
EFICIENCIA DE LOS ANALISIS ESPECTRALES DE JAGUAS EN LAS INVESTIGACIONES GEOLOGICAS: ASPECTOS METODOLOGICOS

RICARDO ALBERTO VALLS ALVAREZ

- Ingeniero en Minas-Geólogo, M. Sc.
- Especialista en Geoquímica.
- Integrante de la Expedición Geológica "Habana - Matanzas", Cuba.
- Graduado en 1983, en Moscú.

RESUMEN

A pesar de su probada efectividad, la introducción del análisis espectral de las jaguas ha sido básicamente a través de trabajos experimentales, dado que casi no existe literatura especializada al respecto. Aquí se aborda la informatividad geoquímica de las distintas fracciones de la jagua, demostrándose su carácter selectivo y diferenciado, lo cual permite la selección de la o las fracciones más informativas para el tipo de yacimiento o manifestación que se investiga. En el trabajo se incluye una tabla (Tabla No. 3) para facilitarle al especialista la elección adecuada. La informatividad de cada fracción fue demostrada mediante diversos parámetros, entre ellos el del coeficiente de contraste de las anomalías (t) de gran aplicación en el modelaje geomatemático. Por último, se compara el método propuesto con otro que se basa en el análisis espectral de la granulometría $<0,15$ mm, demostrando fehacientemente que su eficiencia es menor y que incluso se pierde información mineralógica durante el tamizado. Los resultados espectrales fueron confirmados tanto por los controles, como por un estudio correlativo realizado con respecto a los resultados del análisis mineralógico, lo cual confirma la exactitud de esas conclusiones. No obstante, teniendo en cuenta los múltiples factores que influyen sobre estos muestreos, es recomendable que el interesado repita en su área de trabajo este diseño experimental para que pueda establecer sus propias conclusiones.

I. INTRODUCCION

El análisis espectral de las jaguas (A.E.J.) es uno de los métodos más informativos al alcance del geoquímico dada la intensidad y variabilidad que alcanza la señal, lo que permite la aplicación exitosa de métodos analítico semi-cuantitativos como el análisis de emisión espectral s/c. La mayor dificultad en su aplicación masiva es la ausencia casi total de literatura especializada sobre este tema, lo cual obliga a la realización de trabajos metodológico-experimentales previos si es que se desea obtener resultados confiables.

Este informe presenta en forma resumida los resultados obtenidos de dos trabajos de este tipo realizados en los años 1986 y 1987 respectivamente y que sentaron las bases para la aplicación de los A.E.J. de forma masiva en el P.T.E. "Levantamientos Geológicos 1:50 000 Las Villas - III".

En una primera etapa (1986) se perseguía determinar "Las capacidades informativas espectrales" de cada fracción y su relación con los resultados mineralógicos. En una segunda etapa (1987) se defiende la metodología propuesta contra otra aplicada en la República Federativa Checa y Eslovaca, basada en el análisis espectral de la granulometría menor de 0,15 mm, demostrándose las limitaciones de esta última.

Por motivos de espacio, en el trabajo sólo se presentarán los principales resultados, especialmente en forma tabulada. Todo el material primario sobre el que descansa esta investigación puede ser consultada en los fondos de la Expedición Geológica Habana-Matanzas.

Una vez realizadas estas consideraciones iniciales, pasará a presentarles los resultados correspondientes a la primera etapa de esta investigación.

II. INFORMATIVIDAD ESPECTRAL DE LAS FRACCIONES

Para determinar la informatividad del A.E.J., seleccioné aleatoriamente 35 jaguas correspondientes al P.T.E. "Levantamiento Geológico 1:50 000 parte norte Villa Clara" las cuales, luego de su separación en fracciones (magnética, electromagnética, pesada y ligera) y la descripción mineralógica detallada de las mismas, fueron cuarteadas y pulverizadas a 200 Mesh a excepción de la fracción ligera la cual no fue analizada, siendo sometidos posteriormente a A.E.E. s/c de 18 elementos +Ba, V y Au (este último se detecta directamente, sin necesidad de realizar análisis auroespectrales o dosimásticos).

En la tabla No. 1 se representan las concentraciones de cada elemento en cada fracción en forma de rangos expresados en números romanos en orden descendente en correspondencia con la concentración del elemento en la fracción analizada. De no detectarse dicho elemento en la fracción, se sitúa un cero (0). Las mayores concentraciones de elementos en cada fracción se destacan por un subrayado.

No obstante, no es la concentración media el parámetro más interesante. De mayor utilidad resultan los elementos presentados en la tabla 2 en la cual -siguiendo el mismo sistema de "ranqueo" del empleado en la tabla No. 1- se ofrece la capacidad concentradora de los elementos de cada fracción,

FRACCION			
	MAGNETICA	ELECTRO- MAGNETICA	PESADA
As	II	0	III
Sb	0	0	III
Pb	I	II	III
Sn	I	II	III
Ag	0	0	III
Ni	III	II	I
Bi	0	0	III
Mo	II	III	I
Cu	II	III	I
Co	III	III	II
Cr	III	II	I
V	III	II	I
Ba	I	III	II
Au	0	0	III

TABLA 1. ORDEN DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS EN LAS DISTINTAS FRACCIONES.

FRACCION			
	MAGNETICA	ELECTRO- MAGNETICA	PESADA
As	II	0	III
Sb	0	0	III
Pb	I	II	III
Sn	I	II	III
Ag	0	0	III
Ni	III	II	I
Bi	0	0	III
Mo	II	III	I
Cu	II	III	I
Co	III	II	I
Cr	III	II	I
V	III	II	I
Ba	II	III	II
Au	0	0	III

TABLA 2. ORDEN DE LOS CLARQUE-CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS EN LAS FRACCIONES ESTUDIADAS.

a partir del clarque-concentración de cada elemento, determinado según (1).

$$Kc = MX/C \quad (1)$$

donde:

MX = es el contenido medio del elemento en la fracción analizada, y

C = es el clarque de dicho elemento en la corteza terrestre (Taylor, 1964).

2.1 Selectividad Geoquímica de las Fracciones

Del análisis de esta segunda tabla se puede concluir que las fracciones son selectivas y a la vez -diferenciadas, o sea, que no hay dos fracciones que concentren por igual a un mismo elemento. Esta característica me permitió la confección de la tabla 3, donde se analiza la selectividad geoquímica de cada fracción.

2.2 Evaluación de la Informatividad de las Fracciones

Las tablas anteriores ilustran con claridad el comportamiento en general de los elementos en las distintas fracciones de la jagua. La siguiente tarea sería definir **qué consideraremos** como la fracción más informativa y a través de **cuáles parámetros** la evaluaremos.

Definiré como la fracción más informativa aquella que cumpla con las siguientes condiciones fundamentales:

a. que brinde información sobre la mayor cantidad posible de elementos, y

b. que brinde el mayor grado de contraste en cada elemento detectado.

Además sería deseable su fácil separación del resto de las fracciones.

Para llegar a una conclusión justificada al respecto, emplearé los siguiente parámetros:

A. Coeficiente de Contraste promedio de la fracción (γ), el cual se define como la media aritmética de dicho valor (Soloviov, 1985) en la fracción analizada. El valor en sí se determina por medio de las ecuaciones siguientes (2), (3), (4), (5) y (6):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$X_{3+} = \bar{X} + 3S \quad (4)$$

$$\varepsilon = 3 \sqrt{\frac{X_{3+}}{\bar{X}}} \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{1}{\log \varepsilon} \log \left(\frac{X_{\max}}{\bar{X}} \right) \quad (6)$$

donde

- n** = es la cantidad de datos que componen la muestra analizada.
- x_i** = es cada valor del parámetro analizado.
- \bar{X}** = es la media aritmética de la muestra (puede sustituirse por el valor de la Mediana o de la Moda Absoluta, si se desconoce la ley de distribución de los datos).
- S** = es la desviación típica de la muestra.
- x₃₊** = es el límite inferior de las anomalías de tercer orden.
- X_m** = es el valor máximo del parámetro analizado.
- γ** = es el coeficiente de contraste del elemento.

ε = es el valor del múltiplo standard (también en este caso la media puede ser sustituida por la moda absoluta o la mediana).

B. Informatividad de la Fracción (α), la cual se define como:

$$\alpha = n \cdot 100 \% / N \quad (7)$$

donde:

- n** = es la cantidad de elementos que se detectan en la fracción, y
- N** = es la totalidad de los elementos detectados (N=14)

Los resultados de estos parámetros se muestran en la tabla 4. De donde se desprende que en general la fracción más informativa es la pesada, seguida por la magnética y la electromagnética.

2.3 Selección de las Fracciones que compondrán la jagua espectral

Un análisis combinado de las tablas tres y cuatro le permitirán seleccionar la o las fracciones que someterá a análisis espectral o de otro tipo. Por ejemplo, no hay dudas de que si lo que nos interesa es la búsqueda de elementos siderófilos (grupo del hierro, bastaría entonces con analizar la fracción magnética, la cual puede ser separada fácilmente con un imán.

Ahora bien, si este no es su caso, le recomiendo eliminar dicha fracción del análisis por las razones siguientes:

ELEMENTOS				
	PRINCIPALES	SECUNDARIOS	ACCESORIOS	NO DETECTADOS
F				
R				
A	MGT.	Ni, Co, Cr, V	As, Mo, Cu, Ba	Pb, Sn, Sb, Ag, Bi, Au
C	E/MGT.	Mo, Cu, Ba	Pb, Sn, Ni, Co, Cr, V	As, Sb, Ag, Bi, Au
I				
O	PESADA	As, Sb, Pb, Sn, Ag, Bi, Au	Ba	Ni, Mo, Cu, Co, Cr, V
N				

TABLA 3. SELECTIVIDAD GEOQUIMICA DE LAS FRACCIONES ESTUDIADAS EN LOS ANALISIS ESPECTRALES DE JAGUAS.

FRACCION		
MAGNETICA	ELECTRO-MAGNETICA	PESADA
2,19 67,00%	1,28 42,00%	2,87 100,00%

TABLA 4.
INFORMATIVIDAD DE LAS FRACCIONES

a. Altas concentraciones de Ni, Co, Cr, V, Ti, etc., oscurecen mucho la placa y pueden llegar a estorbar la lectura de otros elementos (Lazarina Ignátova Lazarova, comun. pers.).

b. Todos los principales elementos de la fracción magnética aparecen como secundarios o accesorios en la fracción electromagnética, por lo cual dicha información no se perdería.

Por otra parte, no resulta conveniente eliminar la fracción electromagnética a pesar de su menor informatividad pues:

a. Perderíamos toda la información acerca de los elementos siderófilos.,

b. en esta fracción se obtienen las mayores concentraciones de Cu, Ba y sobre todo, de Mo,

c. de ser eliminado, el peso de la muestra quedaría tan reducido que imposibilitaría la realización de controles, y

d. la separación de dicha fracción implica el empleo de un electroimán, lo cual complica todo el proceso.

Todo lo anterior permite recomendar el A.E.E. s/c de la fracciones pesadas y electromagnéticas para todos los casos, excepto cuando el interés de la búsqueda son elementos siderófilos, en cuyo caso el análisis espectral de la fracción magnética sería suficiente.

Es por ello que le recomiendo al muestrear para A.E.J., llevar la jagua hasta "negra", o sea eliminar al máximo posible la fracción ligera. Luego de secada la muestra al Sol, separe la fracción magnética por medio de un imán repitiendo la operación varias veces para evitar impurezas por arrastre mecánico.

Esta fracción magnética guárdela en un sobre aparte para el análisis o posibles futuras investigaciones. El resto de la muestra estará conformada, básicamente por las fracciones pesada y electromagnéticas.

Para trabajos de mayor precisión es posible obtener primero un concentrado libre de arcilla en el campo y luego obtener la jagua en el laboratorio por medio de una mesa de concentración para posteriormente separarla en las fracciones correspondientes. Las mismas, antes de ser enviadas al laboratorio, deberán cuartearse y homogenizarse bien y luego pulverizarse hasta 200 Mesh. El peso de cada muestra deberá ser informado al geoquímico.

2.4 Verificación de la exactitud de los resultados

Por último es necesario analizar el problema de la **seguridad de las conclusiones** a que podemos arribar.

De todos es conocido que el A.E.E. s/c - aún cuando se efectúa con todo cuidado- presenta un error de dos y hasta tres intervalos... ¿Hasta qué punto dicho error característico (e irremediable) influye en los resultados obtenidos en este trabajo?.

En nuestro caso fue posible determinar la calidad de los resultados y no sólo por medio de los controles de los análisis, sino que fue factible comprobarlo por un método independiente -el análisis mineralógico- lo cual es mucho más conveniente (Bunge, 1972).

En general se observa una excelente correlación entre los resultados obtenidos por ambos métodos. Por ejemplo, la fracción magnética presenta altos contenidos de Ni, Co, Cr, etc. y el análisis mineralógico reporta elevadas concentraciones de magnetita, cromita, ilmenita, etc. La fracción pesada por su parte reporta contenidos apreciables de As, Sb, Pb, Sn, Au, etc... en tanto que el análisis mineralógico reporta la presencia de oro y plomo nativo, pirita, calcopirita, etc. Por último, la fracción electromagnética reporta elevados contenidos de Mo, Cu y Ba y es conocida la presencia en las muestras de barita, minerales de cobre, etc.

No obstante, estas tendencias generales se comprobaron mediante el modelo geólogo-matemático denominado "método para la determinación de dependencia entre atributos cualitativos" (Bondarenko, 1985). La aplicación de este método permitió responder unívocamente a la

siguiente pregunta: ¿tendrá la aparición simultánea de concentraciones relativamente altas de un elemento dado y la presencia de un mineral "x" que contiene dicho elemento, en una misma muestra un caracter causal o aleatorio?"

Como primer paso se confecciona la tabla de conjugación de atributos (vid. tabla 5), donde el suceso **A** es la presencia del elemento en el análisis espectral; \bar{A} es la ausencia de dicho elemento; **B** es la presencia de cualquier mineral posible de contener el elemento analizado ya sea como elemento principal, ya como impureza y \bar{B} es la ausencia de dichos minerales.

ATRIBUTOS	B	\bar{B}	TOTAL
$\frac{A}{A}$	5	1	6
A	4	25	29
TOTAL	9	26	35

TABLA 5. CONJUGACION DE LOS ATRIBUTOS A Y B PARA EL ORO

Por otra parte,

$\frac{AB}{AB}$ es la presencia del elemento y el mineral

$\frac{A\bar{B}}{A\bar{B}}$ es la ausencia del elemento y el mineral

$\frac{\bar{A}B}{\bar{A}B}$ es la ausencia del elemento y la presencia del mineral

$\frac{\bar{A}\bar{B}}{\bar{A}\bar{B}}$ es la presencia del elemento y la ausencia del mineral

La correlación real (r) se determina mediante la ecuación:

$$r = \frac{(AB * \bar{A}\bar{B} - \bar{A}B * A\bar{B})}{\sqrt{A * \bar{A} * B * \bar{B}}} \quad (8)$$

Determinándose su significación mediante la ecuación:

$$rp = 3 \times \frac{1 - (r)^2}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

Si r es mayor que rp , entonces se acepta que existen una correlación entre ambos factores y que la misma tiene un caracter causal, no aleatorio, osea que está condicionada a determinadas causas geológicas.

Para ejemplificar, veamos el caso del oro.

Sustituyendo en (8) obtenemos:

$$r = \frac{5 \times 25 - 4 \times 1}{\sqrt{9 \times 26 \times 6 \times 29}} = 0,6$$

Para verificar la significación de la correlación determinada, sustituimos en (9) obteniendo

$$rp = 3 \times \frac{1 - (0,6)^2}{\sqrt{35}} = 0,3$$

Dado que r es mayor que rp , podemos afirmar que existe una correlación no aleatoria entre los resultados obtenidos por ambos métodos para el oro.

Semejantes resultados fueron obtenidos para otros elementos, por lo cual podemos asumir como satisfactoria la calidad de los resultados y por ende aceptar como válidas y comprobadas las conclusiones a que se han llegado.

III. EL ANALISIS ESPECTRAL DE LA GRANULOMETRIA MENOR DE 0,15 MM

Con posterioridad a estos trabajos, se conoció gracias a la comunicación personal de la Lic. Checa Dolevzalova, especialista en mineralogía de la Expedición Geológica de Santa Clara, de otra metodología para la realización de los A.E.J. ampliamente empleada en su país.

En resumen, dicha metodología orienta lavar la jagua hasta obtener la fracción "gris" (o sea conservar parte de la fracción ligera en la jagua), secarla, tamizarla a 0,15 mm, sometiendo a análisis mineralógico la granulometría mayor (+) de 0,15 mm y a A.E.E.s/c la granulometría menor (-) de 0,15 mm, luego de pulverizarla a 200 Mesh.

Las ventajas de este método son evidentes. Por una parte permite de una misma muestra obtener material para dos análisis y por otra parte permite una comparación más directa de los resultados espectrales y mineralógicos.

3.1 Diseño Experimental

Fue por ello que se decidió realizar un nuevo trabajo experimental para comprobar -mineralógica y espectralmente- ambas metodologías (figura No.1). Para ello fueron seleccionadas 18 jaguas pertenecientes al P.T.E. "Levantamiento Geológico 1:50 000 Las Villas III". Cada muestra se dividió en dos. La primera de estas fue tamizada a 0,15 mm, realizándose la interpretación mineralógica a ambas granulometrías y el A.E.E. s/c a la fracción -0,15 mm, luego de ser pulverizada la misma a mano hasta de 200 Mesh.

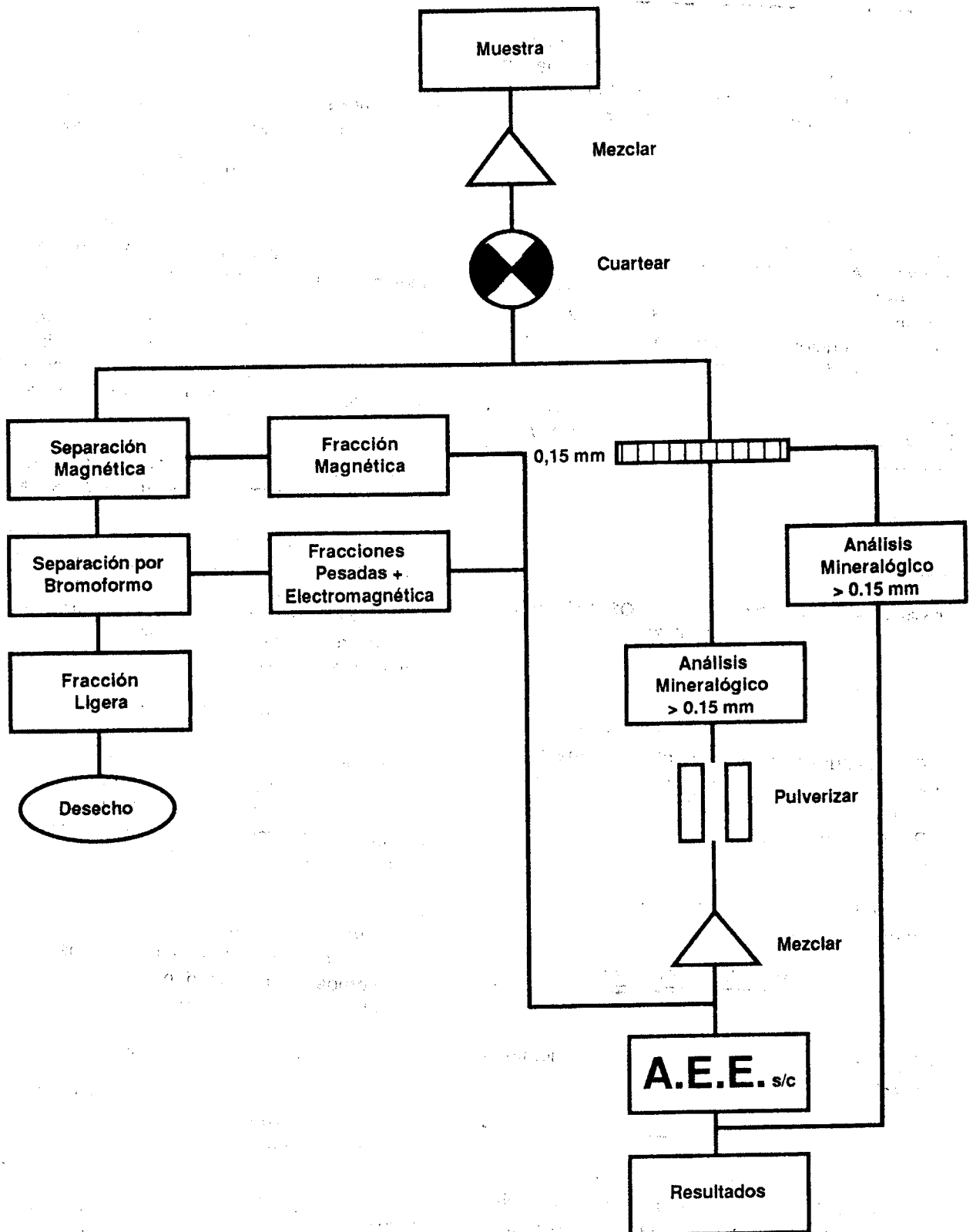


FIGURA No. 1 REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL REALIZADO PARA COMPARAR LA EFECTIVIDAD DE AMBOS METODOS.

A la otra parte, se le separaron las siguientes fracciones:

magnética.

- b. electromagnética + pesada, y
- c. ligera

Las dos primeras fracciones fueron sometidas a A.E.E. s/c por separado, pues se quería comprobar nuevamente la informatividad de la fracción magnética.

3.2 Resultados de la Comparación Mineralógica

El análisis de los materiales primarios -en existencia en la Expedición Geológica "Habana-Matanzas"- permitió demostrar la mayor efectividad del método propuesto en 1987 sobre el empleado en la República Federal Checa y Eslovaca.

En primer lugar quedó demostrado que la informatividad mineralógica promedio (w) de la granulometría $-0,15$ mm era mayor que la de la granulometría $+0,15$ mm. Dicho parámetro se determinó mediante la ecuación (10):

$$w = n * 100 / m \quad (10)$$

donde:

- n = es la cantidad de minerales detectados en la granulometría $+0,15$ mm, y
- m = es la cantidad de minerales detectados en la granulometría $-0,15$ mm.

Al promediar dichos valores para las fracciones electromagnéticas y pesadas por separado, se obtuvieron los siguientes resultados.

Fracción electromagnética	$w = 94 \%$
Fracción pesada	$w = 69,5 \%$

Estos resultados demuestran claramente que la información mineralógica es más variada en la granulometría $-0,15$ mm, sobre todo en la fracción pesada donde se pierde casi el 30% de la información en la granulometría $+0,15$ mm. Es por ello incorrecto limitar el análisis mineralógico a la granulometría $+0,15$ mm. Dicho análisis debe realizarse a la muestra sin tamizar o -entodo caso- a la granulometría $-0,15$ mm.

La causa de este comportamiento desigual se debe -en mi opinión- a que los minerales meníferos son generalmente más frágiles y tectonizados que los estériles y por esa razón son triturados con mayor facilidad. De ahí su predominante papel en la granulometría $-0,15$.

Por otra parte, el estudio mineralógico de dicha granulometría en sectores de detalle puede dar un cuadro más exacto de la distribución del mineral analizado, tal como se muestra en las figuras 2 y 3.

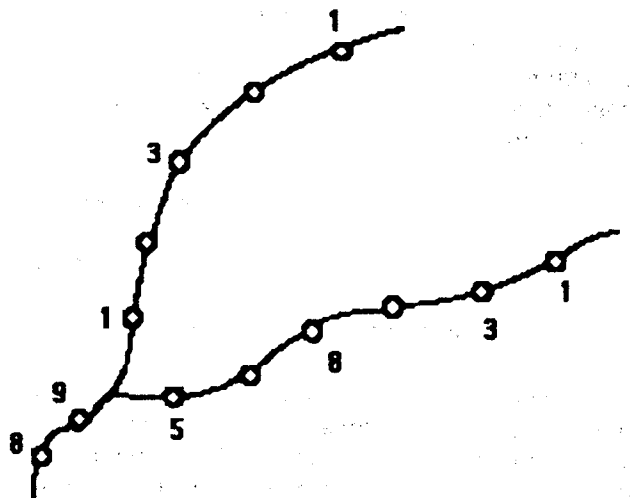


FIGURA No. 2 RESULTADOS (GRANOS DE ORO) DE LAS MUESTRAS NO DIFERENCIADAS.

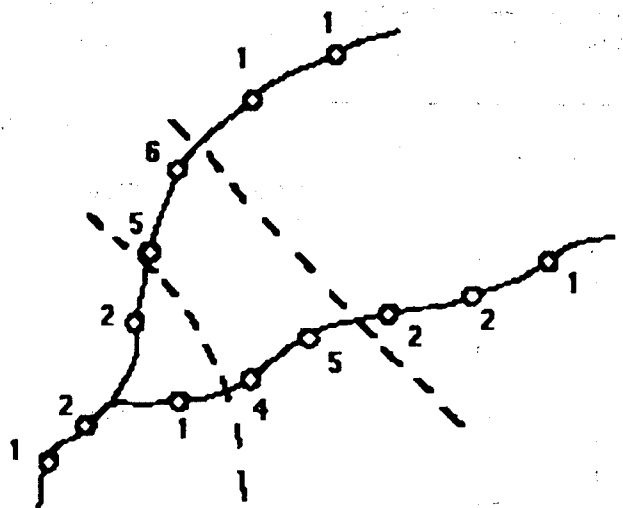


FIGURA No. 3 RESULTADO EN GRAMOS DE ORO DE LA GRANULOMETRIA MENOR DE 0,15 MM.

Como puede apreciarse, la información en la figura No. 2 no es suficiente como para delimitar un área de búsqueda, pues se compone de resultados aislados, situación esta muy frecuente desgraciadamente. No obstante, un análisis de la granulometría -0,15 mm de las mismas muestras brindó un cuadro de distribución más uniforme que permitió la delimitación de un área perspectiva.

3.3 Resultados de la Comparación Espectral

En lo que respecta a los análisis espectrales, es de señalar que el clarque-concentración promedio de las fracciones es muy elevado, a pesar de ser muestras tomadas de zonas estériles. Los Kc promedios obtenidos fueron:

- a. Fr. pesada + electromagnética: 6537,
- b. Fr. magnética: 5412,y
- c. Granulometría -0,15 mm: 3634.

La capacidad de concentradora promedio de la granulometría - 0,15 mm es 1,8 veces menor que la de la propuesta por nosotros. Tal como puede apreciarse en la tabla 6, sólo un elemento (el cobre) se concentra más en dicha muestra.

Otra conclusión que puede ser deducida de la tabla 6 es que el 61,5% de todos los elementos detectados aparecen como elementos principales en la fracción pesada + electromagnética, contra sólo un 7,7% en la granulometría - 0,15% mm. Si incluimos además

los elementos "secundarios", la proporción sería del 92,3 : 46,2 o sea casi el doble.

Un último criterio sería la determinación del coeficiente de contraste promedio para cada fracción (γ) ya antes explicado. Luego de realizados los cálculos correspondientes, se obtuvieron los siguientes resultados:

Fracción electromagnética + pesada: 2,60
Fracción magnética: 2,38
Granulometría - 0,15 mm: 2,28

Todo lo cual nos permite afirmar que el método que propone el análisis de la granulometría -0,15 mm, a pesar de sus inobjetable ventajas, es menos efectivo tanto espectral como mineralógicamente que el propuesto en 1987, por lo cual no recomiendo su uso en nuestras condiciones geológicas.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los trabajos realizados permiten llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

a. Dada su capacidad de concentrar de forma natural los minerales pesados (meníferos), el A.E.J. es un método ideal tanto para las búsquedas como para los levantamientos geoquímicos.

b. Cada fracción de la jagua es concentradora de determinadas combinaciones de elementos, característica esta que debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar las fracciones que se someterán a análisis espectrales. Le recomiendo

		ELEMENTOS				
		PRINCIP.	SECUND.	ACCESOR.	NO DETECT.	TOTAL
FRACCIÓN ANÁLISIS OBTENIDA	MGT.	4/30,8	4/30,8	3/23	2/15,4	13/100
	E/MGT. Y PES.	8/61,5	4/30,8	1/7,7	-	13/100
	GRAN. -0,15 mm	1/7,7	5/38,5	7/53,8	-	13/100
	TOTAL	13/100	13/100	11/84,6	2/15,4	

TABLA 6. SELECTIVIDAD GEOQUÍMICA DE LAS FRACCIONES ANALIZADAS (N/M; N-CANTIDAD DE ELEMENTOS, M- % QUE REPRESENTA DEL TOTAL)

emplear la tabla 3 de este trabajo al realizar su selección.

c. Siempre que sea posible, elimine la fracción magnética puesto que la misma ennegrece mucho la placa dificultando su interpretación y porque además, toda su información se refleja -si bien con menor claridad- en la fracción electromagnética.

d. La granulometría -0,15 mm posee mayor variabilidad de información mineralógica lo cual implica una sensible pérdida de información cuando se analiza sólo la granulometría + 0,15 mm . Le recomiendo realizar el estudio mineralógico de la muestra sin tamizar o bien de la granulometría -0,15 mm, sobre todo de la fracción pesada. Para las áreas de detalle esto pudiera convertirse en una práctica muy útil.

e. El A.E.E. s/c de la granulometría -0,15 mm se relevó como menos eficiente en todos los factores analizados que el mismo análisis de una mezcla de las fracciones electromagnéticas + pesada o de la fracción magnética, razón por la cual no recomiendo su empleo, al menos sin una previa investigación de su efectividad. Para realizar dichas comparaciones pudiera emplearse el mismo esquema aquí presentado.

V. AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer la colaboración de los especialistas del Laboratorio Provincial de la

Expedición Geológica de Santa Clara, en especial a los departamentos de análisis espectrales y mineralógicos, por la calidad y rapidez del trabajo realizado, así como al Grupo de Geoquímica de dicha Expedición, muy especialmente al Ing. Orestes Romero Loynaz y al especialista búlgaro Emil Chelevié, quienes con sus críticas y recomendaciones enriquecieron indudablemente este trabajo.

VI. BIBLIOGRAFIA

Bondarenko, V. N. et al., 1985. Métodos estadísticos durante la búsqueda geoquímica de los yacimientos minerales. Santiago de Cuba: Ed. Oriente, 183 pp.

Bunge, M. A. 1972. La investigación científica, su estrategia y su filosofía. La Habana: Ed. Ciencias Sociales, 456 pp.

Soloviov, A. P. y A. A. Matvieiev. 1985. Métodos geoquímicos de búsqueda de yacimientos meníferos. Compendio de ejercicios [en ruso], 2da. ed., Moscú: 233 pp.

Taylor, S. R. 1964. Trace elements abundances and the chondritic Earth Model, (apud. Voitkievich).

Valls Alvarez, R. A. 1987. Capítulo de geoquímica. En P.T.E. "Levantamiento Geológico 1:50 000 Las Villas III" [inédito], La Habana: C.N.F.G.

Voitkievich, G. B. et al., 1970. Pequeña guía geoquímica. [En ruso], Moscú: Nedra, 280 pp.