

APLICACION DEL METODO GEOQUIMICO DE LOS CONCENTRADOS PESADOS EN EL ANALISIS METALOGENICO Y LA PROSPECCION GEOQUIMICA

Resumen de tesis en opción al grado científico
de Doctor en Ciencias Geológicas

██████████ *Ing. Antonio Rodríguez Vega* ██████████

Facultad de Geología. ISMM. Moa

INTRODUCCION

Dentro del marco de la prospección geoquímica de los yacimientos minerales sólidos, la aplicación y estudio de los flujos de dispersión que se asocian a los cuerpos minerales, se encuentran muy difundidos en todo el mundo, siendo los más utilizados en determinados estadíos en dependencia de las condiciones geológicas, geográficas y económicas de las regiones en que ésta se ejecuta.

Por esto surge la necesidad real de efectuar trabajos experimentales, encaminados al perfeccionamiento de estos métodos, con la finalidad de elevar la eficiencia de la prospección geoquímica y de las investigaciones geológicas en general. Este perfeccionamiento debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los resultados positivos y negativos obtenidos mediante la aplicación de las metodologías que corrientemente se han utilizado para la prospección en nuestro país, particularmente, la fundamentada en los flujos de dispersión.
- La experiencia internacional acumulada con relación a la aplicación de la prospección geoquímica, en particular la fundamentada en los flujos de dispersión litogeoquímicos.
- Las particularidades geológicas, geográficas y económicas de la región en que se efectúan las investigaciones.
- Los recursos disponibles en el país y regiones a investigar, así como las condiciones económicas de la región en que se efectúan las investigaciones.
- Los recursos disponibles en el país y regiones a investigar, así como las condiciones económicas objetivas.

Los trabajos de prospección requieren de un constante perfeccionamiento en correspondencia con los avances científicos, técnicos y económicos; en tal sentido la investigación presentada representa una contribución positiva.

OBJETIVO FUNDAMENTAL Y ARGUMENTACION DEL TRABAJO

El trabajo tiene como objetivo fundamental demostrar la necesidad de aplicar un método geoquímico capaz de dar la máxima información geoquímica posible a partir del análisis geoquímico de los concentrados pesados, con un costo mínimo por concepto de determinaciones analíticas. El aumento de la información geoquímica conduciría a una elevación significativa de la eficiencia de las investigaciones geológicas en general y de la prospección de los yacimientos minerales sólidos en particular.

La magnitud del incremento de la eficiencia de las investigaciones geológicas como consecuencia de la información geoquímica complementaria obtenida a partir de los concentrados pesados compensaría con creces el incremento por concepto de las determinaciones analíticas con fines geoquímicos. Con relación a este aspecto hay que tener en cuenta, que la mayor parte de los gastos en que se incurren durante la ejecución de las investigaciones geológicas corresponde, a los trabajos de campo, encaminados a la obtención de la información primaria (más del 80 %) lo que obliga a tratar de obtener el máximo de información de los materiales recolectados por los medios más racionales.

En el caso específico de la aplicación del método de prospección de los concentrados pesados, la tarea más difícil y costosa es la relacionada con la recolección de las muestras, por tal razón se impone la necesidad de efectuar un estudio mineralógico y geoquímico suficientemente profundo de los concentrados, en correspondencia con los recursos disponibles, sin limitarse simplemente a un estudio mineralógico que a veces es incompleto y tiene sólo la finalidad de detectar la presencia y estimar la concentración de unos pocos minerales indicadores, como ha sucedido en la mayoría de los casos con la aplicación del método de los concentrados pesados conocido en Cuba

como el método de "jagua", sin tener en cuenta la gran cantidad y diversidad de información geoquímica contenida en los concentrados pesados en general y en sus diferentes fracciones, incluyendo las monominerales.

La información geoquímica obtenida a partir de los concentrados pesados puede ser utilizada como complemento de la información puramente mineralógica, aportada por el método tradicional de los concentrados pesados y por el método de los sedimentos de fondo, pudiendo ofrecer, en ocasiones, mayor cantidad de información valiosa para la prospección y la investigación geológica en general, que los dos métodos anteriormente señalados juntos.

En muchas regiones del mundo, incluyendo en nuestro país, el método tradicional de los concentrados pesados suele emplearse conjuntamente con el de los sedimentos de fondo. En determinadas ocasiones pudiera ser factible la eliminación del método de los sedimentos de fondo, pues la información que este pudiera aportar puede ser sustituida por la información geoquímica de los concentrados pesados, muy superior desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Esto contribuiría a la elevación de la eficiencia de la prospección, incluyendo el aspecto económico.

Este trabajo debe considerarse de carácter experimental, encaminado al perfeccionamiento de la prospección de yacimientos minerales basada en la revelación y evaluación de los flujos de dispersión de los elementos químicos provenientes de los cuerpos minerales y que se asocian a los sedimentos fluviales en las más variadas formas de existencia.

El perfeccionamiento de los métodos que se fundamentan en los flujos de dispersión es de gran necesidad, pues los mismos se han aplicado de una forma mecánica, sin establecer la metodología óptima para su ejecución, tomando en consideración las particularidades de los flujos y las formas fundamentales en que suelen encontrarse los elementos indicadores en ellos. Por esto, la prospección mediante los métodos de los concentrados pesados y sedimentos de fondo, ha sido muy deficiente, en particular como consecuencia del empleo de procedimientos de muestreo inadecuados que no permiten la obtención de muestras suficientemente representativas, agravado por el hecho de que a las muestras recolectadas no se les extrae la mayor cantidad de información útil posible, fundamentalmente por el desconocimiento de las regularidades acerca de la distribución de los elementos químicos y sus formas de existencia en los flujos de dispersión.

Los señalamientos sobre las insuficiencias de este tipo de prospección están fundamentadas en un profundo análisis de la información existente en la literatura especializada, acerca de la vasta experiencia internacional acumulada con relación a la misma.

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

La metodología seguida para la realización del trabajo contempló los siguientes aspectos:

1. Selección del área para la ejecución de los trabajos experimentales.
2. Recopilación y análisis de información actualizada relacionada con:
 - a) las particularidades geológicas, geoquímicas y metalogénicas de los complejos ofiolíticos;
 - b) los aspectos de interés de la geología del área de estudio;
 - c) la experiencia mundial existente sobre la aplicación de la prospección por flujos de dispersión.
3. Realización de los trabajos experimentales.
4. Elaboración de la información e interpretación de los resultados obtenidos.

Para lograr los objetivos planteados fue necesaria la resolución de varias tareas mediante la aplicación de diferentes métodos de investigación contemplados dentro de los trabajos de campo y de laboratorio.

Trabajos de campo: la etapa de los trabajos de campo consistió fundamentalmente en la recolección de aproximadamente 1 000 muestras de concentrados pesados a partir de los materiales friables constituyentes de los depósitos fluviales y de playas. El muestreo se efectuó en las cuencas de los principales ríos y playas situadas en sus desembocaduras.

Trabajos de laboratorio: las muestras de concentrados pesados recolectadas fueron preparadas y analizadas mineralógica y geoquímicamente. El análisis geoquímico se efectuó con la ayuda de la técnica espectral de emisión atómica disponible en los laboratorios del ISMM, mediante el cual fueron analizados 36 elementos en forma semicuantitativa, y en algunos casos cualitativamente.

Con fines geoquímicos fueron analizadas cerca de 3 000 muestras correspondientes a las fracciones magnéticas, electromagnéticas y no magnéticas, obtenidas a partir de la fracción granulométrica más fina. En total el autor efectuó algo más de 100 000 determinaciones analíticas básicas.

Significado práctico: el trabajo ha contribuido a la solución de las siguientes tareas:

- Elevación de los conocimientos acerca de la distribución de numerosos elementos químicos y sus minerales portadores, así como, de su relación con el medio geológico.
- Determinación de la especialización geoquímica de los concentrados pesados de las diferentes cuencas fluviales y playas y su relación con la especialización metalogénica de las áreas ocupadas por estas cuencas.

- Revelación de indicios geoquímicos que confirman o sugieren la existencia de determinado tipo de mineralización en algunos sectores del área estudiada.

Novedad científica: está dada por los siguientes hechos:

- Es la primera vez que en nuestro país se aplica el método propuesto, no teniéndose referencia de experiencia internacional en cuanto a la aplicación de la variante utilizada, de acuerdo con la información existente en la literatura especializada.
- Algunos resultados obtenidos pueden ser considerados novedad científica, pues es la primera vez que se reporta a partir de trabajos de prospección geoquímica en nuestro país, la presencia de contenidos anómalos de determinados elementos que pudieran constituir indicios de tipos muy específicos de mineralizaciones, como es el caso del paladio en la subcuenca del río Miguel y el talio en la subcuenca del río Santa Catalina.

CARACTERISTICAS GENERALES

El informe de trabajo está compuesto por: introducción, cuatro capítulos, conclusiones y recomendaciones; que en su conjunto componen un texto de 110 páginas. También contiene 15 Figuras y 25 Tablas.

Los principales resultados obtenidos, así como, los diferentes puntos de vista científicos en que se sustenta el presente trabajo, han sido expuestos en varios eventos de carácter nacional e internacional.

El trabajo se llevó a cabo en un área de aproximadamente 6 000 km², moderadamente montañosa, ubicada en la región noreste de la provincia de Holguín. En ella se destacan los relieves del tipo bloque-horst erosivo tectónico y en ocasiones de mesetas, terrazas y montañas bajas. La red fluvial es densa, representada por ríos pequeños y medianos, casi todos intermitentes.

Desde el punto de vista geológico el área está enmarcada dentro de los límites de una región con amplio desarrollo de las rocas ultrabásicas y básicas, propias de los complejos ofiolíticos, las cuales constituyen los extensos macizos de Pinares de Mayarí-Sierra Cristal y Sagua-Moa-Baracoa, que cubren aproximadamente el 80 % de su superficie y son considerados fragmentos de la asociación estructuro-formacional de fondos oceánicos. El resto de la superficie está cubierta por las formaciones geológicas pertenecientes a las siguientes asociaciones estructuro-formacionales:

- Fundamento siálico (Melange de La Corea)
- Arco volcánico del Cretácico
- Cuencas superpuestas de la primera generación
- Arco volcánico del Paleógeno
- Cuencas superpuestas de la segunda generación
- Neoplatформа

Dentro de los rasgos metalogénicos del área estudiada, predominan los propios de los cinturones ofiolíticos, con un amplio desarrollo de las cortezas de meteorización ferroniquelíferas y los yacimientos cromíticos. En menor medida se encuentran difundidas las manifestaciones de tipo hidrotermal de sulfuros, probablemente sulfosálicas, zeolitas, asbestos, y diferentes variedades de la sílice. En los sectores con desarrollo de rocas metamórficas se encuentran filones de cuarzo de excelente calidad, pegmatitas graníticas ricas en cuarzo y feldespatos, así como manifestaciones de otros minerales no metálicos.

DESCRIPCION DEL CONTENIDO DEL TRABAJO

Capítulo 1. Fundamentación del método geoquímico de los concentrados pesados

Se da a conocer la fundamentación teórica y práctica del método geoquímico de los concentrados pesados mediante el análisis de los elementos químicos en los minerales que pueden concentrarse en las fracciones pesadas, como resultado del beneficio de los materiales constituyentes de los depósitos friables que forman parte de los flujos de dispersión que acompañan a los yacimientos minerales primarios y las acumulaciones de placeres.

Además, se dan a conocer las ventajas del método propuesto con respecto al método tradicional de los concentrados pesados y, en determinados casos, con respecto al método de los sedimentos de fondo, tomando como base la posibilidad de obtener una información geoquímica superior en calidad y en cantidad a partir de las muestras de concentrados pesados. Esto sería de gran utilidad en la resolución de las siguientes tareas:

- determinación de la procedencia (fuente de origen) de los diferentes minerales;
- esclarecimiento de las particularidades genéticas de los minerales;

- predicción de la existencia de minerales en los concentrados pesados, que por su tamaño pequeño, poca frecuencia de aparición o similitud con otros minerales, pasan inadvertidos o son confundidos durante la realización de los análisis mineralógicos;
- especificación de las variedades minerales;
- incremento de la posibilidad de detectar la presencia y concentración de elementos extremadamente diseminados en los flujos de dispersión y en las acumulaciones de placeres mediante el empleo del análisis espectral de emisión atómica u otra de las técnicas de mayor utilización y disponibilidad en el país para las investigaciones geoquímicas.

Se hace un análisis de los minerales concentradores e indicadores que pueden estar presentes en las diferentes fracciones de los concentrados pesados, destacándose la importancia de los mismos para la prospección de determinados tipos de yacimientos minerales o portadores de determinada información geoquímica.

Se expone la experiencia acumulada en la aplicación del método propuesto y los resultados de las investigaciones efectuadas por numerosos autores que pudieran ser útiles durante la aplicación del método o la interpretación de sus resultados.

Capítulo 2. Metodología y cuantificación de los trabajos realizados

Se exponen los criterios empleados para la selección del área de aplicación del método propuesto. Se ofrece una explicación detallada de la metodología seguida para la ejecución de los trabajos de campo y de laboratorio, así como para la elaboración de los resultados obtenidos, cuantificándose en cada caso la magnitud de los trabajos realizados.

La metodología propuesta para la ejecución de los trabajos contempla los siguientes aspectos:

- Trabajos de campo:
 - selección y caracterización de los puntos de muestreo;
 - profundidad de la toma de muestras;
 - volumen y masa de las muestras;
 - beneficio de los materiales friables y obtención de los concentrados.
- Trabajos de laboratorio:
 - esquema de preparación de las muestras para los análisis mineralógico y geoquímico;
 - análisis de las muestras por espectrometría de emisión atómica.
- Elaboración de los resultados:
 - elaboración estadística de la información;
 - confección de la documentación geoquímica.

Capítulo 3. Geología, geoquímica y metalogenia de los complejos ofiolíticos. Síntesis de la geología de la región

Este capítulo refleja los aspectos fundamentales de la geología, la geoquímica y la metalogenia de los complejos ofiolíticos, considerando informaciones muy recientes divulgadas por numerosos investigadores que de forma profunda y sistemática han estudiado estos complejos en distintas regiones del mundo.

El análisis efectuado sobre la metalogenia y la geoquímica de los complejos ofiolíticos es bastante extenso y profundo teniendo en cuenta que estos aspectos han sido poco estudiados en las ofiolitas cubanas y considerando que el área de trabajo está cubierta en un 80 % de su superficie por rocas propias de estos complejos. También se incluye una síntesis de la geología de la región.

Capítulo 4. Interpretación de los resultados

Contiene la interpretación de los resultados obtenidos, la cual se realizó para cada una de las cuencas fluviales y playas estudiadas. En cada caso específico se ofrece una pequeña síntesis de la geología local, se dan a conocer algunas particularidades de los concentrados relacionadas con la granulometría, las masas relativas de las diferentes fracciones y el carácter de su distribución, la presencia de algunos minerales de interés, etc. Fundamentalmente se hace un análisis profundo acerca de la distribución de los elementos químicos en la fracciones analizadas (magnética, electromagnética y no magnética). Sobre la base del análisis de la distribución de los elementos se establece la especialización geoquímica de los concentrados pesados en cada cuenca fluvial o playa, así como, la especialización metalogénica de las principales cuencas fluviales.

El estudio de la distribución de los elementos químicos se realiza teniendo en cuenta su relación con el medio geológico, tratando de dar la explicación más acertada a la presencia en forma anómala de determinados elementos químicos, en las diferentes fracciones componentes de los concentrados pesados.

CONCLUSIONES

1. Cada cuenca fluvial se caracteriza por una especialización geoquímica muy determinada de los concentrados pesados, en estrecha relación con las particularidades geológicas y metalogénicas de las mismas.
2. La especialización geoquímica de los concentrados pesados recolectados en la cuenca del río Mayarí está definida por los siguientes elementos: Cr, Ni, Co, Ti, V, Sc y La, los cuales se caracterizan por su alta frecuencia de aparición en los contenidos anómalos.
3. Los concentrados pesados procedentes de la cuenca del río Levisa presentan la especialización geoquímica más simple con relación a los obtenidos en la restantes cuencas fluviales y playas muestreadas. Esta especialización está definida por los siguientes elementos: Ni, Co, Cr y Ti.
4. En la especialización geoquímica de los concentrados pesados del río Miguel se destacan los siguientes elementos: Cr, Ti, Ni, Co, Sc, La y Pd, que aunque se asemeja bastante a la del río Mayarí desde el punto de vista cualitativo, difiere notablemente de ésta desde el punto de vista cuantitativo, debido a que la frecuencia de aparición de los contenidos marcadamente anómalos, comunes a ambas cuencas, es mucho más baja en el río Miguel. El rasgo más notable de la especialización geoquímica de los concentrados pesados del río Miguel está dado por la alta frecuencia de aparición de los contenidos anómalos de Pd.
5. La especialización geoquímica de los concentrados pesados de Río Grande está caracterizada por los siguientes elementos: Cr, Ni, Co, Sc, Cu y Ag. Los matices diferenciadores de la especialización geoquímica de los concentrados pesados de esta cuenca, con relación a los restantes, se lo imprimen, la alta frecuencia de aparición de los contenidos anómalos de Sc y un fondo más elevado del cobre y la plata.
6. Dentro de los elementos que definen la especialización geoquímica de los concentrados pesados recolectados en la cuenca del río Téneme, se presentan algunos que constituyen sólidos indicios geoquímicos acerca de la existencia de mineralización hidrotermal dentro de los límites de esta cuenca, en correspondencia con la existencia real de este tipo de mineralización. Dentro de estos elementos se destacan los siguientes: Ag, Cu, Zn, Sn, Pb, Ga y Ge, los cuales presentan una elevada frecuencia de aparición de sus valores marcadamente anómalos.
7. Los concentrados pesados recolectados en la subcuenca del río Santa Catalina presentan una especialización geoquímica muy peculiar que los diferencian notablemente de los recolectados en las restantes cuencas fluviales. Los elementos diferenciadores de esta especialización geoquímica son: Ti, Pb, Sn, Ag, Cu, Au, Ga y Ge, que sin duda guardan relación con la existencia de un tipo de mineralización hidrotermal muy peculiar, al parecer muy difundida en la cuenca de Sagua de Tánamo.
8. La especialización geoquímica de los concentrados pesados de la playa Mejías, refleja claramente las particularidades geológicas, geoquímicas y metalogénicas del área objeto de estudio en general y de la cuenca de Sagua de Tánamo en particular, por encontrarse situada en la más extensa y de mayor complejidad geológica. La especialización geoquímica está representada por: Cr, Ni, Co, Ti, V, Sc, Zr, Ga, Ag, Cu, Sn, Ti.
9. El elemento más importante de la especialización geoquímica de los concentrados pesados del río Cañete es el Ti, en correspondencia plena con la concentración elevada en los mismos de ilmenita proveniente de los extensos cuerpos de gabroides, que afloran en la cuenca fluvial de este río.
10. A pesar de que el Ni, Co y Cr son elementos paragenéticos de las rocas ultrabásicas, sus contenidos en los concentrados pesados experimentan variaciones significativas, en dependencia de la potencialidad de las cuencas fluviales, ubicadas en áreas con notable difusión de estas rocas, en yacimientos de cromitas y cortezas de meteorización ferroniquelíferas.
11. La elevada frecuencia de aparición de los contenidos anómalos de Sc en los concentrados pesados, indica la existencia de rocas básicas dentro de los límites del área de influencia de la cuenca fluvial. También puede indicar la presencia de determinados tipos de rocas ultrabásicas poco difundidas, pero que suelen concentrar notablemente este elemento, en comparación con los contenidos del mismo en las rocas más difundidas.
12. Los contenidos notablemente anómalos de lantano (superiores a 220 ppm) con una alta frecuencia de aparición, constituye un sólido argumento sobre la existencia, en pequeñas cantidades, de algún mineral propio de este elemento, probablemente de origen hipergénico.
13. El hecho de que los contenidos anómalos de Pd, con frecuencia de aparición relativamente elevada, se detecten hacia la parte media de la cuenca del río, apoya la idea acerca de la existencia de sectores de rocas ultrabásicas relativamente enriquecidas en este elemento.
14. El estudio geoquímico de los concentrados pesados, permite en muchos casos, establecer las correlaciones existentes entre diferentes elementos y entre éstos y determinados minerales. Ejemplo: en los concentrados pesados recolectados en el río Levisa los contenidos elevados de titanio sólo se asocian a la fracción no magnética, por lo que solamente pueden atribuirse a la presencia de esfena y rutilo en esta fracción, pero la correlación entre los altos contenidos de Ti y Ca indican el predominio de la esfena, tal y como sucede realmente. La presencia de contenidos marcadamente anómalos de Ti, correlacionados con contenidos también elevados de V en la fracción magnética de los concentrados pesados del río Mayarí y la playa Mejías, indican la alta concentración en esta fracción de titanomagnetita.
15. Los resultados confirman la eficacia del método propuesto en la obtención de información útil para la prospección de los yacimientos minerales y las investigaciones geológicas en general.
16. Las cuencas de más perspectivas, dentro de las estudiadas, para la búsqueda de mineralización hidrotermal son las cuencas de Sagua de Tánamo y Téneme.

TABLA 1. Distribución del cromo en los concentrados pesados, en %

Cuenca fluvial	Frac-ción	IRLE NCA %	++ > 10	+ 5	+ - 2,2	- 1,0	= 0,47	Tz < 0,47
Río Mayarí	NM	FAV	5	8	4	8	12	61
		F %	5,05*	8,08*	4,04	8,08	12,12	61,61
	EM	FAV	22	17	8	26	19	16
		F %	20,37*	15,74*	7,40	24,07	17,59	14,81
	M	FAV	18	19	12	26	17	10
		F %	17,64*	18,62*	11,76	25,49	16,66	9,8
Río Levisa	NM	FAV	-	3	1	9	36	65
		F %	-	2,63	0,87	7,89	31,58	57,02
	EM	FAV	-	13	4	28	49	18
		F %	-	11,61	3,57	25,00	45,37	16,07
	M	FAV	-	20	1	35	40	10
		F %	-	18,52*	0,96	32,41	37,03	9,26
Río Miguel	NM	FAV	-	1	1	2	23	60
		F %	-	1,15	1,15	2,30	26,43	48,96
	EM	FAV	1	13	8	19	20	25
		F %	1,15*	14,95*	9,19	21,84	22,98	28,73
	M	FAV	2	7	4	26	22	23
		F %	2,27*	7,95*	6,81	29,54	25,00	26,13
Río Grande	NM	FAV	-	-	11	4	4	24
		F %	-	-	25,0	9,09	9,09	54,54
	EM	FAV	-	7	7	11	13	7
		F %	-	15,21*	15,23	91	28,26	15,22
	M	FAV	-	5	5	17	12	6
		F %	-	10,86*	10,87	36,95	26,08	13,04
Playa Mejías	NM	FAV	1	3	-	-	-	-
		F %	3,44	10,34	-	-	-	-
	EM	FAV	8	15	-	-	-	-
		F %	5,00*	46,87*	-	-	-	-
	M	FAV	2	11	-	-	-	-
		F %	8,33*	45,83*	-	-	-	-

TABLA 2. Distribución del titanio en los concentrados pesados, en ppm

Cuenca fluvial	Frac-ción	IRLE NCA ppm	++ 50 000	+ 10 000	+ - 4 700	- 2 200	= 1 000	0
Río Mayarí	NM	FAV	2	4	15	71	7	-
		F %	2,02	4,04	15,15	71,71	7,07	-
	EM	FAV	2	10	19	51	17	-
		F %	1,85	9,26	17,59	47,32	15,74	-
	M	FAV	8	16	9	45	18	-
		F %	7,84	15,00	8,89	44,12	12,65	-
Río Levisa	NM	FAV	3	22	24	25	29	-
		F %	2,63	19,30	21,05	21,92	25,44	-
	EM	FAV	-	5	2	47	57	-
		F %	-	4,46	1,79	41,96	52,77	-
	M	FAV	-	-	3	49	56	-
		F %	-	-	2,77	45,37	51,85	-
Río Miguel	NM	FAV	1	6	19	57	3	-
		F %	1,15	6,89	21,84	65,51	3,45	-
	EM	FAV	-	3	15	46	23	-
		F %	-	3,44	17,24	52,87	26,43	-
	M	FAV	-	5	11	48	24	-
		F %	-	5,68	12,55	54,54	27,27	-
Río Grande	NM	FAV	-	-	14	28	2	-
		F %	-	-	31,81	63,63	4,54	-
	EM	FAV	-	-	16	25	5	-
		F %	-	-	34,78	54,35	10,87	-
	M	FAV	-	-	2	34	10	-
		F %	-	-	4,34	73,91	21,73	-
Playa Mejías	NM	FAV	-	2	-	-	-	-
		F %	-	6,89	-	-	-	-
	EM	FAV	3	9	-	-	-	-
		F %	9,37	28,12	-	-	-	-
	M	FAV	4	15	-	-	-	-
		F %	10,66	62,5	-	-	-	-

TABLA 3. Distribución del vanadio en los concentrados pesados, en ppm

Cuenca fluvial	Frac-ción	IRLE NCA % ppm	++ 1 000	+ 470	+ 220	- 100	= 47	0
Río Mayarí	NM	FAV	-	5	2	14	-	-
		F %	-	5,05	2,02	14,14	-	-
	EM	FAV	1	16	4	12	-	-
		F %	0,92	14,81	3,70	11,11	-	-
	M	FAV	5	20	2	9	-	-
		F %	4,70	19,60	1,96	8,32	-	-
Río Levisa	NM	FAV	-	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-	-
	EM	FAV	-	2	-	-	-	-
		F %	-	1,78	-	-	-	-
	M	FAV	-	2	-	-	-	-
		F %	-	1,85	-	-	-	-
Río Miguel	NM	FAV	-	3	1	-	-	-
		F %	-	3,44	1,15	-	-	-
	EM	FAV	1	6	6	1	-	-
		F %	1,15	6,89	6,89	1,45	-	-
	M	FAV	3	5	15	-	-	-
		F %	3,41	5,69	14,77	-	-	-
Río Grande	NM	FAV	-	1	-	15	-	-
		F %	-	2,27	-	24,09	-	-
	EM	FAV	-	4	-	12	-	-
		F %	-	8,69	-	26,88	-	-
	M	FAV	-	2	-	14	-	-
		F %	-	4,35	-	30,43	-	-
Playa Mejías	NM	FAV	-	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-	-
	EM	FAV	-	1	-	-	-	-
		F %	-	3,12	-	-	-	-
	M	FAV	-	-	5	-	-	-
		F %	-	-	20,83	-	-	-

TABLA 4. Distribución del escandio en los concentrados pesados, en ppm

Cuenca fluvial	Frac-ción	IRLE NCA % ppm	++ > 100	+ 100	+ 45	- 22	= 10	0
Río Mayarí	FNM	FAV	2	17	7	34	1	5
		F %	2,02	17,17	7,07	34,34	1,01	-
	FEM	FAV	1	20	10	13	-	8
		F %	0,92*	18,51	9,26	12,04	-	-
	FM	FAV	2	9	5	9	-	7
		F %	1,96*	8,82	4,90	8,82	-	-
Río Levisa	FNM	FAV	-	3	-	7	-	-
		F %	-	2,63	-	6,14	-	-
	FEM	FAV	-	1	-	3	-	-
		F %	-	0,89	-	2,77	-	-
	FM	FAV	-	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-	-
Río Miguel	FNM	FAV	-	11	-	36	-	-
		F %	-	12,64	-	41,37	-	-
	FEM	FAV	-	14	-	13	-	-
		F %	-	16,09	-	14,95	-	-
	FM	FAV	-	-	-	6	-	-
		F %	-	-	-	6,81	-	-
Río Grande	FNM	FAV	-	18	12	9	-	-
		F %	-	44,90	27,27	20,45	-	-
	FEM	FAV	-	26	2	4	-	-
		F %	-	56,52	4,35	8,69	-	-
	FM	FAV	-	2	-	1	-	-
		F %	-	4,34	-	2,17	-	-
Playa Mejías	FNM	FAV	-	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-	-
	FEM	FAV	-	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-	-
	FM	FAV	-	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-	-

TABLA 5. Distribución del lantano en los concentrados pesados, en ppm

Cuenca fluvial	Fración	IRLE NCA % ppm	++ > 1 000	+ 1 000	+ 470	- 220	= 100
Río Mayarí	FNM	FAV	4	1	-	6	11
		F %	4,04	1,01	-	6,06	11,11
	FEM	FAV	1	9	3	7	9
		F %	0,92	8,33	2,77	6,48	8,32
	FM	FAV	1	10	3	4	9
		F %	0,98	9,80	0,20	3,92	8,82
Río Levisa	FNM	FAV	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-
	FEM	FAV	-	1,78*	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-
	FM	FAV	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-
Río Miguel	FNM	FAV	-	1	-	2	-
		F %	-	1,15	-	2,30	-
	FEM	FAV	-	3	4	4	1
		F %	-	3,45	4,59	4,59	1,15
	FM	FAV	-	4	-	9	-
		F %	-	4,54	-	11,70	-
Río Grande	FNM	FAV	-	-	3	-	-
		F %	-	-	6,81	-	-
	FEM	FAV	-	-	2	-	-
		F %	-	-	4,35	-	-
	FM	FAV	-	-	7	-	-
		F %	-	-	15,21	-	-
Playa Mejías	FNM	FAV	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-
	FEM	FAV	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-
	FM	FAV	-	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-	-

TABLA 6. Distribución de circonio en los concentrados pesados, en ppm

Cuenca fluvial	Fración	IRLE ppm	++ 10 000	+ 4 700	+ 2 200	- 1 000
Río Mayarí	NM	FAV	2	13	5	-
		F %	2,02	13,13	5,05	-
	E	FAV	-	16	1	2
		F %	-	14,81	0,92	1,85
	M	FAV	3	10	4	-
		F %	2,90	9,80	3,92	-
Río Levisa	NM	FAV	-	7	-	-
		F %	-	6,40	-	-
	E	FAV	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-
	M	FAV	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-
Río Miguel	NM	FAV	-	9	15	-
		F %	-	10,34	17,24	-
	E	FAV	-	4	10	-
		F %	-	4,59	11,49	-
	M	FAV	-	3	-	-
		F %	-	3,41	-	-
Río Grande	NM	FAV	-	-	7	-
		F %	-	-	15,9	-
	E	FAV	-	-	3	-
		F %	-	-	6,65	-
	M	FAV	-	-	-	-
		F %	-	-	-	-
Playa Mejías	NM	FAV	-	7	-	-
		F %	-	24,13	-	-
	E	FAV	-	1	-	-
		F %	-	3,17	-	-
	M	FAV	-	1	-	-
		F %	-	4,16	-	-

TABLA 7. Distribución de TI, Pb, Sn y Zr en la fracción no magnética del río Santa Catalina

TALIO		
Conc. ppm	ni	ni %
> 450	1	2,38
450	5	11,9
220	5	11,9
100	7	16,66
47	9	21,42
22	12	28,57
< 22	3	7,14
total	42	

ESTAÑO		
Conc. ppm	ni	ni %
220	1	2,38
100	5	11,9
47	13	30,95
22	15	35,71
10	4	9,52
< 10	4	9,52

PLOMO		
Conc. ppm	ni	ni %
220	8	19,04
100	11	26,19
45	12	28,57
22	8	19,04
10	2	4,76
< 10	1	2,38
-	-	-
	41	

CIRCONIO		
Conc. ppm	ni	ni %
10 000	3	7,14
4 500	9	21,42
2 200	8	19,04
1 000	12	28,57
450	6	14,98
200	3	7,14
-	-	-

TABLA 8. Distribución del Cu, Zn, Ag, Ge y Ga en los concentrados pesados del río Santa Catalina

Fracción	Cobre	Zinc	Plata	Germanio	Gallo
M	100-450	220-1 000	Tz	-	-
EM	1 000-2 000	1 000-2 000	Tz	10-22	>45
NM	220-470	<100	Tz-22	-	-

TABLA 9. Frecuencias de aparición de los contenidos anómalos en los concentrados pesados de la cuenca del río Téneme

Elementos	Fracción	Frecuencia en %	Rango de los valores anómalos en ppm
Ag	M	7	2-10
	EM	-	-
	NM	28	2-10
Cu	M	21	220-1 000
	EM	80	220-1 000
	NM	-	-
Zn	M	93	470-1 000
	EM	21	470-1 000
	NM	-	-
Ba	M	-	-
	EM	28	220-470
	NM	56	220-470
Pb	M	100	4,7-22
	EM	93	4,7-22
	NM	77	4,7-22
Sn	M	70	10-300
	EM	7	10-300
	NM	17	10-300
Ge	M	21	4,7
	EM	14	4,7
	NM	-	-
Ga	M	49	22-45
	EM	93	>45
	NM	77	22-45

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE, C. and T. MUYSSON: "The determination of ppb levels of thalium in silicate rocks by anion exchange spectrographic analysis", *Chemical Geology*, vol. 9, no. 3, may 1972.
- ALBUQUERQUE, C. et al.: "Thalium in basalts and related rocks", *Chemical Geology*, vol. 10, no. 4, sep. 1972.
- ANDO JOZSES y otros: "Caracterización geológica de la asociación ofiolítica de la zona Holguín-Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba", *Minería y Geología*, vol. 6, no. 3, 1988.
- ARIOSA, J. y R. DIAZ: "Perspectivas titaníferas de la cuenca hidrográfica del río Levisa", *Minería y Geología*, vol. 6, no. 3, 1988.
- ARISTOV, V.V.: *Metódica de la búsqueda geoquímica de los yacimientos minerales sólidos*, Ed. Niedra, Moscú, 1984 (en ruso).
- AUGUSTITHIS, S.S. and D.G. MINATIDIS: "The significance of trace elements in solving petrogenetic problems and controversies", *Chemical Geology*, vol. 25, no. 3, may 1979.
- AYALON, A. et al.: "Geochemistry of stream sediments along the western coast of the gulf of Elat (agaba)", *Journal of geochemical exploration*, vol. 15, no. 1, august 1981.
- BASTURK, M.: "Contribution to the geochemistry of platinum in ultramafic rocks", *Chemical Geology*, vol. 30, no. 1-2, july 1979.
- BEUS, A.A.: "Titanium distribution in the lithosphere", *Chemical Geology*, vol. 8, no. 4, dic. 1971.
- BLASOV, K.A.: *Geoquímica, mineralogía y tipos genéticos de yacimientos de metales raros*, tomo 3, Ed. Nauka, 1966 (en ruso).
- BERT, C.R. and R.E. SMITH: "Conceptual models in exploration geochemistry - Australia", *Geochemical Exploration*, vol. 12, no. 2-3, may 1990.
- BOGATIROV, O.A. y otros: *Composición química media de las rocas magmáticas*, Ed. Niedra, 1987 (en ruso).
- BOLOCH, R. and I.B. BRENNER: "Distribution and dispersion of lead and zinc in anomalous soils and stream sediments, Mount Hermon area, Israel", vol. 8, no. 3, dic. 1977.
- BUISSON, G. and M. LEBLANC: "Gold in carbonatized ultramafic rocks of ofiolitic complexes", *Economic Geology*, vol. 80, nov. 1985.
- BURMIN, Y.A.: *Geoquímica de las cortezas de meteorización meníferas*, Ed. Niedra, Moscú, 1985 (en ruso).
- BUTT, C.R. and I. NICHOL: "The identification of various types of geochemical stream sediments anomalies in northern Ireland", *Journal of geochemical exploration*, vol. 11, no. 1, may 1979.
- BIONDI, J.C.: *Depósitos minerales de génesis magmática*, T.A. Queiroz (ed), 1986 (en portugués).
- CARPENTIER, R. H. et al.: "Partitioning of manganese, iron, copper, zinc, lead, cobalt and nickel in black coating on stream boulder in the vicinity of the Magruder mine, Lincoln Co., Georgia", *Journal of geochemical exploration*, vol. 10, no. 1, august 1978.
- COBIELLA, J.R.: "Sobre la geología de la Sierra Cristal", *Minería y Geología*, no. 1, 1983.
- CHAFFEE, M.A. y otros: "Regional geochemical studies in the patagonia morantars, Santa Cruz country, Arizona", *Journal of geochemical exploration*, vol. 14, no. 2-3, may 1981.
- CHORK, C.Y.: "Seasonal, sampling and analytical variations in stream sediments surveys", *Journal of geochemical exploration*, vol. 7, no. 1, feb. 1977.
- DECCOURT, J. y J. PAQUET: *Geología*, Ed. Reverté S.A. 1984.
- DEMENTSKAYA, R. M.: *La corteza y el manto de la Tierra*, Ed. Niedra, Moscú, 1967 (en ruso).
- DUMLOP, A.C. and W.T. MEYER: *Detrital tin patterns in stream sediments and soils in Mid-Cornwall*, vol. 10, no. 3, diciembre 1978.
- FLEMING, A.W. and T.I. NERLE: "Geochemical exploration at Yandera porphyry copper prospect, Papua-New Guinea", *Journal of Geochemical exploration*, vol. 11, no. 1, may 1979.
- FONSECA, E. y otros: "Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica de Cuba", *Ciencias de la tierra y el espacio*, no. 9, 1984.
- GOLDSCHMIDT, V.M.: *Geochemistry*, Oxford at the clarendon press, 1978.
- GRIGORIAN, S.V. y otros: *Instrucción para los métodos geoquímicos de búsqueda de los yacimientos minerales*, Ed. Niedra, 1983 (en ruso).
- GRIGORIAN, S.V.: *Búsqueda litogeoquímica mediante aureolas primarias*, Ed. Niedra, Moscú, 1988 (en ruso).
- GRIGORIEV, V.N. y otros: *Manual de las menas de metales ferrosos para geólogos*, Ed. Niedra, Moscú, 1985 (en ruso).
- GUM, B.M.: "Trace element partition during olivine fractionation of hawaiian basalts", *Chemical Geology*, vol. 8, no. 1, 1971.
- HOFFMEN, S.J.: "Talus fine sampling as regional geochemical exploration technique in mountainous regions", *Journal of geochemical exploration*, vol. 7, no.3, june 1977.
- HOFMEYER, P.K.: "Some emission spectrographic trace elements data for reference silicate minerals", *Chemical Geology*, vol. 9, no. 1, march 1972.
- Instituto de Minas de Leningrado: *Revelación de anomalías geoquímicas complejas sobre la base del factor de análisis por el método del componente principal*, Cátedra de métodos geoquímicos y radiactivos, 1985. (en ruso).
- ITURRALDE VINENT, M.: "Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba", *Ciencias de la tierra y el espacio*, no. 17, 1990.
- : "Reconstrucción palinspástica y paleogeográfica del Cretácico Inferior en Cuba oriental y territorios adyacentes", *Minería y Geología*, no. 1, 1986.
- IVANOV, V.V.: *Geoquímica de los elementos raros y dispersos en los yacimientos hidrotermales*, Ed. Niedra, Moscú, 1966 (en ruso).
- IVANOV, V.V. et al.: *Manual geológico para los metales raros, siderófilos y calcófilos*, Ed. Niedra, Moscú, 1989 (en ruso).
- JOJLOV, V.V.: *Atlas de líneas espectrales para el espectrógrafo STE-1*, Ed. Niedra, Leningrado, 1968 (en ruso).
- KORSHINSKI: *Alteraciones hidrotermales de las rocas y su significado para la búsqueda*, Ed. Niedra, Moscú, 1981 (en ruso).
- KOSAK MIKLOS y otros: *Desarrollo estructural del arco insular volcánico cretácico en la región de Holguín*, vol. 6, no. 1, 1988.
- KOTLIAR, V.N.: *Fundamentos teóricos de la formación de las menas*, Ed. Niedra, Moscú, 1970 (en ruso).
- KUSIN, M.F. y N.I. EGOROV: *Determinados de campo de minerales*, Ed. Niedra, Moscú, 1983 (en ruso).
- KUZNETSOV, E.A.: *Petrografía de las rocas magmáticas y metamórficas*, Ed. Universidad de Moscú, 1956 (en ruso).
- LEINZ, V. y J. DE SOUSA: *Guía para la determinación de minerales*, Ed. Universitaria de Sao Paulo, Brasil, 1971.
- LEBLANC, M.: *Platinum group elements and gold in rocks of ofiolitic complexes*, CURRENT CONTENTS, 1993.
- LIOTARD, J.M. and C. DUPUY: "Partage des éléments de transition entre clinopyroxéne et orthopyroxéne - variations avec la nature des roches", *Chemical Geology*, vol. 28, no. 3-4, abril 1980.
- MARSH, S.P. and J.B. CATHROLL: "Geochemical evidence for a brooks range mineral belt, Alaska", vol. 15, no. 1-3, august, 1981.
- MASON, B.: *Principles of geochemistry John Wiley and sons, Inc.* 1966.
- MAYNARD, J.B.: *Geochemistry of sedimentary ore deposits*, Springer-Verlag, 1985.

- NAVARRETE, M. y RODRIGUEZ, R.: "Generalización geológica del corte ofiolítico de los yacimientos Pinares de Mayarí, Canadá y Luz Norte macizo Mayarí-Nicaró", *Minería y Geología*, Edición Especial, 1991.
- ORLOV, A.G.: *Métodos de cálculo en el análisis espectral cuantitativo*, Ed. Niedra, Leningrado, 1986 (en ruso).
- OROZCO, G.: "Algunas consideraciones sobre las rocas volcánicas alteradas de la Sierra del Cristal", *Minería y Geología*, no. 2, 1983.
- PAFFEMGOLDS, K.I.: *Diccionario geológico*, tomos I y II, Ed. Niedra, Moscú, 1973 (en ruso).
- PERELMAN, A.I.: *Geoquímica*, Ed. Niedra, Moscú, 1976 (en ruso).
- POKALOV, V.T.: *Principios de pronóstico y evaluación de los yacimientos minerales*, Ed. Niedra, Moscú, 1984 (en ruso).
- QASIM, M.: "The warsiristan ophiolite, Pakistan: general geology and chemistry of cromite and associated phases", *Economic Geology*, vol. 80, no. 2, march-april, 1985.
- QUINTAS, F.: "Características de los procesos estratigráficos y estructurales del complejo ofiolítico y eugeosinclinal de la cuenca del río Quibiján, Baracoa", *Minería y Geología*, vol.6, no. 2, 1988.
- RIOS, Y.: "Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín", *Minería y Geología*, no. 2, 1984.
- RYALL, W.R.: "Anomalous trace elements in pyrite in vicinity of mineralized zones at Woodlawn, N.S.W. Australia", *Journal of geochemical exploration*, vol. 8, no. 1-2, oct 1977.
- SALINAS, A.: *Procesamiento estadístico de la información geoquímica en el yacimiento Castellanos en la mineralización polimetálica y cuprífera al sur del yacimiento*.
- SAUKOV, A.A.: *Geoquímica*, Ed. Estatal, Literatura Geológica, Moscú, 1951 (en ruso).
- SCHEGLOV, A.D.: *Fundamento del análisis metalogénico*, Ed. Niedra, Moscú, 1980 (en ruso).
- SCHERVINA, V.V.: *Fundamentos de geoquímica*, Ed. Niedra, Moscú, 1976 (en ruso).
- : *Migración de los elementos y proceso de formación de los minerales*, Ed. Nauka, Moscú, 1980 (en ruso).
- SCHOCK, H.H.: "Distribution of rare earth and other trace elements in magnetites", *Chemical Geology*, vol. 26, no. 1-2, july 1979.
- SCHULING, R.D. and A. FEONSTRA: "Chemical behaviour of vanadium in iron titanium oxides", *Chemical Geology*, vol. 30, no. 1-2, august 1980.
- SOLODOV, N.A.: *Manual geológico de los metales raros pesados litófilos*, Ed. Niedra, Moscú, 1987 (en ruso).
- SODOLOV, N.A. y otros: *Manual geológico para los metales raros litófilos ligeros*, Ed. Niedra, Moscú, 1986 (en ruso).
- STHENDAL, H.: *Heavy minerals in stream sediments*, Southwest Norway, vol 10, no. 1, august 1978.
- TESSIER, A. y otros: "Particulate trace metal speciation in stream sediments and relationships with grain size implications for geochemical exploration", *Journal of geochemical exploration*, vol. 16, no. 2, march 1982.
- TRIPATHI, V.S.: "Factor analysis in geochemical exploration", vol. 11, no. 3, sep 1979.
- TVALLCHRELIDZE, A.G.: *Condiciones geoquímicas de formación de los yacimientos piríticos*, Ed. Niedra, Moscú, 1987 (en ruso).
- VAJRUSCHEV, V.A.: *Minerales meníferos de las rocas eruptivas y metamórficas*, Ed. Niedra, Moscú, 1988 (en ruso).
- WAGNER et al.: "Stream sediment geochemical investigations in Arkansas: comparisons of manganese, zinc and lead-zinc districts with an unmineralized area", *Journal of geochemical exploration*, vol. 9, no. 1, mach 1974.
- WHITNEY, P.R.: "Heavy metals and manganese oxides in the Genesee Waesshed, New York State: effects of geology and land use", *Journal of Chemical Exploration*, vol. 14, no. 1, feb 1961.
- YUKO-ZAJAROVA y otros: *Manual de minerales de metales nobles*, Ed. Niedra, Moscú, 1986 (en ruso).
- ZAJAROVA, F.M.: *Búsqueda por concentrados pesados y análisis de los concentrados*, Ed. Niedra, Moscú, 1974 (en ruso).
- ZAVARINSKI, A.N.: *Rocas eruptivas*, Ed. Academia de Ciencias de la URSS, 1956 (en ruso).