

## CONSIDERACIONES SOBRE LA DISTRIBUCION ESPACIAL DE BIOTITA Y HORNBLENDA EN ROCAS IGNEAS

Por Franco Urbani P.

Escuela de Geología y Minas  
Universidad Central de Venezuela  
Apartado 50926, Caracas 105

(Recibido en septiembre 1976, en forma revisada en noviembre 1976)

### RESUMEN

Nueve muestras de rocas ígneas fueron estudiadas en láminas pulidas, midiéndose las coordenadas X e Y de los granos de biotita y hornblenda. Esta información fue analizada estadísticamente para determinar si dichas fases se distribuyen espacialmente en forma aleatoria, uniforme o agrupada. Los resultados sugieren que a pequeña escala, las fases se distribuyen en forma uniforme y a mayor escala en forma aleatoria, este patrón de distribución es el que permite el mejor uso de los componentes químicos disponibles en el magma.

### ABSTRACT

The X and Y coordinates of biotite and hornblende were measured in polished rock slabs of nine samples of igneous rocks. A statistical analysis of this information was carried out to know if the phases are distributed in a random, uniform and clustered form. The results show that in small scale the analyzed phases are uniformly distributed but in a large scale a random distribution pattern was observed. This pattern permits the better use of the chemical components available in the magma.

### INTRODUCCION

KRETZ (1966) y BLACKBURN & DENNEN (1968), entre otros, han llevado a cabo estudios de distribución de minerales metamórficos, especialmente granate, en relación a la nucleación, crecimiento y equilibrio químico, para lo cual han examinado la distribución espacial de dicha fase, investigando si la cristalización tomó lugar en puntos aleatorios o siguiendo cualquier otra distribución.

Recientemente en un estudio del equilibrio de fases y extensión espacial del equilibrio químico en rocas migmatíticas, se estudiaron varias láminas pulidas de rocas ígneas de un 1 cm de espesor y área de tamaño de muestra de mano, analizándose *in situ* la composición química de biotita y hornblenda, utilizando técnicas de microsonda de rayos laser descritos en URBANI (1975).

En dichas muestras se midió la posición de los granos minerales, tomando las coordenadas X, Y de cada uno. Con esta información se procedió a aplicar una metodología estadística para determinar si los minerales siguen una distribución aleatoria, uniforme o agrupada (random, uniform, clustered). La medición de coordenadas se hizo utilizando microscopio estereoscópico de 10 X, existiendo por lo tanto una limitación de tamaño de grano, por debajo del cual los cristales no fueron considerados. Este tamaño límite se escogió de 0,4 mm que a la vez es un tamaño aceptable para análisis con la microsonda de laser.

Puesto que esta limitación se utilizó consistentemente en todas las muestras, los resultados no están afectados por ellos. Si este límite fuera menor, el experimento parecería

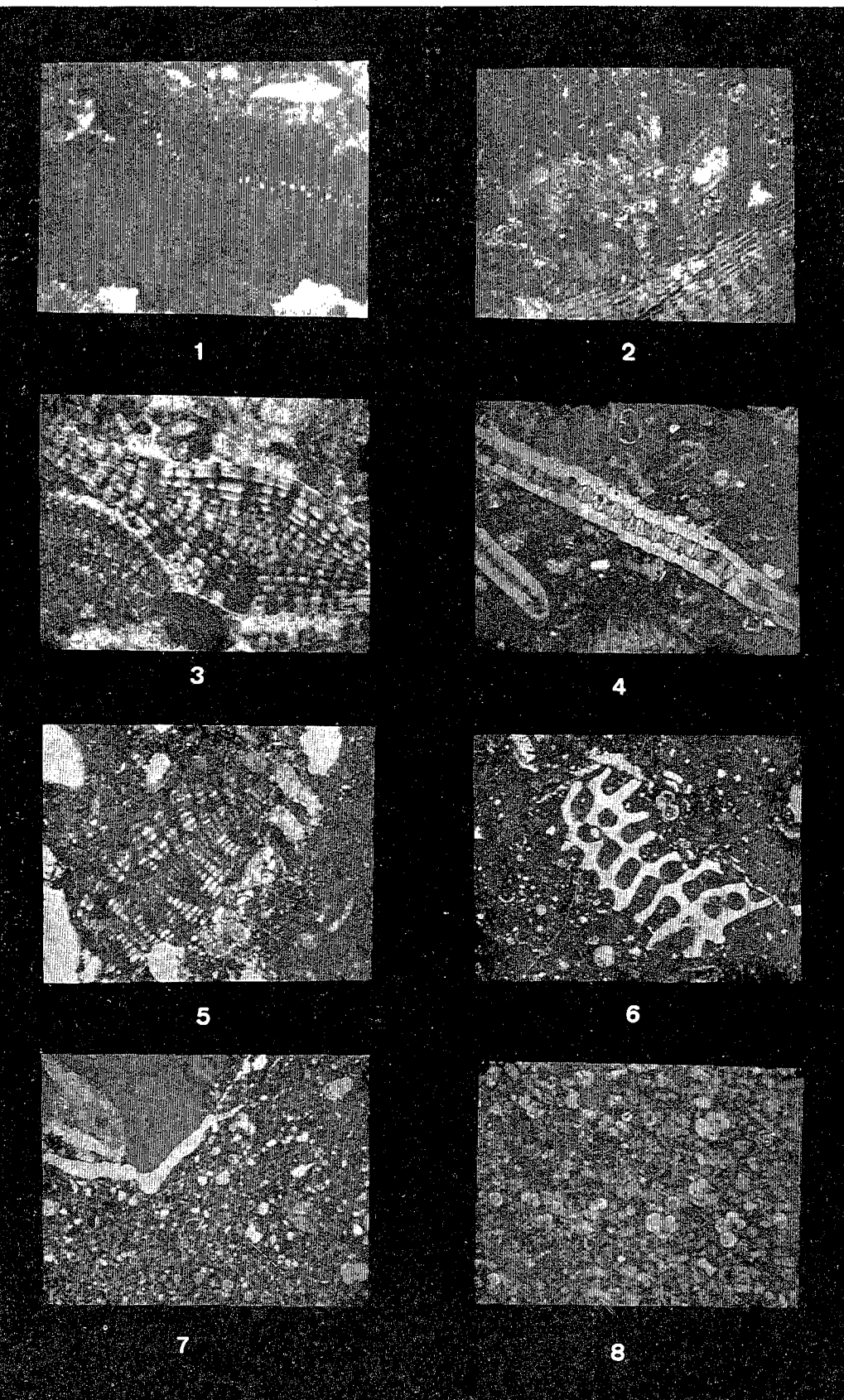
más exacto debido al mayor número de cristales analizados, resultando en distancia intergranulares menores y mayor densidad de puntos por unidad de área.

Es necesario indicar en el presente caso, que el valor límite indicado, el tamaño de granos promedio y las distancias intergranulares medidas son tales, que los cristales pueden considerarse como puntos y el tamaño de los cristales es menor que las distancias intergranulares.

### METODOS ESTADISTICOS

El método más utilizado en la actualidad para probar la naturaleza de una distribución areal fue desarrollada por biólogos en el estudio de distribución de plantas. Este método para rocas, consiste en medir la distancia del centro de todos los cristales de una fase dada a su vecino más cercano, pudiéndose además extender este procedimiento a sus segundos, terceros, etc., vecinos más cercanos.

KRETZ (1966), BLACKBURN & DENNEN (1968) usaron el método de CLARK & EVANS (1954) en donde sólo se emplea la distancia al primer cristal vecino más cercano. Para el presente trabajo se empleó el método de THOMPSON (1956), donde se utiliza la distancia calculada desde el 1er. hasta el 6to. cristal vecino más cercano. Este método tiene la ventaja de incrementar la exactitud de la prueba de la distribución aleatoria y es posible detectar heterogeneidades de escala mayor (MORISITA, 1954; THOMPSON, 1956). Puesto que este método implica mucho cálculo, se utilizó un programa para computadora escrito en FORTRAN IV, llamado TOINTS y publicado en MARBLE (1967: 99-106).



LAMINA 5

Fig. 1. X24. *Archaeolithothamnium* sp. (MLG-177)  
Formación Pedregoso

Fig. 2. X15. *Rupertina* sp., adherida a un fragmento de *Lepidocyclina* (*Eulepidina*) *undosa*. (MLG-008). Formación Pedregoso

Fig. 3. X15. *Spiroclypeus bullbrooki*. (MLG-120).  
Formación Pedregoso

Fig. 4. X15. *Heterostegina antillea*, fragmentos. (MLG-206)  
Formación Pecaya

Fig. 5. X25. *Lepidocyclina* (*Lepidocyclina*) *canellei*. (MLG-177).  
Formación Pedregoso

Fig. 6. X15. Fragmento de coral escleractínido en matriz micrítica, con foraminíferos planctónicos. (MLG-160). Formación Pedregoso

Fig. 7. X15. Fragmento de alga coralina en matriz micrítica, con foraminíferos planctónicos. (MLG-160). Formación Pedregoso

Fig. 8. X15. Fracción pelítica de turbidita calcárea en Formación Pedregoso. (MLG-070)

Dicho programa trabaja en la siguiente forma:

1) El programa calcula las medidas descriptivas para el grupo de puntos, a saber, la distancia de cada uno de los  $n$  puntos de todos los demás, y luego los ordena de más corto a más largo. La  $i$ -ésima distancia más corta se llama  $i$ -avo orden de distancia para el punto específico. Luego se calculan los promedios de esas distancias ( $r_p$ ).

2) Dentro de la misma área el programa genera un grupo de  $n$  puntos aleatorios. Estos puntos se llaman *nodos* y se calcula la distancia desde ellos a todos los  $n$  puntos originales, de esta forma, también se calculan las distancias del 1º al 6º orden y sus respectivos promedios ( $r_n$ ).

Los dos pasos descritos se hacen primero utilizando la escala real de coordenadas, y luego, para propósitos de comparación, las distancias se normalizan haciendo que la densidad de puntos sea constante e igual a la unidad. De esta forma, las distancias corregidas pueden ser comparadas directamente entre sí, independientemente al número de puntos o el tamaño del área en consideración.

En este análisis, también se calcula la distancia media teórica ( $r_e$ ) o primer momento sobre el origen, al  $i$ -avo cristal vecino más cercano. La relación  $r_p/r_e$  se calcula para visualizar en qué grado la distribución analizada se separa de una distribución aleatoria. Las fórmulas para calcular  $r_e$  son las presentadas por THOMPSON (1956: 394):

$$r_{ei} = \frac{1}{\sqrt{d}} \frac{(2^i)!}{(2^i i!)^2} \quad (1)$$

donde  $r_{ei}$  es la distancia media teórica al  $i$ -vo cristal vecino próximo.

Otro parámetro de interés es la desviación típica de las distancias  $i$ , o segundo momento sobre el origen, los valores teóricos para tales desviaciones son dados por:

$$S_{ei} = \frac{i}{\pi d} \quad (2)$$

Para las fórmulas (1) y (2) es necesario calcular  $d$ , que es la densidad de puntos en el área estudiada,  $d = \frac{n}{A}$ , donde  $n$  es número de puntos medidos y  $A$  el área en  $\text{cm}^2$ .

La aplicación de las fórmulas (1) y (2) para  $d = 1$  da los siguientes valores:

$i$	$r_{ei}$	$S_{ei}$
1	0,500	0,318
2	0,750	0,637
3	0,9375	0,955
4	1,0937	1,273
5	1,230	1,592
6	1,353	1,910

Más detalles sobre los principios y uso de este método se dan en MORISITA (1954), THOMPSON (1956), HOLGATE (1965) y DACEY & KRUMBLEIN (1971).

Es necesario indicar, que no hay una sola manera satisfactoria para probar una distribución aleatoria en forma objetiva. Si la población de puntos está distribuida aleatoriamente en el área, la probabilidad de que un número dado de puntos caiga en un área de tamaño unidad se obtiene

por una serie Poisson. Esto se reduce a una distribución cuadrado-chi y si  $n$  es grande, puede usarse una aproximación a una distribución normal (THOMPSON, 1956).

DACEY & KRUMBLEIN (1971: 13) encuentran en sus experimentos, que la relación  $r_p/r_n$  tiene una distribución F con (2 in, 2 in) grados de libertad, donde  $i$  es el orden de distancia y  $n$  el número de puntos. El empleo de los valores de esta distribución F deben hacerse como guías aproximadas del grado en que los atributos de la localización de los puntos conforma un patrón aleatorio de puntos, más que evaluar explícitamente la hipótesis enunciada de distribución aleatoria. Finalmente estos autores (p. 12) señalan: "es difícil justificar el uso de la prueba de significancia, así que nuestro uso de la estadística F sirve para dar una medida aproximada de la aleatoriedad en el patrón de muestras observadas".

Por otra parte, la relación de distancias reales y teóricas ( $r_p/r_e$ ) en una distribución aleatoria es muy cercana a la unidad. Relaciones con valores menores que la unidad muestran tendencia al agrupamiento, mientras que valores mayores, indican una tendencia a una distribución uniforme.

La tabla 1 muestra un ejemplo de los cálculos, en donde  $n$  es el número de puntos (o nodos),  $d$  es la densidad de puntos,  $A$  el área de la región de muestreo.

Para la interpretación de estos resultados, las diferencias mayores de 0,05 muestran una tendencia hacia distribución uniforme y diferencias negativas, menores de 0,05 indican tendencia hacia agrupamiento. Valores en el rango de  $\pm 0,05$  implican distribuciones aleatorias.

### RESULTADOS

El análisis de distancias intergranulares se llevó a cabo para un total de 9 muestras de rocas ígneas de las siguientes características:

Muestra	Fase analizada	Tipo de roca	Estructura
DF 258	Hornblenda	Diorita cuarcífera	Plegada
DF 277	Hornblenda	Diorita cuarcífera	Nebulítica
CO 76	Biotita	Tonalita porfirítica	Agmática
CO 154B	Biotita	Tonalita biotítica	Agmática
CO 190B	Biotita	Tonalita biotítica	Lit-par-lit
CO 198B	Hornblenda	Diorita hornbléndica	Nebulítica
CO 199B	Biotita	Tonalita biotítica	Agmática
CO 255	Biotita	Granodiorita	Nebulítica
CO 255B	Biotita	Granodiorita	Contacto

DF: Distrito Federal, zona de Todasana, Venezuela  
CO: Colorado, área de Almont, U.S.A.

La tabla 1 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos para cada muestra, mientras que las interpretaciones para cada una, en términos del tipo de distribución, aparece en la tabla 2. En esta, se observa un patrón común, donde para los primeros órdenes de distancia, la distribución tiende a ser uniforme, mientras que para órdenes superiores hay tendencia a distribución aleatoria.

A pesar de las limitaciones inherentes al número de muestras estudiadas, el patrón observado tiene sentido petrológico, ya que una distribución uniforme para los prime-

ros órdenes de distancia (distancia a los vecinos más cercanos, 1º, 2º) puede hacer mejor uso de los componentes químicos disponibles en el medio en que los cristales están nucleando y creciendo, ya que éstos ejercen influencia sobre un volumen circunvecino, y cuanto más uniformemente se distribuyan los cristales en relación a sus vecinos más próximos, más fácilmente crecerán sin interferencia con los mismos. La tendencia a una distribución aleatoria a mayor escala (mayor del 3er. orden), nos indica que los componentes químicos formadores de biotita y hornblenda, están distribuidos aleatoriamente en el magma del cual cristalizaron las rocas analizadas.

No se nota un comportamiento significativamente diferente, en las distribuciones de biotita comparado a las hornblendas; esto sugiere que las tendencias observadas no son relativamente independientes de la fase en cristalización, sino más bien estrechamente relacionados a las condiciones generales de la cristalización en el magma.

TABLA 1

### ANÁLISIS DE DISTANCIAS INTERGRANULARES PARA LAS BIOTITAS DE LA MUESTRA CO-190-C

n = 24		d = 2,346		A = 10,23 cm <sup>2</sup>	
I. Análisis con unidades normalizadas					
Orden (i)	$r_p$	$r_n$	$r_p/r_e$	Diferencia	
1	0,597	0,491	1,194	+0,194	
2	0,836	0,775	1,080	+0,115	
3	1,054	0,930	1,124	+0,124	
4	1,189	1,093	1,087	+0,087	
5	1,269	1,255	1,032	+0,032	
6	1,379	1,377	1,019	+0,019	
II. Análisis con unidades reales (centímetros)					
Orden (i)	$r_p$	$r_n$	$r_p/r_n$	Diferencia	
1	0,389	0,321	1,215	+0,194	
2	0,546	0,506	1,080	+0,115	
3	0,689	0,607	1,134	+0,124	
4	0,776	0,714	1,087	+0,087	
5	0,828	0,819	1,010	+0,032	
6	0,900	0,899	1,001	+0,019	

$$\text{Diferencia} = r_p/r_e - 1,0$$

TABLA 2

### ANÁLISIS DE LAS DISTANCIAS INTERGRANULARES: TENDENCIAS APROXIMADAS A DIFERENTES ORDENES

Muestra	Mineral	Ordenes					
		1	2	3	4	5	6
DF 258	h	U	U	U	U	A	A
DF 277	h	U	U	U	U	A	A
DF 76	b	U	U	U	A	A	A
Co 154 B	b	U	A	A	A	A	A
Co 190 C	b	U	U	U	U	A	A
Co 198 B	h	U	U	A	A	A	A
Co 199 B	b	U	U	A	A	A	A
Co 255	b	U	A	A	A	A	A
Co 255 B	b	U	A	A	A	A	A

h = hornblenda    b = biotita  
U = tendencia a distribución uniforme  
A = tendencia a distribución aleatoria

### AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a los doctores W.H. Blackburn y W.H. Dennen por su ayuda en las técnicas de espectrografía de rayos laser, y al doctor Wolfgang Scherer por haber facilitado al autor el programa para computadora TOINTS y haber leído críticamente el manuscrito.

### BIBLIOGRAFIA

- BLACKBURN, W.H. & W.H. DENNEN (1968) "Flattened garnets in strongly foliated gneisses from the Grenville series of the Gananoque, Ontario". *Am. Min.*, 53:1.386-1.393.
- CLARK, P. J. & F. C. EVANS (1954) "Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations". *Ecology*, 35:445-453.
- DACEY, M. F. & W. C. KRUMBLEIN (1971) "Comments on spatial randomness in dendritic stream channel networks". *Office Naval Research, Geography Branch, Technical Report N° 17: 1-31.*
- HOLGATE, P (1965) "Test of randomness based on distance methods". *Biometrika*, 53(304):345-353
- KRETZ, R. (1966) "Grain-size distribution for certain metamorphic minerals in relation to nucleation and growth". *Jour. Geol.*, 74(2):147-173.
- MARBLE, D. F (Ed.) (1967) "Some computer programs for geographic research". *Northwestern Univ., Dept. Geology*, mimeograph publication, p. 99-106.
- MORISITA, M. (1954) "Estimation of population density by spacing method". *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Series E*, 1:187-197.
- THOMPSON, H. R. (1956) "Distribution of distance to  $N$ th neighbor in a population of randomly distributed individuals". *Ecology*, 37(2):391-394
- URBANI P., F. (1975) "Determinación de Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Cu en biotita y hornblenda utilizando la microsonda de laser". *Escuela de Geología, UCV, Informe 75-4, Métodos de Laboratorio, Parte 4: 70-131.*