



MINISTERIO DE LA INDUSTRIA BASICA  
REPUBLICA DE CUBA

# REVISTA TECNOLOGICA

Vol. XVIII No. 3, 1987

Precio: Dos pesos



PORTADA Y CONTRAPORTADA:  
Termoeléctrica "10 de Octubre"  
ISSN-0864-1897

## SUMARIO

## SUMMARY

### Geología Geology

- Rocas magnesianas sedimentarias en el mioceno de Camagüey: Métodos de prospección  
Miocene sedimentary magnesian rocks in Camagüey: prospection method  
Ing. Manuel A. Iturralde-Vinent, Ing. Armando de la Torre Domínguez, Ing. Ma. Elena Quintana

- Racionalización del muestreo litogeoquímico durante los trabajos de levantamientos geológicos regionales  
Rationalization of lithogeochemical sampling in regional geological surveys  
Ing. Ricardo A. Valls Álvarez, MSc.  
Ing. Héctor Núñez Mantilla.

- Morfología y composición de bauxitas lateríticas cubanas por Microscopia de Barrido y DRX  
Morphology and composition study of cuban lateritic bauxites using scanning electron microscopy and x-ray diffraction  
N. R. Furet, G. Rodríguez Fuentes.

- Distribución del níquel en los yacimientos lateríticos cubanos  
Nickel distribution in cuban lateritic deposits  
Ing. Adis Rodríguez Cardona,  
Ing. Héctor Rodríguez Ruiz.

### Química Chemistry

- Inhibidores de la corrosión del acero en soluciones de  $H_3PO_4$ . PARTE I  
Steel corrosion inhibitors in  $H_3PO_4$  solutions (PART I)

A. Cepero, Ma. I. González, C. Candedo,  
I. Salgado, C. Bauta.

- Los costos de la contaminación que se originan en las industrias químicas del MIB  
Contamination values in chemical industries of the Ministry of Basic Industry  
Lic. Omar Pérez, Lic. Miguel Díaz.

- Determinación de homogeneidad química en muestras sólidas en polvo  
Chemical homogeneity determination in solid powder samples  
C.Dr. Alberto Tagle Pérez, C.Dr. Ilona Berdan,  
Lic. Margarita Villanueva Tagle.

# Racionalización del muestreo litogeoquímico durante los trabajos de levantamientos geológicos regionales

Ing. Ricardo A. Valls Álvarez, MSc\*

Ing. Héctor Núñez Mantilla\*

## RESUMEN

*Se pretende demostrar que para la caracterización estadística (especialización geoquímica) en los trabajos de levantamiento regionales, no es obligatorio recurrir al muestreo proporcional o muestreo de Beus, pudiendo ser sustituido el mismo por el muestreo aleatorio estratificado con fijación óptima, el cual no sólo garantiza la correcta caracterización de los grupos petrológicos que se estudian, sino que lo logra con un volumen menor de muestras, lo cual se traduce en un sensible ahorro de tiempo, trabajo y dinero. Permite además organizar los trabajos de muestreo en dependencia del tiempo con que se disponga para la ejecución de los mismos o del presupuesto de los trabajos.*

*En este trabajo se explica la metodología del muestreo aleatorio estratificado con fijación óptima (M.A.E.F.O.) y se demuestra -a base de un caso real- que los resultados obtenidos son análogos a los del muestreo proporcional.*

*Para la confección de este trabajo, fueron empleados programas de computación en el lenguaje BASIC de las calculadoras programables CASIO FX-801P con que cuenta nuestra expedición.*

## INTRODUCCION

Durante los trabajos regionales de levantamiento geológico, el objetivo fundamental del muestreo litogeoquímico por aureolas primarias, es la caracterización estadística (especialización geoquímica) de los distintos grupos petrológicos (1, 2).

En la actualidad dicho muestreo se realiza de acuerdo con el principio de Beus (3), también conocido como muestreo proporcional. El mismo establece un mínimo de 30 a 40 muestras para el tipo petrológico menos abundante para luego calcular proporcionalmente la cantidad de muestras por tomar en los demás grupos. Otra variante del mismo método es tomar una cantidad «n» fija de muestras por kilómetro cuadrado.

Las ventajas del muestreo proporcional han sido ampliamente difundidas por Beus y por otros autores, pero existen situaciones en las que este tipo de muestreo no es efectivo ni racional. Un ejemplo

de esto se produce cuando en la región estudiada existe una gran diferencia en el rango de presencia de los distintos grupos petrológicos, de forma tal que la cantidad de muestras por tomar en los grupos mayores -calculadas a partir de un mínimo de 30 a 40 muestras para los grupos menores- es realmente exagerada, siendo necesario reducir subjetivamente dicha cantidad.

La desventaja de la segunda variante del muestreo proporcional, radica en la posibilidad de reunir menos de 20 a 30 muestras de algún tipo petrológico poco frecuente en la zona. Además, ninguna de estas dos variantes de muestreo tiene en cuenta el costo en tiempo o en dinero de los trabajos.

Es por esto que se propone emplear otro tipo de muestreo, el así denominado «muestreo aleatorio estratificado con fijación óptima» (M.A.E.F.O.). Este tipo de muestreo puede ser empleado siempre, permite racionalizar al máximo el volumen de muestreo sin perder información y tiene en cuenta el tiempo o el presupuesto de que se dispone para los trabajos, estableciendo la variante óptima de muestreo. En este trabajo se explica la metodología del

\* Expedición Geológica CAME II

Empresa Geológica Villa Clara, MINBAS

M.A.E.F.O. sobre un caso real y se demuestra su efectividad. Es de esperar que el empleo del M.A.E.F.O. contribuya a mejorar la situación existente en nuestros laboratorios, al reducirse sensiblemente los volúmenes de muestras a analizar por los mismos.

## 1. ASPECTO GEOLOGICO

Desde octubre del año 1984 hasta marzo del año 1985, se realizó el levantamiento geoquímico de las planchetas Esperanza y Santo Domingo, provincia Villa Clara. Dentro del complejo de métodos empleados se encuentra el muestreo litogeoquímico por aureolas primarias, el cual se realizó de acuerdo con el principio de Beus.

Para la confección de este trabajo, se tomaron datos reales de la plancheta Esperanza como un pre-muestreo, para determinar estadísticamente, la cantidad de muestras por tomar en la plancheta de Santo Domingo. El objetivo de esta investigación es demostrar que los resultados obtenidos mediante el muestreo proporcional y por el M.A.E.F.O. son análogos, para de esta forma confirmar la calidad de este último.

### 1.1. SELECCION DE LOS ELEMENTOS INFORMATIVOS

Con el objetivo de lograr una mayor claridad y sencillez en la exposición de este trabajo, se analizó sólo un tipo petrológico: las tobas.

Dentro de estas se determinaron los elementos más informativos según el valor de su variabilidad (1.1.1.).

$$V = S \cdot 100 / Mx \quad \text{donde}$$

V - Es la variabilidad expresada en por cientos.

S - Es la desviación cuadrática media.

Mx - Es el valor medio de la muestra.

Como elementos informativos se seleccionaron aquellos con valores de V superiores al 50 %. Por motivos de espacio, sólo se mostrarán los cálculos para el elemento más informativo: el cobre.

## 2. EL MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO CON FIJACION OPTIMA

El muestreo aleatorio estratificado nos permite evaluar las características de cada grupo petrológico (estrato) con un volumen mínimo de muestras.

La fijación óptima, por su parte, nos permite realizar dicho muestreo teniendo en cuenta limitaciones en el presupuesto o en el cronograma de los trabajos. Cada tipo de fijación establece una forma diferente de establecer el tamaño de la muestra a partir

de la cantidad de datos a elaborar (población-objetivo). En el caso específico de la fijación óptima, la ecuación para determinar la cantidad total de las muestras por tomar en todos los estratos de la plancheta Santo Domingo, se establece mediante la ecuación (2.1):

$$n = [(Ct - Co) \sum (Wh \cdot Sh / \sqrt{Ch})] / \sum Wh \cdot Sh \cdot \sqrt{Ch}, \text{ donde:}$$

Ct - Es el presupuesto (o el tiempo) de que se dispone.

Co - Es el costo fijo (en tiempo o dinero), esto es, lo que se emplea en cualquier caso, independientemente de la estrategia del muestreo.

Ch - Es el costo en tiempo o dinero del muestreo de un elemento poblacional que se encuentre en el estrato «h».

Sh - Es la desviación cuadrática media del estrato «h».

Wh - Es la ponderación del estrato «h».

Por su parte la ponderación de un estrato se define como (2.2):

$$Wh = Nh / N \quad \text{donde}$$

Nh - Es la cantidad total de las muestras en el estrato «h».

N - Es la población total.

Como se puede apreciar, la ecuación (2.2) es la base fundamental del muestreo proporcional o de Beus.

La cantidad mínima de datos en cada estrato se determina mediante la ecuación (2.3):

$$nh = [(Wh \cdot Sh / \sqrt{Ch}) \cdot n] / (\sum Wh \cdot Sh / \sqrt{Ch})$$

Como se desprende de las ecuaciones anteriores, es necesario un pre-muestreo para determinar el valor de la desviación cuadrática media de los estratos (Sh). Para esto se seleccionaron aleatoriamente 50 valores de las tobas de la plancheta Esperanza. Los valores de Ch se tomaron en forma de tiempo (se convierten en horas) según las normativas existentes para los trabajos geoquímicos (muestreo litogeoquímico de los testigos de pozos de perforación).

El valor de la ponderación de cada estrato en la plancheta Santo Domingo se tomó igual al por ciento de existencia de cada tipo petrológico (según el mapa geológico 1:250 000 de Kanchév), dividido entre 100.

### 3. ELABORACION DE LOS DATOS DEL PRE-MUESTREO

Los 50 valores tomados aleatoriamente de entre todos los valores de las tobas de la plancheta Esperanza, fueron procesados siguiendo los pasos que a continuación se relacionan:

- Determinación de valores anormales o huracanados.
- Determinación de las leyes de distribución.
- Determinación de la desviación cuadrática media (Sh).

Se determinó la presencia de valores anormales (huracanados) mediante el programa «ANOMALO-2» [4], el cual se basa en la norma cubana NC 92 - 21 [5], sólo que en el estadígrafo utilizado se sustituyó la media aritmética por el valor de la mediana. Esto permite utilizar dicha norma en distribuciones desconocidas, no determinadas o no representativas. Entre los valores analizados no se detectaron valores huracanados.

Para establecer la ley de distribución de los valores, se emplearon los programas «DISTR-2A» y «DISTR-2B» [6], basados en la determinación de los valores críticos de la asimetría y el exceso de la curva de distribución probabilística de la función. Se estableció, mediante los programas anteriores, que los valores del cobre analizados responden a una distribución lognormal.

Las características estadísticas se determinaron en dependencia de la ley de distribución mediante el programa «STATLOGN» [5]. Los resultados de dicho análisis se ofrecen a continuación:

Valor medio (media geométrica)	— 1,54 < Mx < 5,08
Sumatoria de las x	— 270,68
Sumatoria de las x <sup>2</sup>	— 1307,00
Desviación cuadrática media (Sh)	— 3,96
Variabilidad (%)	— 72,16 %
Población del estrato (Nh)	— 50
Rango de valores (R)	— 1 a 20
Valor del criterio de Student	— 2,00

### 4. DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE MUESTRAS POR ESTRATOS

Para determinar la cantidad de muestras a tomar

en las tobas de la plancheta Santo Domingo (y de los demás tipos petrológicos también) se empleó la ecuación (2.1). Si los cálculos se van a efectuar manualmente, es preferible realizar las siguientes operaciones previas:

ELEMENTO: Cobre.

LITOLOGIA	Wh	Ch	Sh	Wh · Sh	Wh · Sh / √Ch	Wh · Sh · √Ch
Tobas	0,55	1,757	3,96	2,178	1,239	3,826
Serpentinitas	0,30	1,754	3,61	1,083	0,610	1,899
Calizas	0,15	1,750	3,50	0,525	0,300	0,918
TOTAL:					2,149	6,643

Se procede entonces a calcular la cantidad total de muestras necesarias de las tobas de la plancheta Santo Domingo. El tiempo de que se dispone para efectuar los trabajos —según el cronograma del proyecto— es de cuatro meses, o sea 120 días de nueve horas, por lo que Ct será igual a 1 080 horas. El tiempo necesario para preparar las comisiones para el trabajo en el campo se tomó igual a cinco días, por lo que Co será igual a 45 horas. Sustituyendo estos valores en (2.1) tendremos que la cantidad total de muestras por tomar en la plancheta Santo Domingo será igual a:

$$N = [(1\,080 - 45) \cdot 2,149] / 6,643 = 335 \text{ muestras.}$$

En cada estrato se determinó la cantidad de muestras por tomar según la ecuación (2.3), determinándose para las tobas:

$$n \text{ tobas } 1,239\,335 / 2,149 = 193 \text{ muestras}$$

Para verificar si las cantidades determinadas a partir de la ecuación (2.3) no rebasan la totalidad del tiempo planificado, se emplea la ecuación (4.1)

$$Ct \geq Co + (N_1 \cdot Ch_1 + N_2 \cdot Ch_2 + \dots + N_n \cdot Ch_n).$$

En el caso analizado se tiene que

$$1\,080 \geq 45 + (193 \cdot 3,088 + 95 \cdot 3,077 + 47 \cdot 3,066)$$

$$1\,080 \geq 1\,077,4$$

La diferencia es de 2,6 horas. Esto significa que el muestreo se ajusta al tiempo planificado. Las 193 muestras pueden tomarse proporcionalmente por toda el área de trabajo (zona de desarrollo de las tobas). Esto sería un muestreo estratificado con fijación óptima (M.E.F.O.). También podría seleccionarse una muestra aleatoria no menor de 30 - 40 muestras de las 193, lo cual sería el M.A.E.F.O.

Todos los cálculos presentados pueden efectuarse mediante el programa «N-FIJOPT» [4].

## 5. ANALOGIA ENTRE FUNCIONES

Para demostrar la efectividad del M.A.E.F.O., se tomaron aleatoriamente 44 datos de cobre del volumen total de las muestras de tobas de la plancheta Santo Domingo, las cuales fueron tomadas de acuerdo con el muestreo proporcional. A dichas muestras se le realizó el mismo proceso de elaboración primaria que se detalló en el punto 3 de este trabajo.

De dicho análisis se determinó:

- No existen valores anormales.
- Los valores de cobre responden a la ley de distribución lognormal.
- Sus características estadísticas son:

Valor de la media geométrica —  $1,83 < Mx < 6,25$

Sumatoria de las x — 142

Sumatoria de las  $x^2$  — 608

Desviación cuadrática media (Sh) — 3,11

Variación (%) — 90,00 %

Población del estrato (Nh) — 44

Rango de valores (R) — 1 a 10

Criterio de Student (t) — 2,00

Dado que en ambos casos —en el muestreo proporcional y en el M.A.E.F.O. de las tobas de la plancheta Santo Domingo— el cobre presenta una distribución lognormal, para verificar la analogía entre ambas funciones se emplearon los criterios de Student (5.1) y de Fisher (5.2). Las funciones se consideran análogas si cumplen con ambos criterios.

(5.1)

$$\frac{|\lg \bar{x} - \lg \bar{y}| + 1,153 (S^2 \lg x - S^2 \lg y)}{\sqrt{\frac{S^2 \lg x}{n_1} + \frac{S^2 \lg y}{n_2} + 2,65 \left[ \left( \frac{S^4 \lg x}{n_1 - 1} \right) + \left( \frac{S^4 \lg y}{n_2 - 1} \right) \right]}}$$

(5.2)  $Fr = S_1^2 / S_2^2$ , para  $S_1^2 \geq S_2^2$ .

Según los valores tabulares de Student y de Fisher (7), la hipótesis sobre la analogía de las funciones se

rechaza de ser  $t_r > 2,01$  o  $Fr > 1,6$ . Sustituyendo valores en (5.1) y (5.2), se obtiene que  $t_r = 1,41$  y  $Fr = 1,52$ .

Esto implica que las funciones son análogas y, por ende, que el M.A.E.F.O., dado que con un número menor de muestras y con una verosimilitud del 95 %, se obtienen resultados análogos que permiten efectuar la caracterización geoquímica de las formaciones.

El efecto económico directo del caso analizado hubiese sido del 66,4 % (i) tanto en tiempo como en dinero.

## CONCLUSIONES

1. Se han señalado las limitaciones del muestreo tradicional (muestreo de Beus) en sus dos variantes.

2. Se explican las ventajas del M.A.E.F.O., tanto desde el punto de vista de reducir la cantidad de muestras, como desde el importante aspecto de ajustarse a un presupuesto o a un cronograma, situación esta que sólo puede ser garantizada mediante un muestreo con fijación óptima.

3. El efecto económico del M.A.E.F.O. es realmente sensible y debe ayudar a mejorar la situación con el atraso de las muestras que se envían a los laboratorios.

4. La información de los trabajos no se afecta a pesar de la reducción del volumen de muestreo. Estadísticamente puede garantizarse que la calidad de los trabajos no se verá afectada nunca por un M.A.E.F.O.

5. Los resultados obtenidos por el M.A.E.F.O. son análogos a los del muestreo proporcional o de Beus y por ende el M.E.F.O. lo es también.

6. Se recomienda emplear el M.A.E.F.O. fundamentalmente para trabajos de especialización geoquímica y para la elaboración estadística primaria de los materiales. Este método es muy útil en etapas de levantamientos geoquímicos regionales.

7. Si se trabaja a base de tiempo, es necesario expresar las normas de los trabajos en horas.

8. Es recomendable el empleo de computadoras para poder efectuar los cálculos para más de un elemento.

## AGRADECIMIENTO

No queremos terminar sin antes agradecerle al colega Orestes Romero Loynaz, geoquímico de la expedición geológica Villa Clara, sus múltiples críticas y sugerencias, las cuales han contribuido a la mejor culminación de este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] "Instruktsiia po geojimicheskim metodam poiskov rudnij mestorozhdenii". M. NEDRA, 1983, 46-47 s. (192 s)



- [2] "Printsipi i metodika geojimicheskij issledovanii pri prognozirovanii i poiskaj rudnij mestorozhdenii". L. NEDRA, 1979, 247 s
- [3] BEUS, A. A. "Geojimia litosfera". M. NEDRA, 1978, 198 s
- [4] VALLS ALVAREZ R. A. "Geoquímica y cibernética. Serie II". Expedición geológica Villa Clara (m.s.)
- [5] Procedimiento para evaluar la anormalidad de los resultados de las observaciones". NC 92-21. DPTO. DE IMPRESIONES DEL C.I.N.A.N., 1980, 14 pág.
- [6] VALLS ALVAREZ R. A. "Geoquímica y cibernética. Serie III" Expedición geológica Villa Clara (m.s.)
- [7] KAZHDAN A. B. I DR. "Matematicheskoe modelirovanie v geologii i razvedkii poleznij iskopaemij". M. NEDRA, 1979, 168 s

CDU 553.492.1:620.187

# Morfología y composición de bauxitas lateríticas cubanas por Microscopia de Barrido y DRX

N. R. Furet\*

G. Rodríguez Fuentes\*

## RESUMEN

Se realizó un estudio por Microscopia Electrónica de Barrido a muestras bauxíticas lateríticas de cuatro yacimientos cubanos, que permitió: corroborar la composición de fases determinada previamente por Difracción de Rayos X (DRX); establecer las variaciones morfológicas de las fases presentes (Diáspora, Gibbsita) de un yacimiento a otro y se determinan los microelementos presentes en las bauxitas.

## INTRODUCCION

El aluminio y sus aleaciones, debido a su ligereza y dureza contra la oxidación, encuentran una gran utilización en la aviación, construcción de maquinarias, utensilios domésticos y en la construcción.

Una de las fuentes de extracción del aluminio, la constituyen las bauxitas. Las bauxitas no sólo se utilizan como fuente de extracción del aluminio; sino también en calidad de fundente en la metalurgia negra, en la obtención de alúmina para el desarrollo de catalizadores y en otros empleos de la Industria Química.

El mineral bauxítico está formado por una mezcla compleja de fases, siendo las más importantes los oxihidróxidos de aluminio: Gibbsita, bohemita y diáspora, y siempre están acompañados de

oxihidróxidos de hierro (hematita, goethita y otros) y minerales arcillosos además de la halloysita y clorita. A veces en las bauxitas se encuentran carbonatos de hierro, calcio, magnesio y aluminio, etcétera, [1, 2].

Los análisis químicos y mineralógicos dan una representación de la composición sustancial y la calidad de las bauxitas; pero estos datos no son suficientes para una completa y verdadera valoración del mineral bauxítico. Es por eso que es necesario el empleo de los métodos físicos en este estudio.

En Cuba es necesario realizar las exploraciones y estudio detallado de los yacimientos de minerales bauxíticos para una valoración tecnológica de los mismos. Con este objetivo se realizó un estudio de cuatro muestras de diferentes yacimientos bauxíticos cubanos por las técnicas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectrometría de Emisión Atómica

(EEA) y Microscopia Electrónica de Barrido (M.E.B.).

## MATERIALES Y METODOS

Las muestras estudiadas fueron suministradas por el Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) y proceden de cuatro yacimientos de bauxitas lateríticas de la zona occidental del país.

La determinación de los microelementos presentes en las muestras fue realizada por Espectrometría de Emisión Atómica en un espectrógrafo PGS2 de la Carl Zeiss. Con una fuente de arco corriente directa de la Milger Watts.

Las mediciones por Difracción de Rayos X permitieron la determinación cualitativa de la composición de fases de cada muestra necesaria para el estudio ulterior por Microscopia Electrónica de Barrido utilizando un Difractómetro HZG-4 provisto de un conta-

\* Centro Nacional de Investigaciones Científicas