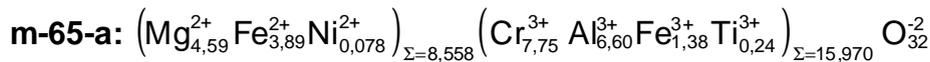




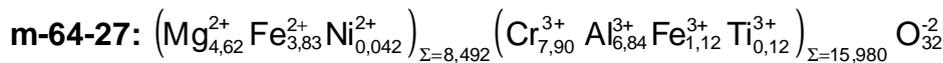
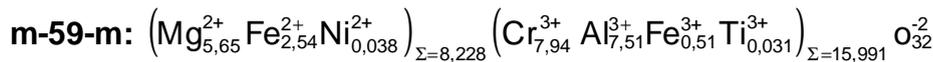
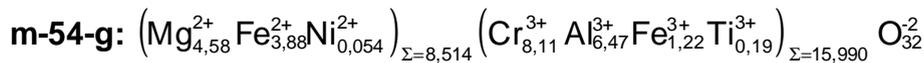
b) Muestras de menas masivas con bajo contenido de  $\text{TiO}_2$ , representantes típicas de la composición química de las menas cromíferas podiformes:



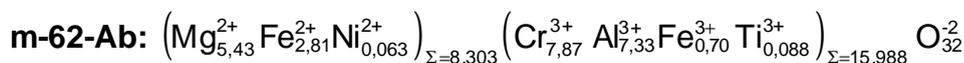
c) Muestras de menas diseminadas con alto contenido de  $\text{TiO}_2$  que por sus características geoquímicas se corresponden con menas cromíferas estratiformes:

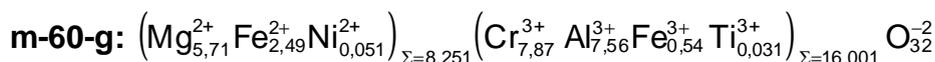
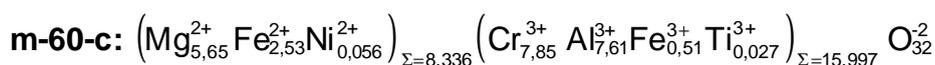
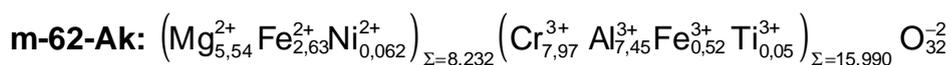


d) Muestras de espinelas cromíferas en diques de gabro-pegmatitas, cortantes a las menas masivas y diseminadas, que por sus características geoquímicas se corresponden con espinelas cromíferas de génesis estratiformes:



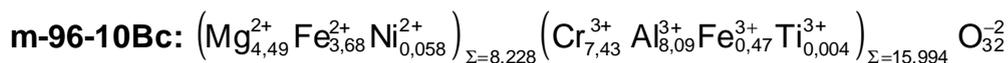
e) Muestras de espinelas cromíferas en contacto con litologías del complejo máfico:



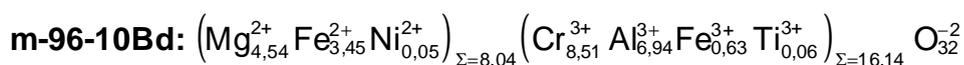


f) Muestras de espinelas cromíferas accesorias en litologías ultramáficas:

- En harzburgitas serpentinizadas:



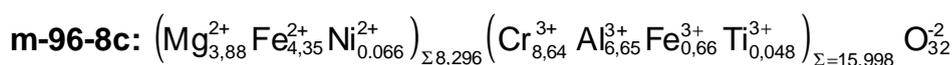
- En lherzolitas serpentinizadas:



- En wehrlitas serpentinizadas:



- En dunitas serpentinizadas:



Las fórmulas cristal químicas de la celda unidad de la espinela cromífera expuestas en forma catiónica reflejan la composición química particular de cada muestra del mineral y permiten analizar sus relaciones, contenidos específicos y sus tendencias genéticas. Mediante el análisis de la celda elemental de la espinela cromífera se concluye que existen todas las fases terminales, no obstante, existe predominio de **alumocromita** [Fe(Cr, Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>], **magnocromita** (MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) y **cromita** (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), en menor grado existe **hercinita** (FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) y **espinela** (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>); dado los altos contenidos del dióxido de titanio y del hierro ferroso en la celda elemental de la espinela cromífera, puede existir **ulvöespinela** (Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>).

Es de gran significación, desde el punto de vista geoquímico, que las menas masivas presentan espinelas que muestran las características de génesis podiformes (menas con bajo contenido de T<sup>3+</sup>) en las cuales existe un mayor contenido de Mg<sup>2+</sup> y menos Fe<sup>2+</sup>; al mismo tiempo, existen menas masivas con altos valores del catión Ti<sup>3+</sup>, las que reflejan, características estratiformes con mayor valor de los cationes Fe<sup>2+</sup> y menos Mg<sup>2+</sup>. Obsérvese que las relaciones entre los valores de los cationes **Fe<sup>2+</sup>** y **Ti<sup>3+</sup>** ya analizados, se incrementan y disminuyen en todas las muestras en correspondencia biunívoca.

Las espinelas cromíferas accesorias en las litologías ultramáficas serpentinizadas no manifiestan diferencias significativas en relación con los valores de los cationes, con excepción de las espinelas cromíferas que se localizan en las dunitas serpentinizadas donde se manifiestan valores más altos de los cationes  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$ .

Los valores de  $\text{Ni}^{2+}$  en las espinelas cromíferas, tanto las que integran las menas del yacimiento "Potosí" como las asociadas a los diques de gabro-pegmatitas, las vinculadas con el complejo máfico y las accesorias en las litologías ultramáficas, se mantienen casi constante, lo que indica un mismo nivel de segregación de las espinelas cromíferas en relación con el corte teórico de la asociación ofiolítica.

Se comprobaron las relaciones geoquímicas entre los cationes principales, entre ellas las relacionadas con los cationes bivalentes ( $\text{Fe}^{2+}$ -  $\text{Mg}^{2+}$ ), verificándose un comportamiento similar al analizado en el yacimiento "Cayo Guan" (Capítulo - II). Del análisis estadístico se obtuvo un coeficiente de correlación entre ambos cationes de **- 0,98768**, es decir muy próximo a la unidad, pero inversamente proporcional, la relación inversa se verifica gráficamente. (Fig. No. IV-9).

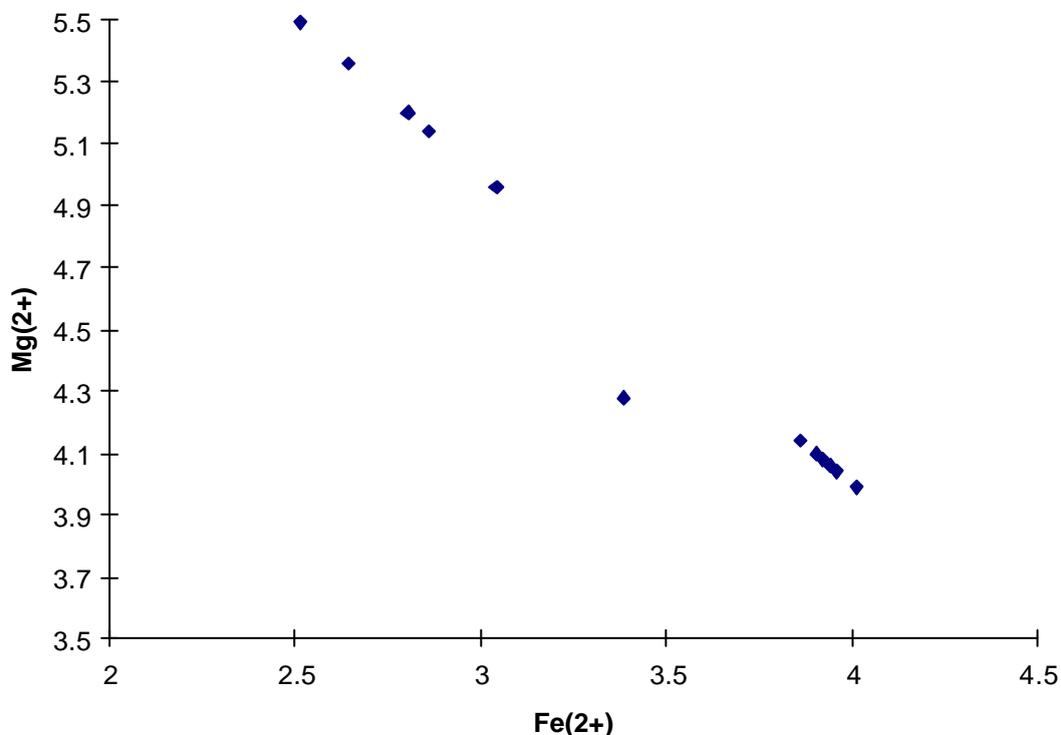


Fig. No. IV-9 Diagrama de dispersión de los números de cationes bivalentes [ $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$ ] de la espinela cromífera en las menas masivas del yacimiento "Potosí", Moa.

Al analizar la relación de bs cationes bivalentes antes mencionados se destaca la relación geoquímica de  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$ , la cual ha sido empleada por varios investigadores para discriminar la génesis de los yacimientos cromíferos podiformes de los yacimientos cromíferos estratiformes, así las menas podiformes mantienen valores de  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+} < 0,50$  y generalmente muy estables entre **0,40 - 0,45**. En el caso de las menas estratiformes esta relación geoquímica está por encima de **0,60** y valores superiores a la unidad; es interesante exponer un breve párrafo de Dickey sobre esta relación geoquímica: “ ... for example in this body of date chromite from the stratiform Stillwater intrusion ranged in  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  ratio from 0,67 to 1,59, and chromite from the podiform deposits of the Haggard and New Mine at Canyon Mountain ranged from 0,40 to 0,45 ... ”pág. 1064 (Dickey, J. S. Jr., 1975)<sup>25</sup>, criterio mantenido por varios autores al estudiar las menas cromíferas típicas de complejos ofiolíticos entre ellos Hock (Hock, M. et al., 1986)<sup>46</sup> y Thayer (Thayer, T.P., 1969)<sup>113</sup>.

En el caso particular del yacimiento “Potosí” se manifiesta la presencia de espinelas cromíferas con características podiformes, como las menas masivas, aunque sus valores de la relación  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  presentan un intervalo desde **1.04 - 0,42** y un valor medio de **0,57**, es decir, que aunque se incluye el rango de las espinelas cromíferas podiformes ( $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+} < 0,50$ ), varios valores exceden esos límites; situación análoga ocurre con las espinelas cromíferas en contacto con gabroides, pero en este caso específico, los valores determinados se ciñen más estrictamente a un origen podiforme de las espinelas cromíferas, haciendo notar que el valor medio es de **0,48** y varios entre **0,42 a 0,63**.

Tabla No. IV-11 Valores de la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  en las espinelas cromíferas del área del yacimiento “Potosí” , Moa.

Espinelas Cromíferas	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
Menas masivas	1.0403	0.4224	0.5712	0.6179
Menas diseminadas	0.9103	0.8476	0.8661	0.0626
En gabro-pegmatitas	1.5125	0.4494	0.7728	1.0631
En contacto con gabros	0.6363	0.4084	0.488	0.2278
Accesorias	1.4353	0.6653	0.9339	0.77

En cambio, las menas diseminadas, las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas (espinelas cromíferas - II) así como las espinelas cromíferas accesorias, muestran una tendencia marcada hacia una génesis estratiformes de acuerdo a los valores expuestos.

En las espinelas cromíferas accesorias con un valor medio de 0,93 y en el caso particular de las espinelas que se localizan en dunitas serpentinizadas la relación **Fe<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup>** es superior a la unidad, poniéndose de manifiesto un incremento de la actividad geoquímica del hierro durante el proceso de serpentización de los complejos máficos y ultramáficos serpentinizados. Tal afirmación se sustenta porque los olivinos en las dunitas presentan altos contenidos de la molécula de forsterita (fo = 80 - 87) y bajos contenidos de la molécula de fayalita (fa = 14 - 19), en otras palabras, se produce una fuerte extracción del magnesio, al inicio del proceso de cristalización, y en correspondencia baja la asimilación del hierro ferroso durante el proceso final de cristalización del olivino, tal como se aprecia en el diagrama triangular de los olivinos en las litologías ultramáficas.(Fig. IV-10).

Interpretación semejante puede darse en las espinelas cromíferas que se localiza en los diques de gabro-pegmatitas, en ellos el olivino se segregó simultáneamente a la espinela cromífera, cristalizando en primer lugar el olivino extrayendo un alto contenido de magnesio, manifestado en el alto valor de la forsterita ( fo = 81,56 - 85,96 ) y bajos valores de la fayalita ( fa = 15,04 - 19,78 ), produciéndose así un incremento relativo del hierro que pasó a formar parte de la molécula de la espinela cromífera, lo que además se verifica en los valores de la relación geoquímica: **0,4224 < Fe<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup> < 1,5125**.

En el caso particular de las espinelas cromíferas que se localizan en los diques de gabro-pegmatitas, éstas fueron incorporadas a los diques una vez segregadas, lo que se demuestra por las estructuras brechoideas que exhiben, además de presentar, desde el punto de vista geoquímico, características de espinelas cromíferas de génesis **estratiformes**; a diferencias de las menas masivas en las que se verifica un carácter dual: **podiformes - estratiformes**.

En ese sentido, existen evidencias - **geoquímicas y mineralógicas** - que confirman que las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas han sido incorporadas desde la profundidad al penetrar los diques las litologías de los complejos máfico y ultramáfico serpentinizados y es por ello que no se descarta la posibilidad de localizar cuerpos de menas cromíferas a mayor profundidad, además, apoyan a este criterio la existencia de paragénesis sulfurosas representadas en minerales de níquel, hierro y cobre típicos de los yacimientos magmáticos de licuación vinculados a intrusiones estratiformes.

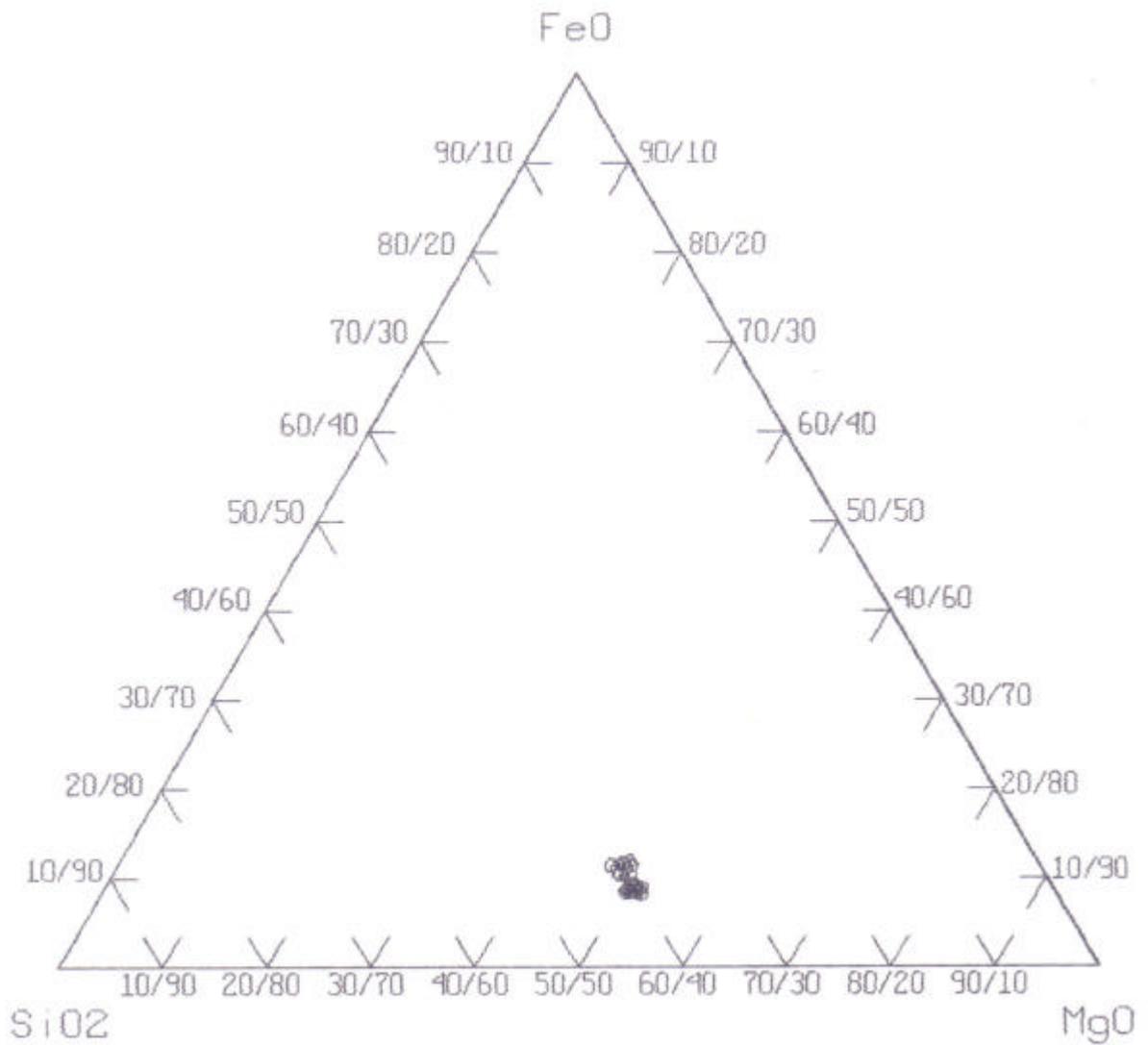


Fig. IV-10 Diagrama triangular representativo de la composición de olivinos, en función de los óxidos de silicio, hierro y magnesio en las litologías ultramáficas serpentinizadas del yacimiento "Potosí", Moa.

Varios investigadores han utilizado la relación geoquímica entre los contenidos de  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  para discriminar las menas de los yacimientos podiformes asociados a los complejos ofiolíticos de las menas cromíferas vinculadas a los complejos estratiformes. Ha sido aplicada en varios yacimientos a escala internacional sobre todo por Leblanc y sus colaboradores (Leblanc, M., Violette, J.F., 1983)<sup>67</sup>.

En el área del yacimiento “Potosí” y en particular en las menas masivas con contenidos bajos de  $\text{TiO}_2$  en combinación con la relación:  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  se corrobora su génesis podiforme, aunque existen menas con alto contenido de  $\text{TiO}_2$  ( $\text{TiO}_2 > 0,25\%$ ), lo que queda expuesto en la Fig. No. IV -11.

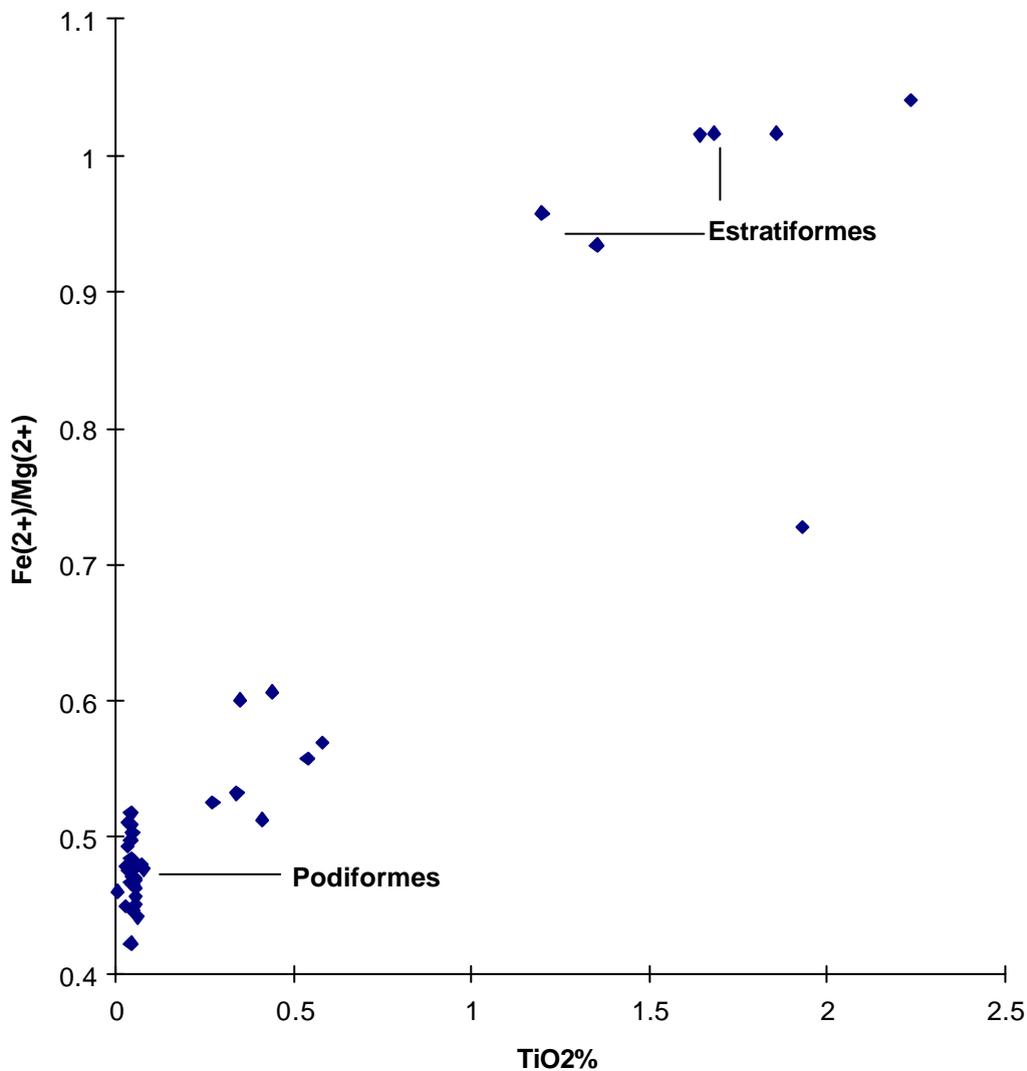


Fig. No. IV-11 Diagrama de dispersión de los contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  y la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  en las espinelas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa.

Las menas podiformes se ubican hacia la zona de bajo contenido de  $\text{TiO}_2$ , menor de 0,25% y también de bajos valores de la relación  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ . El resto de las muestras representadas se ubican hacia la zona de espinelas cromíferas estratiformes.

Al realizarse el mismo análisis en las espinelas cromíferas que se localizan en los diques de gabro-pegmatitas se observa que se ponen de manifiesto sus características estratiformes, bien marcadas, donde se combinan valores altos de la relación  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$  y contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  superiores a 0.25% en correspondencia a los establecidos por otros investigadores, lo cual se expone en la Fig. No. IV-12.

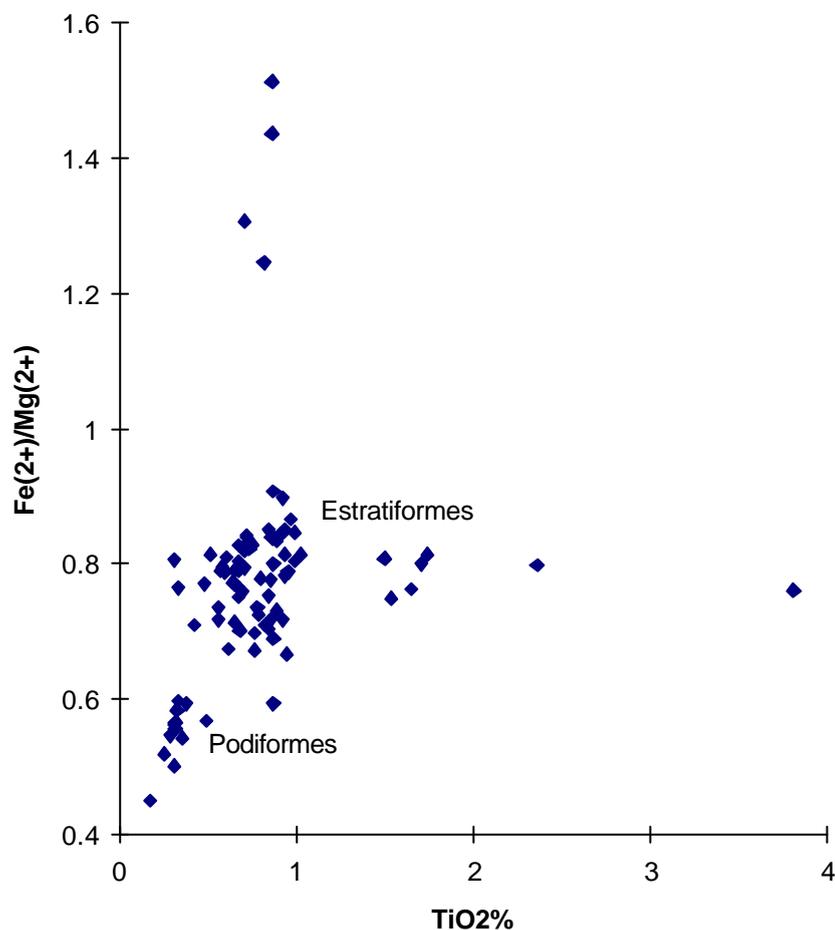


Fig. No. IV-12 Diagrama de variación entre los contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  y la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$  en las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas en el yacimiento "Potosí", Moa.

Como puede valorarse de la Fig. No. IV-12, se ubican muy pocas muestras en el área que representan las espinelas cromíferas podiformes, es decir, muestras con contenidos de  $\text{TiO}_2\% < 0,25$  y con los valores de la relación  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+} < 0,60$ , la

mayoría de las muestras, 98 en total, se localizan en el área que representan a las espinelas cromíferas estratiformes. Lo expuesto, confirma una vez más las diferencias genéticas entre las espinelas cromíferas masivas, que conforman el yacimiento “Potosí” y las espinelas cromíferas ubicadas en los diques de gabro-pegmatitas.

Un carácter dual, de las características podiformes y estratiformes, se observa bien en las espinelas cromíferas que se localizan en los contactos o que yacen en litologías del complejo máfico.

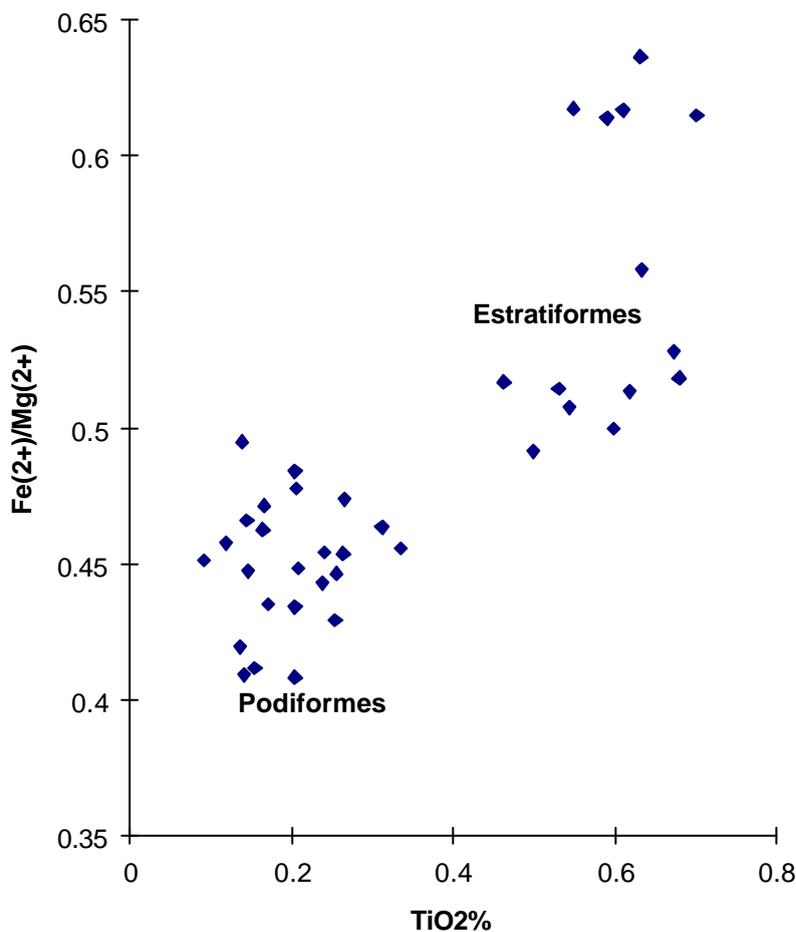


Fig. No. IV-13 Diagrama de dispersión entre los contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  y la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$  en las espinelas cromíferas que se localizan en litologías del complejo máfico, yacimiento “Potosí”, Moa.

Como se observa, quedan bien delimitados los campos de las muestras (38 en total). En el área que representan las espinelas cromíferas podiformes se concentran alrededor del valor de  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+} = 0,45$ , coincidiendo con los criterios de otros

investigadores, no obstante, algunas de las muestras ubicadas en el área mencionada, exceden los contenidos de  $TiO_2$  superiores al 0,25%.

Un número importante de muestras se ubican hacia el campo de las espinelas cromíferas estratiformes, corroborando además el incremento del papel geoquímico del hierro durante el proceso de serpentinización que afectó también a las litologías máficas, ultramáficas y a las espinelas cromíferas.

El papel geoquímico del hierro y su intensa manifestación se pone de relieve al analizarse las espinelas cromíferas accesorias en las litologías ultramáficas, tal como se visualiza en la Fig. No. IV-14.

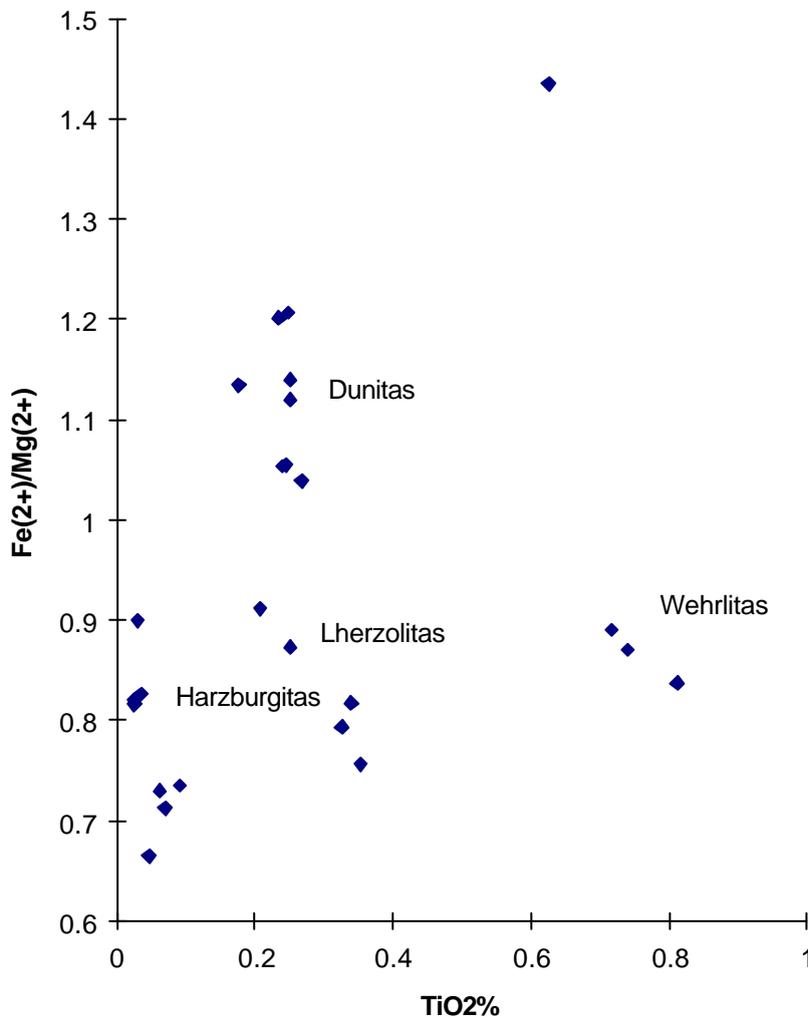


Fig. No. IV-14 Diagrama de dispersión entre los contenidos de  $TiO_2\%$  y la relación geoquímica  $Fe^{2+}: Mg^{2+}$  en las espinelas cromíferas accesorias en litologías del complejo ultramáfico del yacimiento "Potosí", Moa.

De la interpretación de la Fig. No. IV-14, solo las espinelas cromíferas accesorias en las harzburgitas serpentinizadas presentan características estratiformes en relación a los contenidos de  $\text{TiO}_2$ , el resto de las espinelas cromíferas presentan valores mayores a 0,25% y todas están por encima del valor 0,60 para la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$ . Entre las diferentes litologías del complejo ultramáfico serpentinizado las espinelas cromíferas accesorias en las dunitas serpentinizadas están muy enriquecidas en hierro y las wehrlitas serpentinizadas presentan valores muy altos de  $\text{TiO}_2$ .

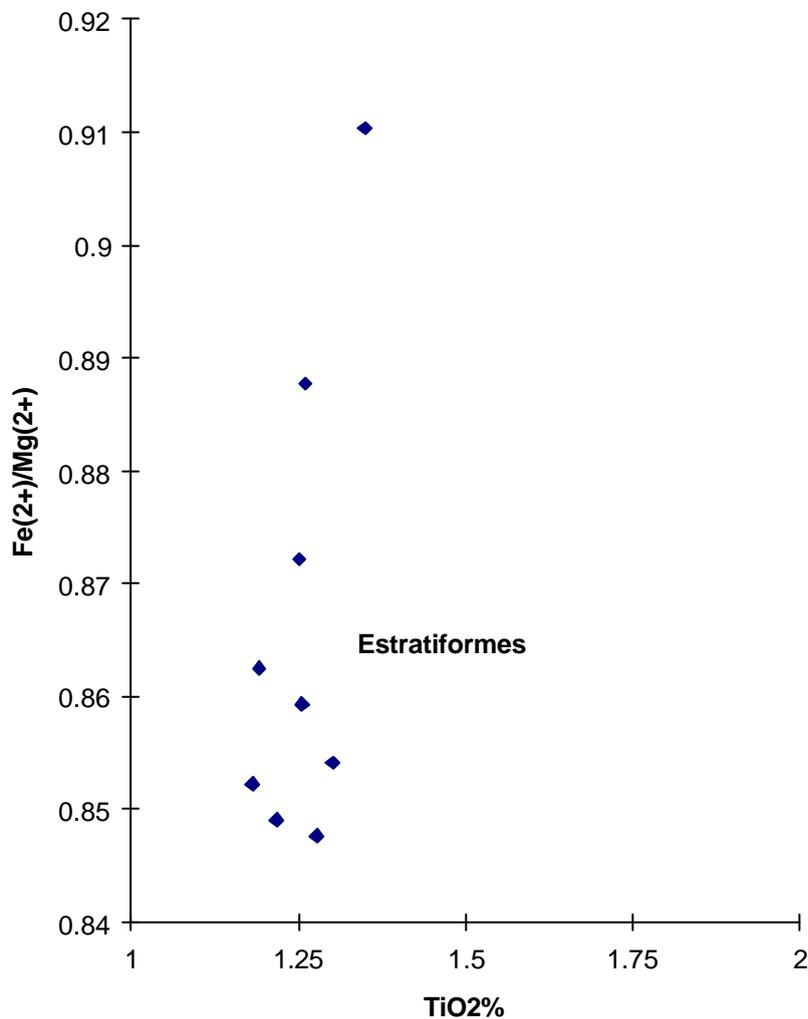


Fig. No. IV-15 Diagrama de dispersión entre los contenidos de  $\text{TiO}_2\%$  y la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$  en las espinelas cromíferas de las menas diseminadas del yacimiento "Potosí", Moa.

Por último se representan las espinelas cromíferas que constituyen las menas diseminadas del yacimiento “Potosí” en las cuales, como se observa, éstas presentan valores muy elevados de  $\text{TiO}_2$  y todos los valores de la relación geoquímica  $\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$  están por encima de 0.84, corroborándose las características estratiformes de la mineralización cromífera del yacimiento “Potosí”, así como el incremento del hierro en todas las formas de existencia de las espinelas cromíferas.

Como es conocido, los análisis realizados a través de la microscopía electrónica de barrido, no es posible diferenciar los contenidos de  $\text{FeO}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , el resultado analítico en relación al hierro se expresa en **FeO** como hierro total, es por ello, que las asignaciones de los valores correspondientes al catión  $\text{Fe}^{3+}$  están basados en el completamiento estequiométrico por defecto de la celda unidad de la espinela cromífera - **espinela normal** - así, mediante ese procedimiento de cálculo se obtuvieron los valores del número de cationes  $\text{Fe}^{3+}$  para cada muestra y se representan en las fórmulas cristal químicas expuestas.

Por tal motivo las relaciones geoquímicas vinculadas a los valores de  $\text{Fe}^{3+}$ , no se analizan con mayor profundidad, dado el grado de incertidumbre que ocasiona la asignación estequiométrica en la celda unidad de la espinela cromífera. No obstante, dados los bajos valores del catión  $\text{Fe}^{3+}$ , permite la representación gráfica de las espinelas cromíferas en el área del yacimiento “Potosí” mediante los diagramas de triangulares, tal como se representa en la Fig. No. IV-16.

**Tabla No. IV-12 Valores medios del número de cationes  $\text{Fe}^{3+}$  en las espinelas cromíferas del área del yacimiento “Potosí”, Moa.**

Espinelas Cromíferas	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio	Rango
Menas masivas	1.768	0.3273	0.6654	1.4406
Menas diseminadas	1.3849	1.2752	1.3498	0.1096
En gabro-pegmatitas	1.5007	0.5088	1.0667	0.9918
En contactos con gabros	0.8422	0.4351	0.6467	0.4071
Accesorias	1.1926	0.3315	0.6416	0.8611

En las espinelas cromíferas de las menas diseminadas y en las localizadas en los diques de gabro-pegmatitas los valores medios del catión  $\text{Fe}^{3+}$  rebasan la unidad. El número de cationes  $\text{Fe}^{3+}$  en la celda unidad de la espinela cromífera está en dependencia inversa con el número de cationes trivalentes:  $\text{Cr}^{3+} - \text{Al}^{3+} - \text{Ti}^{3+}$ , es por ello que se mantienen relaciones inversas, coeficiente de correlación negativos; al compararse el número de cationes  $\text{Fe}^{3+}$ , con los cationes bivalentes la correlación solo

es positiva en el caso del  $\text{Fe}^{2+}$ , motivado por el propio carácter del cálculo estequiométrico, tal situación se expone en la tabla No. IV-13.

Ha quedado suficientemente demostrado el carácter de dualidad genética: **podiforme - estratiforme** de las menas del yacimiento “Potosí” y el comportamiento geoquímico de los elementos que integran la composición de la espinela cromífera. Existiendo una distribución espacial del origen de las menas, así en las menas cromíferas masivas propiamente dichas, corroboran un carácter podiforme. No se corresponden con esa génesis las menas diseminadas así como el resto de las espinelas cromíferas del área del yacimiento “Potosí”, en las cuales se demuestra una fuerte tendencia a las menas con características estratiformes y en particular las espinelas cromíferas ubicadas espacialmente en los diques de gabro-pegmatitas.

**Tabla No. IV-13 Coeficientes de correlación entre los cationes bivalentes y trivalentes de la espinela cromífera en las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, Moa.**

Cationes	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup>
Mg <sup>2+</sup>	1	-0.98768	-0.3187	0.82401	-0.50953
Fe <sup>2+</sup>	-0.98768	1	-0.14876	-0.82525	0.55198
Cr <sup>3+</sup>	-0.3187	0.22343	1	-0.39492	-0.14876
Al <sup>3+</sup>	0.82401	-0.82525	-0.39492	1	-0.77775
Fe <sup>3+</sup>	-0.50953	0.55198	-0.14876	-0.77775	1

### Hipótesis de Segregación de la Espinela Cromífera

Las consideraciones teóricas sobre la segregación de las espinelas cromíferas asociadas a los complejos ofiolíticos se ha presentado ampliamente en la literatura especializada sobre el tema, entre ellos Thayer, Dickey, Leblanc, (Thayer, T.P., 1964, 1969, )<sup>112,113</sup>, (Leblanc, M. et al.1990, 1992, 1994)<sup>69,70,71</sup> y (Dickey, J.S.Jr., 1975)<sup>25</sup>.

En el presente trabajo, se recogen las consideraciones del autor sobre el tema, partiendo de lo establecido en otras investigaciones, de que las espinelas cromíferas podiformes ricas en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se localizan en la **zona de transición**, o muy próximos a dicha zona, entre los complejos máficos y ultramáficos de la antigua corteza oceánica. Los cuerpos de espinelas cromíferas se segregan bajo un proceso de cristalización diferenciada en el fundido: **cromítico - dunítico**, en sistemas magmáticos semi - cerrados localizados en las partes superiores del complejo ultramáfico en transición hacia al complejo máfico en la antigua corteza oceánica.

La cristalización diferenciada debe ocurrir, según nuestro criterio, en dos direcciones: una, la que se origina en el propio seno del fundido cromítico y la otra, la que se origina

en sentido contrario desde el exterior; con la cristalización simultánea del olivino y la espinela cromífera en los sistemas magmáticos semi - cerrados.

En los casos de los yacimientos "Cayo Guan" y "Potosí" el orden de cristalización es el siguiente:

**a) Orden de segregación en el fundido cromítico:**

- Cristalización de las fases de los minerales del grupo del platino: elementos nativos [**Pt nativo**] y sulfuros [ **S( Ru - Os - Ir )**].
- Cristalización de las fases de existencia del **Ti**: rutilo idiomórfico, descomposición de soluciones sólidas de  $TiO_2$  y probablemente ulvö-espinela.
- Cristalización de los sulfuros primarios de Fe, Ni, Cu.
- Cristalización de la espinela cromífera.

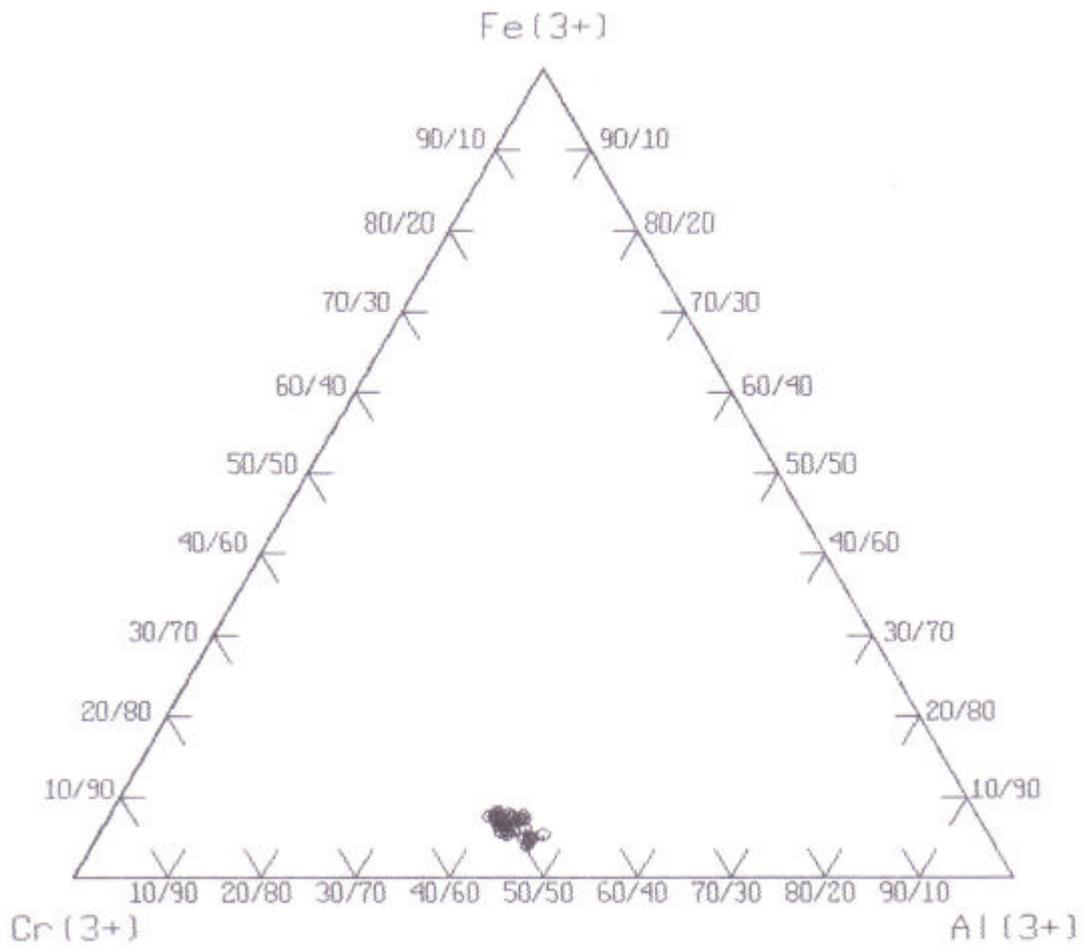
**b) Orden de segregación desde el exterior de la cámara magmática:**

- Cristalización de peridotitas plagioclásicas: dunitas plagioclásicas, harzburgitas serpentinizadas, wehrlitas plagioclásicas y lherzolitas plagioclásicas.
- Cristalización de las peridotitas piroxénicas: Harzburgitas, lherzolitas y wehrlitas.
- Cristalización del olivino y la formación de dunitas masivas hasta dunitas enstatíticas.

La simultaneidad en la cristalización del olivino y la espinela cromífera, que se inician a una alta temperatura, favorece que el catión  $Al^{3+}$  pase a formar parte de los cationes trivalentes en la espinela cromífera y no existe en el olivino de la envoltura dunítica (ausencia de piroxenos), que cubre todo el volumen del cuerpo menífero, en ese sentido Thayer señala: “... *that the lack of piroxene adjacent to chromite may be due to its instability at high temperature in the presence of a spinellid mineral...*” [Citado por Guild, página 222], (Guild, P. W., 1947 )<sup>41</sup>

La consideración señalada por Thayer está apoyada en el presente trabajo por 42 análisis de microscopía electrónica de barrido, en el olivino de las dunitas que sirven de rocas encajantes a las menas cromíferas, en las cuales no se detecta la existencia de  $Al^{3+}$ , ni minerales que lo contengan de forma independiente, ni en la celda elemental de los olivinos.





**Fig. IV-16 Diagrama triangular representativo de la composición de las espinelas cromíferas en los dques de gabro-pegmatitas, en función de los valores de los cationes trivalentes del yacimiento “Potosí”, Moa.**



olivino. Casos inversos, se ponen de relieve confirmando, una vez más, el proceso de cristalización simultánea, así Guild al estudiar el yacimiento "Cayo Guan" expone: "... a peculiar reverse - nodular texture of spherical masses of olivine an inch or two across in otherwise massive chromite occurred in the southern part of the Cayoguan ore body..."pág.223. (Guild, P.W., 1947)<sup>41</sup>.

La cristalización simultánea del **olivino** y la **espinela cromífera** se corrobora en los cuerpos cromíticos así cuando se presenta un cuerpo con una potencia alta, la envoltura dunítica es de pequeño espesor, en cambio, cuando el cuerpo mineral se manifiesta con bajo espesor, la capa de dunita que lo cubre es mucho más potente. Verificándose que el catión **Cr<sup>3+</sup>** es el factor geoquímico predominante en el proceso de cristalización simultánea entre ambos minerales.

La concepción expuesta es válida no sólo para explicar la formación de la espinela cromífera masiva sino también para la cristalización de las espinelas cromíferas diseminadas y accesorias en las litologías ultramáficas y en menor grado en las litologías del complejo máfico, donde las espinelas cromíferas están incluidas en olivino.

Los procesos de obducción, emplazamiento tectónico y serpentización de los complejos máficos y ultramáficos han modificado la composición química del olivino y de la espinela cromífera, en el caso del olivino, se altera formado **magnetita secundaria** y minerales del grupo de la serpentina - **crisotilo y antigorita** - en el caso específico de la espinela cromífera, aunque se trata de un mineral estable en condiciones hipergénicas se forman minerales secundarios. Como se conoce, el catión **Cr<sup>3+</sup>**, que desde el punto de vista geoquímico, tiene una migración muy limitada, es capaz, en condiciones específicas de migrar y formar nuevos minerales producto de la alteración de la espinela cromífera tales como: **kammerita** - clorita crómica -, **eskolaita** - óxido crómico -, **uvarovita** - granate crómico- y muy escasamente la **mariposita** - mica crómica - todos presentes en los yacimientos "Potosí" y "Cayo Guan".

### Resultados Geoquímicos

1. El análisis geoquímico ha permitido establecer el carácter dual de la mineralización cromífera del yacimiento "Potosí", manifestándose características **podiformes - estratiformes** en las menas masivas, estas características son únicas y particulares del yacimiento, lo que se manifiesta en:
  - Bajo contenido de **Mg** (carácter estratiforme).
  - Alto contenido de **FeO** (carácter estratiforme)

- Contenido de **TiO<sub>2</sub>** inferior a 0,25% (carácter podiforme), típico de las menas masivas del yacimiento.
  - Contenido de **TiO<sub>2</sub>** superior a 0,25% (carácter estratiforme), típico de las menas diseminadas.
  - Valores de la relación geoquímica **Fe<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup>** alrededor del intervalo **0,40 - 0,50** (carácter podiforme) y valores superiores a **0,60** (carácter estratiforme).
  - Bajos valores del número de cationes trivalentes de **Fe<sup>3+</sup>** (carácter podiforme).
  - Los diagramas de dispersión entre la relación geoquímica **Fe<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup>** y el contenido de **TiO<sub>2</sub>** en los diferentes tipos de espinela cromífera discrimina el carácter podiforme o estratiforme, comprobándose la existencia de espinelas cromíferas en ambos campos.
2. Se han corroborado las diferencias genéticas existentes entre las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí” y las espinelas cromíferas localizadas en los diques de gabro-pegmatitas. En las menas cromíferas masivas predomina el carácter **podiforme**, exceptuando las menas diseminadas, en cambio, existe predominio del carácter **estratiforme** en las espinelas cromíferas que se ubican en los diques de gabro-pegmatitas, lo que se evidencia en los siguientes parámetros de éstas últimas:
- Mayor contenido de **FeO** total.
  - Mayor contenido de **TiO<sub>2</sub>**.
  - Menor contenido de **MgO**.
  - Coeficientes mayores de la relación **Fe<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup>**
  - Características menos refractarias.
  - Coeficientes mayores de la relación geoquímica **Cr<sup>3+</sup>: Al<sup>3+</sup>**
  - Ubicación en los diagramas de dispersión **Fe<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup> vs TiO<sub>2</sub>** de las menas masivas en el campo de las espinelas cromíferas podiformes y distribución de las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas en el área correspondiente a las menas estratiformes.
3. Utilización por primera vez en el estudio sobre la mineralización cromífera de los contenidos de **TiO<sub>2</sub>** como indicador geoquímico, mediante el cual se ha podido argumentar el carácter genético de las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí”, así como las localizadas en los diques de gabro-pegmatitas, las espinelas

cromíferas en el complejo máfico y las espinelas cromíferas accesorias en las litologías ultramáficas.

4. Cálculo de varias relaciones geoquímicas que facilitaron el análisis del comportamiento de los elementos químicos que integran la composición de la espinela cromífera así como que coadyuvaron a establecer criterios geoquímicos sobre el origen de la mineralización cromífera, las principales relaciones calculadas son las siguientes:  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ ;  $\#\text{Cr}=\text{Cr}^{3+}/[\text{Cr}^{3+} + \text{Al}^{3+}]$ ;  $\#\text{Mg} = \text{Mg}^{2+}/[\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}]$ ;  $\text{C} = \text{Fe}^{3+}/[\text{Fe}^{3+} + \text{Cr}^{3+} + \text{Al}^{3+}]$ ;  $\text{Cr}^{3+}:\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}/\text{Fe}_t$ ;  $\text{Mg}^{2+}:\text{Fe}^{2+}$ , entre otras; estas relaciones geoquímicas se utilizan por primera vez en las investigaciones geoquímicas de la mineralización cromífera en el área del yacimiento "Potosí".
5. Cálculo del número de cationes bivalentes y trivalentes en cada muestra de espinela cromífera, obteniéndose las fórmulas cristalquímicas de la celda unidad del mineral, lo que ha facilitado una valoración directa de la composición química de cada muestra así como la distribución de los elementos químicos en su estructura; el cálculo y elaboración de las fórmulas cristalquímicas para las espinelas cromíferas se realizan por primera vez en las investigaciones de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa y del país.
6. Los contenidos de hierro son anómalos, calculados en las espinelas cromíferas como hierro total, ponen de manifiesto la intensa movilización geoquímica del metal durante los procesos de obducción y serpentización de los complejos máficos y ultramáficos; teniendo presente, que en todos los casos el contenido de **FeO** es superior al **15,0%** en todas las formas de existencia de las espinelas cromíferas en el área del yacimiento "Potosí".
7. Se verificó la dependencia lineal entre los contenidos del hierro y los contenidos del dióxido de titanio, **TiO<sub>2</sub>**, en las menas cromíferas y en el resto de las espinelas cromíferas lo cual se ha demostrado gráficamente y a través de los valores de los coeficientes de correlación.
8. Se exponen además, las consideraciones del autor sobre la segregación de las espinelas cromíferas vinculadas a los eventos geológico - estructurales, incluyéndose el proceso desde el inicio de la cristalización hasta las modificaciones de la composición química, motivadas por el proceso de serpentización; fundamentado en el principio de la **cristalización simultánea** entre el **olivino** y la **espinela cromífera**.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## Conclusiones y Recomendaciones

A continuación se recogen las principales conclusiones y recomendaciones, donde se integran los resultados geoquímicos y mineralógicos, así como aquellos que se derivan de los resultados específicos de cada capítulo.

### Conclusiones:

1. Los campos minerales correspondientes a los yacimientos de espinelas cromíferas de “Cayo Guan” y “Potosí”, representan en la actualidad los restos de la **antigua zona de transición** entre los complejos máficos y ultramáficos de la antigua corteza oceánica.
2. Los yacimientos minerales de menas cromíferas “Cayo Guan” y “Potosí”, independientemente de algunas diferencias geoquímicas y mineralógicas, se formaron en el mismo nivel del perfil teórico de la asociación ofiolítica, lo que constituye una particularidad metalogénica de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa.
3. La aplicación, por primera vez, en las investigaciones de la mineralización cromífera de los contenidos de **TiO<sub>2</sub>** y **FeO** y la relación **Fe<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup>** como indicadores geoquímicos y petrológicos, mediante los cuales se han podido argumentar el carácter genético de las espinelas cromíferas en todas sus formas de existencia en los yacimientos “Cayo Guan” y “Potosí”.
4. Las menas cromíferas del yacimiento “Cayo Guan” presentan características **podiformes**, no obstante, se comprueba en relación a los contenidos de **TiO<sub>2</sub>** y **FeO** cierta tendencia hacia la génesis estratiforme.
5. Las menas cromíferas del yacimiento “Potosí” manifiestan características genéticas **podiformes - estratiformes** que son únicas y particulares de la mineralización cromífera en el área de este campo mineral.
6. Se ha corroborado, por primera vez, que en las espinelas cromíferas localizadas en los diques de gabro-pegmatitas tienen predominio de las caracte-

rísticas genéticas **estratiformes**, lo que constituye una peculiaridad de la mineralización cromífera en los yacimientos: “Cayo Guan” y “Potosí”.

7. Se ha comprobado, por primera vez, que los contenidos de hierro son anómalos (**FeO > 15,0%**), en las espinelas cromíferas en todas sus formas de existencia, poniéndose de manifiesto la intensa movilización del metal durante el proceso de serpentización de los complejos máficos y ultramáficos y de la mineralización cromífera asociada al complejo ofiolítico en la región de Moa - Baracoa.
8. La existencia de sulfuros magmáticos primarios **-pirrotina-pentlandita-calco-pirita** y en menor grado millerita, demuestran una alta concentración del níquel y el cobre y una elevada actividad geoquímica asociada a la mineralización cromífera que se extiende hasta los diques de gabro-pegmatitas, indicando que el proceso de cristalización de la espinela cromífera se desarrolló muy próximo al complejo cumulativo máfico, en los cuales el comportamiento geoquímico del níquel y del cobre es mayor, así como la fugacidad del azufre, en comparación con el complejo ultramáfico. Con esta conclusión se apoya el criterio de que las menas cromíferas masivas del yacimiento “Potosí” se formaron en la zona de transición entre los complejos máficos y ultramáficos.
9. La mineralización de los elementos del grupo del platino asociada a las espinelas cromíferas en el yacimiento “Potosí” está representada por la serie isomorfa **laurita - erlichmanita** y emulsión de **platino nativo**. En el yacimiento “Cayo Guan” está presente la serie isomorfa **laurita - erlichmanita**.
10. La presencia del dióxido de titanio (**TiO<sub>2</sub>**), en todas sus formas de existencia en las menas cromíferas del yacimiento “Potosí” y en los diques de gabro-pegmatitas, constituye una particularidad mineralógica de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa y se distingue por sus contenidos del resto de los yacimientos podiformes cubanos y extranjeros.

11. La identificación mineralógica y el establecimiento de cuatro paragénesis minerales asociadas a la mineralización cromífera del yacimiento "Potosí", b que constituye un aporte al conocimiento científico de la mineralogía de las espinelas cromíferas y a la metalogenia endógena en la región de Moa - Baracoa, vinculadas a los principales eventos geológico - estructurales, siendo el primer yacimiento cromífero del país en identificarse y establecerse las mismas.

### **Paragénesis - A: Fase Inicial de Cristalización de la Espinela Cromífera**

#### **Paragénesis - A<sub>1</sub>-**

Espinela cromífera - I  
Laurita- erlichmanita - I  
Platino nativo

#### **Paragénesis - A<sub>2</sub> -**

Espinela cromífera - I  
Pirrotina - I  
Calcopirita - I  
Pentlandita - I  
Laurita- erlichmanita - II

#### **Paragénesis - A<sub>3</sub>-**

Espinela cromífera - I  
Laurita-erlichmanita - I  
Platino nativo  
Pirrotina - I  
Calcopirita - I  
Pentlandita - I  
Laurita-erlichmanita - II

#### **Paragénesis - A<sub>4</sub> -**

Espinela cromífera I  
rutilo - I

### **Paragénesis - B - Fase Final de Cristalización y Agrietamiento de la Espinela Cromífera**

#### **Paragénesis - B<sub>1</sub>**

Espinela cromífera - I  
Olivino  
Rutilo - II

#### **Paragénesis - B<sub>2</sub> -**

Espinela cromífera – I

Laurita-erlichmanita - II  
Pentlandita - II  
Pirrotina - II  
Calcopirita - II  
Pirita - I  
Millerita - I  
Crisotilo  
Antigorita  
Enstatita

**Paragénesis - C - Fase de Serpentinización de los Complejos Máficos y Ultramáficos**

Espinela cromífera - I  
Olivino  
Pentlandita - II  
Laurita-erlichmanita - II  
Heazlewoodita  
Mackinawita  
Pirita - II  
Magnetita  
Crisotilo  
Antigorita  
Enstatita  
Anortita

**Paragénesis - D - Fase de Emplazamiento de los Diques de Gabro-pegmatitas**

Espinela cromífera - II  
Olivino  
Pentlandita - III  
Calcopirita - III  
Pirrotina - III  
Laurita-erlichmanita - III  
Pirita - III  
Millerita - II  
Rutilo - I  
Rutilo - II  
Anortita  
Enstatita  
Crisotilo  
Antigorita

12. Se elaboró por primera vez, en la región de Moa - Baracoa y en el país, el orden de consecutividad de formación de las paragénesis minerales y los modelos teóricos correspondientes, conjugándose en el esquema la composición mineralógica de las menas, las paragénesis minerales y los

eventos geológico - estructurales en los que se segregó el yacimiento "Potosí".

13. Cálculo de los números de cationes bivalentes y trivalentes en cada muestra de espinela cromífera, obteniéndose las fórmulas cristal químicas de la celda unidad del mineral, lo que ha facilitado una valoración directa de la composición química de cada muestra así como la distribución de los elementos químicos en su estructura, el cálculo y elaboración de las fórmulas cristal químicas para la espinela cromífera se realizan por primera vez en las investigaciones de la mineralización cromífera en la región de Moa - Baracoa y del país.
14. Las investigaciones geoquímicas y mineralógicas desarrolladas han verificado el carácter refractario de la mineralización cromífera en los yacimientos: "Cayo Guan" y "Potosí".

#### **Recomendaciones:**

1. Atendiendo a las características geológicas, mineralógicas, geoquímicas y petrológicas así como la yacencia de la mineralización cromífera en los yacimientos estudiados, recomendamos la elaboración de proyectos de exploración profunda (300 - 500 metros) con el objetivo de localizar otro horizonte productivo en los yacimientos "Cayo Guan" y "Potosí".
2. Una metodología para la prospección futura de la mineralización cromífera asociada al complejo ofiolítico en la región de Moa-Baracoa, fundamentada en la identificación de los posibles **restos de la zona de transición** entre los complejos máficos y ultramáficos, considerándose como el principal criterio científico del control de la mineralización cromífera.
3. La continuación de las investigaciones de la mineralización platinífera asociada a los sulfuros magmáticos primarios en los diques de gabro-

pegmatitas y en las litologías del complejo ultramáfico, específicamente en dunitas y piroxenitas.

4. La utilización combinada de los métodos tradicionales de la microscopía de menas con la microscopía electrónica de barrido en la prospección de la mineralización cromífera y de los minerales asociados, lo que permite una alta precisión en la determinación de la composición de los minerales. En ese sentido, los resultados analíticos alcanzados pueden emplearse para medir el grado de eficiencia de la planta de beneficio de Punta Gorda.
  
5. Estudiar en detalle la distribución de los contenidos del dióxido de titanio en las menas del yacimiento "Potosí", cuando se decida la explotación de sus reservas, ya que las menas pudieran utilizarse no como refractarios, sino para la producción de aceros inoxidable.

## **BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS**

## Bibliografía del Autor Sobre el Tema de la Tesis

### Autor Principal:

1. **Muñoz Gómez, J.N.** 1988 Estructuras de las menas. Editorial ENPES. Ciudad de la Habana. pp. 55.
2. **Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M.** 1992 Las paragénesis minerales en las menas cromíferas del yacimiento "Potosí", Moa. *Revista Minería y Geología*, vol.3, no.3, pp.3-13
3. **Muñoz Gómez, J.N.** 1995 Las paragénesis minerales del yacimiento "Potosí" y su sucesión genética, Moa, Holguín, Cuba. *Revista Minería y Geología*, vol. XII, no.3, pp.23-31.
4. **Muñoz Gómez, J.N.** 1994 Características generales de la metalogenia regional de Cuba: XIII Curso Internacional de Metalogenia, Universidad Central del Ecuador, Quito. *Libro de Resúmenes*.
5. **Muñoz Gómez, J.N.** 1994 Geología y metalogenia de la mineralización endógena y exógena asociada al complejo ofiolítico en Cuba: XIII Curso Internacional de Metalogenia, Universidad Central del Ecuador, Quito. *Libro de Resúmenes*.
6. **Muñoz Gómez, J.N.; et al.** 1995 Composition and genesis of the ophiolite rocks and associated chromite deposits in the Baracoa massif, eastern Cuba. 3er. Geological Conference of the Geological Society of Trinidad and Tobago. *Abstract*.
7. **Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M., Rodríguez Vega, A.** 1991 Acerca de la presencia de los elementos del grupo del platino asociados al complejo ofiolítico en Cuba de Oriente. Seminario Internacional sobre Tecnología de Lixiviación Ácida de Minerales Lateríticos, Moa, Cuba. *Resúmenes*. pp. 17
8. **Muñoz Gómez, J.N.** 1996 Características geoquímicas de la mineralización cromífera en el yacimiento "Potosí", Moa. GEOMIN'96. Instituto Superior Minero Metalúrgico. *Resúmenes*. pp. 33

### Coautor:

1. **Disther, V.V., et al.** 1989 Informe sobre las investigaciones del tema 151: Yacimientos minerales útiles de la República de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. (inédito).
2. **Disther, V.V., Falcón, H.J., Muñoz Gómez, J.N., Campos, D.M.** 1989 Disulfuros de rutenio, osmio, rodio y otros minerales platiníferos en los macizos hiperbasálticos de Cuba Oriental. Academia de Ciencias de Cuba. (inédito).
3. **Lewis, J.F., Muñoz Gómez, J.N., Peng, W., Campos, D. and Quintas, F.** 1994 Mineralogy of silicates and chrome-spinel phases in the ophiolites rocks and chromite deposits of the Moa-Baracoa. *Resúmenes*. II Congreso de Geología y Minería, Santiago de Cuba, Cuba.
4. **Lewis, J.F., Muñoz Gómez, J.N., Labrada Gómez, J.C. and Genyong, P.** 1996 Mineralogy and petrology of the Potosí and Cayoaguam ophiolite rocks and associated podiform chromite deposits. 30<sup>th</sup> International Geological Congress, Beijing. R. P. China. pp. 1-16.

## Referencias citadas y bibliografías consultada

Las referencias citadas y la bibliografía consultada que se anexan a la memoria han sido ordenadas alfabéticamente, teniendo en cuenta la letra inicial del primer apellido del autor principal que encabeza un informe, libro o artículo. El número que aparece al inicio de cada referencia es el mismo que aparece dentro de la memoria, apareciendo en ésta como supraíndice.

1. **Adamovich, A., Chejovich, V., et al.** 1962 Estructura geológica y minerales útiles de la zona de Moa a escala 1: 50 000. *CNFG.*
2. **Adamovich, A., Chejovich, V. y otros** 1963 Estructura geológica de los minerales útiles en los macizos montañosos de la sierra de Nipe y Cristal. *CNFG.*
3. **Agiorgitis, G. and Wolf, R.** 1978 Aspects of osmium, ruthenium, and iridium contents in some greek chromite. *Economic Geology*, vol. 85, pp.112-132.
4. **Allende, R.** 1949 Los depósitos de cromo de Camagüey, Cuba: Dirección de Montes y Minas. *Boletín de Minas* # 14 pp. 11-22.
5. **Andó, J., Kosak, M., Rios, Y.** 1989 Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín - Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba: *Revista Minería y Geología*. vol.1 no.1, pp.15-34.
6. **Arai, S., Yurimoto, H.** 1994 Podiform chromitites of the Tari-Misaka ultramafic complex, southwestern Japan, as mantle-melt interaction products: *Economic Geology*, vol.89, pp.1279-1288.
7. **Augé, T. and Maurizot, P.** 1995 Stratiform and alluvial platinum mineralization in the New Caledonia ophiolite complex. *The Canadian Mineralogist*, vol. 33, pp. 1023-1045.
8. **Batista, R.J., Muñoz Gómez, J.N.** 1992 Programa de computación CATIONES. EXE, programación Pascal. Facultad de Geología. ISMM-Moa ( inédito )
9. **Bliss, N.W. and Hmarician, W.** 1975 The paragenesis of zoned chromite from central Manitoba: *Geochim. et Cosmochim Acta*, v.39, pp. 973-990.
10. **Bloomers, S.H., Yaylor, B., Macleod, C. J., Stern, R. J. Fryer, P., Howkins, J. W. and Johson, L.** 1995 Early arc volcanic and the ophiolite problem: A perspective from drilling in the western Pacific. *Geophysical Monograph* 88. American Geophysical Union. pp. 1-30.
11. **Boudier, F. and Nicolas, A.** 1995 Nature of the Mohotransition zone in the Oman ophiolite. *Journal of Petrology*, vol. 36, no.3, pp. 777-796.
12. **Bridges, J.C. et. al.** 1993 Platinum groups elements mineralization in chromite-rich rocks of Branganza massif, northern Portugal. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy . Applied Earth Science*. Vol. 102, B103.
13. **Bunch, T.E. and Funchs, L. H.** 1969 A new mineral: buzinaite CrS at Tucson meteorite: *American Mineralogist*, vol.54, pp.1509-1514
14. **Burch, A. and Burchard, E.F.** 1919 Chrome and manganese ore in Cuba: Dirección de Montes y Minas. *Boletín de Minas*, no.5, pp.57-70.
15. **Cabrera, R., Kramer, J.L. y Pantaleón, G.** 1984 Vinculación del magmatismo y los yacimientos meníferos de Cuba con los procesos tectónicos: *Ciencias de la Tierra y el Espacio*. no.9, pp.47-57
16. **Cabri, J.L.** 1981 Platinum groups elements: mineralogy, geology and recovery. Ed. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, Ottawa, CIM, Special Volume 23. pp. 267

17. **Cameron, E.N., and Desborough, G.A.** 1964 Origin of certain magnetite bearing pegmatites in the eastern part on the Bushveld complex, South Africa. *Economic Geology*. vol.77, pp.197-225
18. **Cameron, E.N.** 1973 Unusual chromian spinels from the eastern Bushveld complex: *American Mineralogist*. vol.58, pp.172-188
19. **Chamberlain, J.A. and Delabio, R.N.** 1965 Mackinawite and vallerite in the Muskov intrusion: *American Mineralogist*. vol.5, pp.682-695.
20. **Christian, H.M. and Johan, D.** 1982 The platinum-group chemistry and mineralogy of the UG-2 chromite layer on the Bushveld complex. *Economic Geology* vol.77, pp.1348-1366.
21. **Cobiella, R.J., Rodríguez, J. y Campos, M.** 1984 Posición de Cuba oriental en la geología del Caribe: *Revista Minería y Geología*. vol.2, pp.65-74.
22. **Coleman, R.G.** 1977 Ophiolites: Ancient oceanic lithosphere? New York: Springer, *Minerals-Rocks Ser.* 12 pp. 240.
23. **Demidov, V. y Muñoz Gómez, J.N.** 1989 Introducción a la minerografía. ENPES. pp. 284. Ciudad de la Habana.
24. **Desborough, G.A., Finney, J.J. and Leonard, V.F.** 1965 Phases relations of pyrrhotite. *Economic Geology*. vol.60, pp.1431-1450.
25. **Dickey, J.S.Jr.** 1975 A hypothesis of origin for podiform chromite deposits. *Geochimica et cosmochimica Acta*, vol.39, pp.1061-1074.
26. **Dick, H.J.B. and Bullen, T.** 1984 Chromian spinels as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, vol.86, pp.54-76.
27. **Disther, V.V., et al.** 1989 Informe sobre las investigaciones del tema 151: Yacimientos minerales útiles de la República de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. (inédito).
28. **Disther, V.V., Falcón, H.J., Muñoz Gómez, J.N., Campos, D.M.** 1989 Disulfuros de rutenio, osmio, rodio y otros minerales platiníferos en los macizos hiperbasálticos de Cuba Oriental. Academia de Ciencias de Cuba. ( inédito).
29. **Diomin, A.T.** 1964 Informe final de los trabajos y estudios realizados sobre los minerales de cromo del frente Yarey. *CNFG*
30. **Diomin, A.T., Konsrestki, A.T.** 1965 Informe sobre los trabajos de prospección y exploración geológica de los yacimientos Mercedita, Loro, Piloto y Yarey. Empresa Geólogo - Minera de Oriente.
31. **Diomin, A.T., Konsrenstki, A.T.** 1966 Informe sobre los trabajos para cromitas refractarias en el grupo de yacimientos Mercedita-Yarey. *CNFG*.
32. **Dzuber, A.** 1974 Informe sobre la evaluación geólogo-minera de los yacimientos de extracción histórica. Empresa Geólogo - Minera de Oriente.
33. **Fonseca, E., et al.** 1991 Informe final sobre el tema 401-12: Geología de los yacimientos cromíticos con evaluación pronóstica. Academia de Ciencias de Cuba.
34. **Fonseca, E., Zelepuguin, V.M., Heredia, M.** 1989 Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica en Cuba: *Ciencias de la Tierra y el Espacio*. no.9, pp.31-46.
35. **Gervilla, F. and Leblanc, M.,** 1990 Magmatic ores in high-temperatures Alpine-type Iherzolite massif ( Ronda, Spain and Beni Bousora, Morocco). *Economic Geology*, vol. 85, pp.112-132.

36. **Garruti, G., Naldrett, A. J. and Ferrari, A.** 1990 Platinum-group elements in magmatic sulfides from Ivrea Zone: their control by sulfides assimilation and silicate fractionation. *Economic Geology*, vol. 85, no. 2, pp. 328-337.
37. **Gauthier, M., Corrvaux, L. Trotter, L.J., Cabri, J. Gilles Laflamme, J.H., et Bergeron, M.** 1990 Chromitites platiníferas complejas ophiolíticas de l'Estrie-Becuse, Appalaches du Sud du Quebec. *Mineralium Deposita* vol. 25, pp.169-178.
38. **González, E., et al.** 1986 Análisis estructural del macizo Mayarí-Baracoa: *Series Geológicas*. no.4, pp.12-19.
39. **González, E., et al.** 1986 Estudio de los movimientos neotectónicos en el macizo Mayarí- Baracoa. *Series Geológicas*. no.3, pp.15-30.
40. **Goldschmidt, V. M.** 1972 *Geochemistry* . Oxford University Press. U.K. pp.730.
41. **Guild, P.M., Flint, D. E., Albear, J.F.** 1947 Petrology and structure of the Moa chromite district, Oriente province, Cuba: *U.S. Geological Survey*. vol.28. no.2, pp. 218-246.
42. **Guerra, C.V. y Navarrete, M.** 1995 Informe sobre los resultados de los trabajos de generalización de la información geológica sobre cromitas refractarias de la región Moa-Baracoa y delimitación de las áreas perspectivas en los flancos de yacimientos explotados. ( Inédito ). Empresa Cromo-Moa, Moa, Cuba.
43. **Greenbourn, D.** 1977 The cromitíferous rocks of the Troodos ophiolite complex, Cyprus. *Economic Geology*, vol.72, pp.1175-1194.
44. **Gyarmati, P. et al.** 1990 Informe sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1: 50 000 y búsquedas acompañantes en el polígono V, Came-Guantánamo (inédito).
45. **Hayes, C.W., Vaughan, T.W. and Spencer, A.C.** 1901 Report on a geology reconnnaissance of Cuba. Civil report of Brig. Gen. Leonard Wood. Military Governor of Cuba.
46. **Hock, M., Friedrich, G., Plüger, W.L. and Wichowski** 1986 Refractory and metallurgical type chromite ore, Zambales ophiolites, Luzon, Philippines. *Mineralium Deposita*, vol.21, pp. 190-199. Springer-Verlag.
47. **Howley, J.E. and How, V.A.** 1957 Intergrowth of pentlandite and pyrrhotite. *Economic Geology*, v.52, pp.132-139
48. **Hurburt, Jr., Klein, C.** 1984 Manual de mineralogía de Dana. Tercera Edición Reverté, S.A. México.
49. **Irvine, T.N.** 1965 Chromian spinels as a petrogenetic indicator. *Canadian Journal of Earth Science*, vol.2, no.6, pp.648-671.
50. **Iturralde-Vinent, M.** 1990 Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*. no.17, pp.8-26.
51. **Iturralde-Vinent , M.** 1994 Introducción to cuban geology and tectonics. En ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO. International Geological Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. pp. 3-47
52. **Iturralde-Vinent , M.** 1994 Geología de las ofiolitas. En Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO. International Geological Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. pp. 83-120
53. **Iturralde-Vinent , M.** 1994 El arco de islas volcánicas del cretácico. En ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO. International Geological Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. pp. 179-189

54. **Iturralde-Vinent , M.** 1994: Estratigrafía del arco volcánico cretácico de Cuba. En ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO. International Geological Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. pp. 190-225
55. **Kenarev, V., Murashko, V.Y.** 1963 Informe sobre los trabajos de prospección y exploración geológica de los yacimientos de cromitas: " Delta II ", " Narcizo I-II "y " Melba ". Empresa Geólogo-Minera De Oriente.
56. **Kenarev, V.** 1966 Características mineralógicas del yacimiento " Potosí ". Rev, Tecnológica. vol. IV ( mayo - junio ), pp. 3-6
57. **Kenarev, V.** 1963 Informe sobre los trabajos de revisión y explotación realizada en el grupo de yacimientos cromíticos de " Potosí " en la provincia de Oriente. CNFG.
58. **Knipper, A. y Cabrera, R.,** 1974 Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio- y eugeosinclinal de Cuba y del cinturón hiperbasítico de Cuba: Contribución a la geología de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, pp. 15-77.
59. **Kravchenko, G.G., Vázquez, S.O.** 1985 Estructura y perspectiva cromífera de algunas regiones de los macizos ultrabásicos de Cuba: *Ciencias de la Tierra y el Espacio* n.10, pp.37-55.
60. **Krauss, J.** 1968 Informe operativo sobre el cálculo de reserva de los yacimientos " Cayoguan ", " Cromita ", " Potosí " y " Delta I ". Empresa Geólogo - Minera de Oriente.
61. **Krishna, R.S.R.** 1964 Chromite from Kondapalle, Krinstna district, Andhra Pradesh, India: *Economic Geology*, v.58, pp.678-683
62. **Kudalásek, V., Kudeslášková, M., Zamarsky, V. and Orel, P.** 1984 On the problem of Cuba ophiolite. *Krystalinikum* vol. 17, pp. 159-173.
63. **Kudalásek, V., Zamarsky, V., Klika, Z., Kudeslášková, M. and Orel, P.** 1989 Ree and transition element geochemistry of cuban ophiolites. *Krystalinikum* vol. 20, pp. 65-83.
64. **Labrada, J.C., et.al.** 1988 Informe sobre los resultados de exploración orientativa de los cuerpos 1, 5, y 10 del yacimiento " Amores ". Empresa Geólogo-Minera de Oriente.
65. **Labrada, J.C.** 1990 Informe sobre los trabajos de exploración orientativa del cuerpo # 11 del yacimiento " Amores ". Empresa Geólogo-Minera De Oriente.
66. **Larsen, R.B. and Grenne T.** 1995 Cu-Ni-PGE mineralization hosted by bonititic gabbro, central Norwegian Caledonide: character and tectonic setting. *Translation of the Institution of Mining and Metallurgy. Applied Earth Science.* vol. 104, B87.
67. **Leblanc, M., Violette, J.F.** 1983 Distribution of aluminium-rich and chromium-rich chromite pods in ophiolites peridotites: *Economic Geology* vol.78, pp.293-301
68. **Leblanc, M., Nicolas, A.** 1992 Les chromites ophiolitiques. *Chron. rech. min.* no.507, pp.3-25
69. **Leblanc, M., Ceuleneer, G.** 1992 Chromite crystallization in a multicellular magma flow: evidence from a chromitite dike in the Oman ophiolite: *Lithos*, vol.27, pp.231-257
70. **Leblanc, M.** 1994 Platinum-group elements and gold in ophiolite complex: distribution and fractionation from mantle to oceanic floor. In Ophiolite genesis and evolution of oceanic lithosphere. T.J. Peters et. al. eds. *Kluvoer Academic Publ. Dordrecht.* The Netherlands, pp. 231-260.

71. **Leblanc, M.; et.al.** 1990 Essai sur la genèse des corps podiformes de chromite dans les péridotite ophiolitiques: Etude des chromites de Nouvelle-Calédonie et comparaison avec celles de Méditerranée de Orientee. In Ophiolite. Proceed. Int. Inter. Ophiolite Sympo. Chipre. A. Panayiotou de. Geol. Surv. Dept. Cyprus, pp. 691-701.
72. **Lewis, J.F., Draper, G.** 1990 Geology and tectonic evolution of the northern caribbean margin: In Vol. H, The Caribbean region, Chapter 4. *The Geological Society of América*, pp.77-140.
73. **Lewis, J.F., Muñoz Gómez, J.N., Peng, W., Campos, D. and Quintas, F.** 1994 Mineralogy of silicates and chrome-spinel phases in the ophiolites rocks and chromite deposits of the Moa-Baracoa. *Resúmenes*. II Congreso de Geología y Minería, Santiago de Cuba, Cuba.
74. **Lewis, J.F., Muñoz Gómez, J.N., Labrada Gómez, J.C. and Genyong, P.** 1996 Mineralogy and petrology of the Potosí and Cayoaguam ophiolite rocks and associated podiform chromite deposits. 30<sup>th</sup> International Geological Congress, Beijing. R. P. China. pp. 1-16.
75. **Leonard, B.G., Desborough and Page, J.N.** 1969 Ore microscopy and chemical composition of some laurites: *American Mineralogist*, v.54, pp. 1330-1346.
76. **Lord, R.A. Prichard, H.M. and Neary, C.R.** 1994 Magmatic platinum-group elements concentrations and hydrothermal upgrading in Shetland ophiolite complex. *Translation of the Institution of Mining and Metallurgy. Section B. Applied Earth Science*. B87.
77. **Melcher, F., Stumpfl, E. F. and Disther V.** 1994 Chromite deposits of the Kimpersay massif southern Urals, Kasajastán. *Translation of the Institution of Mining and Metallurgy. Section B. Applied Earth Science*. B87.
78. **Muñoz Gómez, J.N.** 1988 Estructuras de las menas. Editorial ENPES. Ciudad de la Habana. pp. 55.
79. **Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M.** 1992 Las paragénesis minerales en las menas cromíferas del yacimiento "Potosí", Moa. *Revista Minería y Geología*, vol.3, no.3, pp.3-13
80. **Muñoz Gómez, J.N.** 1995 Las paragénesis minerales del yacimiento "Potosí" y su sucesión genética, Moa, Holguín, Cuba. *Revista Minería y Geología*, vol.XII, no.3, pp.23-31.
81. **Muñoz Gómez, J.N.** 1994 Características generales de la metalogenia regional de Cuba: XIII Curso Internacional de Metalogenia, Universidad Central del Ecuador, Quito. *Libro de Resúmenes*.
82. **Muñoz Gómez, J.N.** 1994 Geología y metalogenia de la mineralización endógena y exógena asociada al complejo ofiolítico en Cuba: XIII Curso Internacional de Metalogenia, Universidad Central del Ecuador, Quito. *Libro de Resúmenes*.
83. **Muñoz Gómez, J.N.; et al.** 1995 Composition and genesis of the ophiolite rocks and associated chromite deposits in the Baracoa massif, eastern Cuba. 3er. Geological Conference of the Geological Society of Trinidad and Tobago. *Abstract*.
84. **Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M., Rodríguez Vega. A.** 1991 Acerca de la presencia de los elementos del grupo del platino asociados al complejo ofiolítico en Cuba de Oriente. Seminario Internacional sobre Tecnología de Lixiviación Ácida de Minerales Lateríticos, Moa, Cuba. *Resúmenes*. pp. 21.
85. **Muñoz Gómez, J.N.** 1996 Características geoquímicas de la mineralización cromífera en el yacimiento "Potosí", Moa. GEOMIN'96. Instituto Superior Minero Metalúrgico. *Resúmenes*. pp. 33
86. **Murashko, V.** 1963 Informe sobre los resultados de los trabajos de revisión, evaluación y de búsqueda para las cromitas metalúrgicas en la provincia de Oriente. *CNFG*.

87. **Morimoto, N., et.al.** 1988 Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*, vol.73, pp.1113-1123
88. **Miklos, K., Andó, J., Jakus, P., Rios, Y.** 1988 Desarrollo estructural del arco insular volcánico-cretácico en la región de Holguín. *Revista Minería y Geología*. vol.6, pp.33-35.
89. **Nagy, E. et. al.** 1978 Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:50,000, levantado y confeccionado por la Brigada Cubano-Húngara. Academia de Ciencias de Cuba.
90. **Nicolás, A., and Prinzhofer, A.** 1983 Cumulative or residual origin for the transition zone in ophiolites: structural evidence. *Journal of Petrology*, vol.24, part 2, pp.188-206.
91. **Ohnenstetter, D., et.al.** 1982 Cryptic compositional variation in laurites and enclosing chromite from the Bird River Sill, Manitoba: *Economic Geology*, vol.81, pp.1159-1168.
92. **Orberger, B., Lorand, J.P., Girardeau, J., Mercier, J.C.C. and Pitragool, S.** 1995 Petrogenesis of tramatitic rocks and associated chromitites in the Nan Uttaradit ophiolite, Northern Thailand. *Lithos* vol. 35, *ELSEVIER*, pp. 153-182.
93. **Page, N.G., Cassard, D. and Haffty, J.** 1982 Palladium, platinum, rhodium, ruthenium and indium from Massif du Sud Tiebaghi, New Caledonia. *Economic Geologic*, vol.77, pp.1432-1438.
94. **Pelier, C. M., et al.** 1992 Sobre los resultados de la exploración orientativa del yacimiento de cromo MB-32 " Los Naranjos". ONRM.
95. **Pelier, C.M.** 1994 Informe sobre los resultados de la prospección detallada "Los Naranjos". Empresa Geólogo-Minera De Oriente.
96. **Peng, G., Lewis, J., Bruce, L., McGee, J., Bao, P. and Wang X.** 1995 Inclusions of phogopite and phlogopite hydrates in chromite from the Hongguleleng ophiolite in Xinjiang, northwest China. *American Mineralogist*, vol. 80, pp. 1367-1316
97. **Quintas, C.F.** 1988: Características estratigráficas y estructurales del complejo ofiolítico y eugeosinclinal en la cuenca del río Quibiján, Baracoa: *Revista Minería y Geología*, vol.6, pp.11-2.
98. **Ramdorhr, P.** 1980 The ore minerals and their intergrowths, 2nd. edn. Oxford, 2 vols, pp. 1205. *Pergamon Press*. RFA.
99. **Rammimair, D.; et.al.** 1987 Systematic of chromitite occurrences in Central Palawan, Philippines. *Mineralium Deposita* vol. 22, pp. 190-197.
100. **Rios, M.Y., Cobiella, R.J.** 1984 Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín: *Revista Minería y Geología*, vol.2, pp.109-121
101. **Rodríguez Vega, A.** 1995 Distribución del titanio en los concentrados pesados de la región noreste de la provincia de Holguín ( inédito ), pp.11.
102. **Rösler, H.J. and Lange H.** 1972 Geochemical tables. Edition Leipzig, RFA, pp-468.
103. **Snetsinger, K.G.** 1971 Erlichmanite, OsS<sub>2</sub> a new mineral: *American Mineralogist*, vol.56, pp.1501-1511.
104. **Semeniov, Y.L.** 1968 Yacimientos cromíticos de Cuba: *Revista Tecnológica* vol.3, no.4, pp.17-30.
105. **Smirnov, V.I.** 1982 Geología de los yacimientos minerales. Editorial Mir Moscú, pp. 654.
106. **Spray, P.G. and Gedlinske, B.L.** 1987 Tables for determination of common opaque minerals. The Economic Publishing Company, pp. 51.

107. **Stephen, R.**, 1992 Influence of the partial melting regime on the formation of ophiolite cromite. *Geological Society. Special Publication No. 60*. Ophiolites and their moder oceanic analogues. Edided by: L.M. Parson, B.J. Murton. Institute of Oceanographic Sciences, Cjodalming, U.K.
108. **Staton, R. L.** 1972 Ore petrology . McGraw-Hill Company. USA. pp.713.
109. **Stockman, H.W. and Hlava, P.F.** 1984 Platinum-group minerals ore alpine chromite from southwestern Oregon. *Economic Geology*, vol.79, pp.491-508.
110. **Tarkian, M. and Bernhardt, H. J.** 1894 A kay-diagraman for the optical determination of platinum-group minerals. *Tscher maks mineralogische und petrographische mitteilungen.* vol. 33, no. 2, pp. 122-129.
111. **Thayer, T.P.** 1942 Chome resources of Cuba. *U. S. Geological Survey Bulletin*.
112. **Thayer, T.P.** 1964 Principal features and origin of podiform chromite deposits and some observations on the Guleman-Sodirag district, Turkey. *Economic Geology*, vol.59, pp.1497-1524.
113. **Thayer, T.P.** 1969 Podiform chromite deposits. *Economic Geology*. Monograph 4. pp. 132-146.
114. **Thayer, T.P.** 1976 Metallogenic contrast in the plutonic and volcanic rocks of the ophiolite assemblage. In, Metallogeny and Plate Tectonics. Edited by Strong, D. F. *The Geological Association of Canada, Special Paper No. 14*
115. **Torres, M., Fonseca, E.** 1990 Características geólogo-petrológicas del contacto entre la asociación ofiolítica y el arco volcánico en Moa - Baracoa: *Boletín de Geociencias* vol.4, no.1, pp.18-32
116. **Talkinton, R.W. and Lipin, B.R.** 1986 Platinum-groups minerals in chromite seams of the Stillwater complex, Montana. *Economic Geology*, vol.81, pp.1179-1186.
117. **Uytendogaardt, W. and Burke, E.A.J.** 1971 Tables for Microscope Identification for ore minerals. *Elsevier Publishing Conpany*. Amsterdam; p.428.
118. **Wang, X. and Peisheng, B.** 1994 Genesis of the podiform chromite deposits: Evidence from the Luobosa Chromite Deposit , Tibet. *Acta Sinica*, vol. 61, no.2, pp. 74-93.