

Caracterización de las pegmatitas de Loma Venturilla mediante el uso de técnicas nucleares

Boris Peña Fortes, Gil Capote Rodríguez,
Regla Toujague la Rosa¹, Kustrini Sukar Sastraputra²

El Análisis por Activación Neutrónica (AAN) y el Análisis Gamma Espectrométrico (AGE) fueron utilizados en la determinación de 21 elementos en muestras de pegmatitas y rocas afines, que afloran en el área de Loma Venturilla (Cuba Central).

El procedimiento aplicado permitió la determinación de K, Co, Cr, Sc, Rb, Cs, Ba, Ta, Hf, Th y U y de 10 Elementos de las Tierras Raras (ETR): La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Ho, Tm, Yb y Lu. En general, los resultados fueron obtenidos con precisión y confiabilidad.

El conocimiento de tales concentraciones es de gran interés en el campo de las geociencias. Los valores de concentración obtenidos, pueden ser usados en estudios petrogenéticos, destinados a evaluar los principales procesos relacionados con la generación y diferenciación de los fundidos, a partir de los cuales, se derivaron las pegmatitas.

Characterization of Loma Venturilla pegmatites using nuclear techniques

Neutron Activation Analysis (NAA) and Gamma Spectrometric Analysis (GEA)

were used for the determination of 21 trace elements in geological samples of pegmatites of Loma Venturilla area (Central Cuba).

The procedure applied permitted, in general, the determination of K, Co, Cr, Sc, Rb, Cs, Ba, Ta, Hf, Th and U and 10 Rare Earth Elements (REE) : La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Ho, Tm, Yb and Lu. The results were obtained with good precision and accuracy.

The knowledge of such concentrations is of great interest in the geosciences. The values of the concentrations obtained can be extensively used in petrogenetic studies of those rocks, since they facilitate the evaluation and estimation of the extent of the main process involved in the generation and differentiation of the melts from which the pegmatites were derived.

Introducción

Las pegmatitas de Loma Venturilla, constituyen un conjunto de vetas de gran potencia (20-30 m) y variada composición dentro de los cuerpos de anfibolitas masivas, gabro anfibolitas y ultramafitas metamorizadas del Complejo Mabujina, desarrolladas en la cercanías del poblado de Loma Venturilla, al Sureste de la Ciudad de Manicaragua.

¹ Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN).

² Instituto de Geología y Paleontología (IGP).

Dichas vetas según los datos de M. Dovolil (1979-1981) se diferencian tanto por su composición, como por su estructura interna.

En la estructura geológica del área participan, en forma de afloramientos, los granitoides del Complejo Manicaragua, representados por las formaciones Gabro-plagiogranítica (edad Cretácico inferior) y Granodiorito-granítica (edad Cretácico superior), las cuales corresponden a los diferentes estadios de desarrollo del arco volcánico en Cuba central.

La Formación Gabro-plagiogranítica representa a la generación más temprana del arco volcánico y está integrada por granitoides calcoalcalinos de muy bajo contenido de potasio o toleíticos.

La formación Granodiorito-granítica corresponde a los granitoides calcoalcalinos del estadio tardío del arco. Una de las fases tardías de estos granitoides está representada por vetas de granitos leucocráticos, aplitas y pegmatitas, que cortan a todas las fases más antiguas de granitoides de las formaciones anteriormente señaladas (dioritas, dioritas cuarcíferas, granodioritas, etc) y a cuerpos de anfibolitas masivas [1].

Las pegmatitas son subgráficas oligoclásicas-microclínicas, de grano grueso, con inclusiones de agregados de escamas de mica moscovita en forma de roseta. Mineralógicamente están formadas por oligoclasa, microclina, moscovita y biotita sericitizada y como minerales accesorios magnetita, granate, zircón, apatito, piritita y monacita. Las rocas se presentan sobresaturadas en aluminio [2].

El objetivo del presente trabajo es, por una parte, demostrar el uso eficaz del Análisis Gamma Espectrométrico (AGE) y el Análisis por Activación Neutrónica (AAN) en las investigaciones petrológicas, y por otra, brindar nuevos datos al estudio de las citadas rocas.

Los resultados obtenidos permiten, en primer lugar, su comparación con los contenidos medios calculados para los tipos de roca citados, contribuyéndose a la caracterización de las pegmatitas, y en segundo lugar, arribar a conclusiones sobre su geoquímica.

Materiales y métodos

Para el presente estudio fueron tomadas 6 muestras de la mencionada área, las cuales se seleccionaron teniendo en cuenta los valores radiactivos reportados por las mismas, según carotage gamma pedestre, los cuales variaron en el rango 15-18 cps (21-25 μ r/h).

Al análisis se adicionó la muestra VP-6A correspondiente a una granodiorita, representante de estadios magmáticos anteriores dentro del desarrollo del C. Intrusivo Manicaragua (Pérez M. 1981), la cual independientemente de constituir una muestra puntual, sirvió para establecer criterios de comparación válidos para los estudios realizados.

Las muestras fueron trituradas hasta 1 mm, con posterior homogenización y cuarteo para extraer una alícuota de 5 g, la cual fue reducida a 0,074 mm. Una parte de las muestras (diámetro=1 mm) fue sometida a AGE, mientras que la otra parte (diámetro=0,074 mm) se destinó al AAN.

En el AGE se utilizó un espectrómetro conformado por un detector de NaI(Tl) de 63 X 63 mm, con una resolución energética de 8 % para la línea de 662 KeV (137 Cs) con su cadena espectrométrica y un analizador multicanal de 1024 canales. En la determinación de uranio por este método se aplicó la corrección descrita en [3], la cual permite eliminar los posibles errores entre las diferentes matrices de las muestras analizadas y las muestras de referencia certificadas que se emplean en las determinaciones.

La irradiación de las muestras, analizadas mediante el AAN, se realizó en el reactor de investigación del Centro Atómico Bariloche (CAB), Argentina; de 0.5 MW de potencia y un flujo de neutrones térmicos de $6 \times 10^{12} \text{ n.s}^{-1}.\text{cm}^{-2}$. Los espectros gamma fueron registrados con un sistema espectrométrico que incluye un detector HPGe, con una resolución energética de 1,8 KeV para el fotopico de 1332,5 KeV del ^{60}Co , conectado a un analizador multicanal de 4096 canales y a una PC.

Las reacciones y fotopicos utilizados para la determinación de cada elemento son similares a los reportados en [4]. Los resultados fueron procesados con el programa ACTAN [5] en el CEADEN.

En general se determinó un total de 21 elementos, de ellos U, Th y K por AGE y Sc, Cr, Co, Rb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Ho, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Th y U por AAN. Con dichos análisis se pretendía conocer la naturaleza de la radiactividad de las rocas y sus contenidos en elementos traza (ET) y elementos de las tierras raras (ETR).

Los valores estándar usados para las comparaciones fueron tomados de [6-9].

Como parte de las investigaciones realizadas se confeccionaron diagramas petroquímicos, con el objetivo de arribar a conclusiones sobre la petrogénesis de las rocas, todo ello como muestra de la aplicabilidad de los métodos de estudio.

Para esta última parte fue usado el programa de computación NEWPET [10].

Análisis y discusión de los resultados obtenidos

Los Cuadros 1 y 2 muestran los resultados de los AGE y AAN, respectivamente. Los errores obtenidos en la exactitud y reproducibilidad de las determinaciones por ambos métodos nunca fueron superiores al 20 %. De las tablas se

observa que la concordancia es satisfactoria entre los valores obtenidos por AGE y AAN para el Th y el U.

Los contenidos de U, medidos en las rocas, se corresponden con los del clarke para esos tipos rocosos [6-9], en algunos casos dichos contenidos son superiores hasta 4 veces al contenido medio. Para el Th, se presentan valores cercanos a su contenido medio y por otra parte existen muestras en que estos contenidos son muy bajos. La relación Th/U, nos indica que en dichas rocas han ocurrido procesos de lavado del U, ya que al considerarse al Th como un elemento prácticamente inmóvil, los valores supraunitarios que se obtienen para algunas muestras reafirman esta suposición; en los demás casos es posible hablar del enriquecimiento en uranio sufrido por las rocas durante los estadios finales del proceso de diferenciación magmática que las originó (Pérez M., 1985). Solo en un caso existe equilibrio entre el U y el Th.

En general los contenidos de U y Th pueden estar vinculados con la presencia en las rocas de fases del tipo apatito, zircón y monacita, las cuales pueden contener en mayor o menor medida a dichos elementos mediante procesos de sustitución isomórfica, provocando su enriquecimiento hacia las facies finales dentro del proceso de diferenciación magmática. Los contenidos de K, los cuales son cercanos al valor medio, están justificados por la presencia de feldespatos y de mica biotita.

En el caso específico de la muestra de granodiorita (VP-6A) los contenidos reportados indican un contenido de U cercano al valor medio [6-9], el Th y el K presentan valores muy bajos con respecto al clarke [6-9]; en el caso del K esto constituye una evidencia directa de la ocurrencia de procesos de lixiviación producto de la destrucción de los feldespatos primarios.

En general se observa un aumento de los contenidos de U y Th de la muestra de

granodiorita a las pegmatitas, lo cual reafirma el criterio dado por [2] sobre el carácter tardío de las intrusiones de pegmatitas dentro del magmatismo del Intrusivo Manicaragua.

Del análisis de los contenidos de ET y ETR se puede plantear que se observan valores significativos, por encontrarse por encima del clarke en estos tipos rocosos [6-9], solamente en el caso del Cr y en algunos valores de U y Th. Por su parte los elementos de Co, Sc, Rb, Cs, Ba, Tb, Tm, Yb y Lu se encuentran en concentraciones válidas para este tipo de rocas (pegmatitas) [3]. Los elementos Ta, Hf, La, Ce, Sm y Eu se encuentran en concentraciones inferiores a los contenidos medios establecidos [6-9].

En la muestra representante de las granodioritas se observan contenidos significativos, solo, en el caso del Cr. El Sc, Ba, Ta, Hf, Tm, Tb, Yb, Lu y el U se encuentran, con valores cercanos a su contenido medio; mientras que Co, Cs, Th, Rb, La, Ce, Sm y Eu se encuentran en contenidos muy bajos.

Ha sido planteado [11], que durante los procesos de cristalización de la biotita, a partir de los fluidos silicatados, importantes

cantidades de Cr pueden ser acarreadas desde el fluido al mineral, justificándose de esta forma la presencia anómala de dicho elemento en las rocas.

Con los resultados obtenidos fue calculado el valor de la relación La/Yb, el cual constituye un índice directo del grado de fraccionamiento sufrido por las rocas, observándose valores supraunitarios, lo cual constituye una medida de su diferenciación. En general los valores son marcadamente más altos en el caso de las pegmatitas.

Además fueron confeccionados diagramas de distribución de ETR normalizados según las concentraciones de los condritos. El patrón de TR de las rocas analizadas muestra un contenido relativamente alto de dichos elementos, los cuales se encuentran uniformemente distribuidos entre 30 y 100 veces el valor del contenido de los condritos, observándose un pequeño enriquecimiento de los elementos ligeros (LETR) en comparación con los elementos pesados (PETR). Se destaca además la presencia de la anomalía negativa del Eu, lo cual es un índice del fraccionamiento sufrido por las plagioclasas; esto último se observa en

Cuadro 1. Resultados de los AGE.

Muestra	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Th/U
VP-1	< 5	13	2,1	5,2
VP-2	18	12	3,7	0,7
VP-3	7	7	2,1	1
VP-4	10	40	2,1	4
VP-5	< 5	28	4,5	11,2
VP-6	6	16	2,6	2,7
VP-6A	6	< 3	1,0	0,2

Cuadro 2. Resultados analíticos según AAN (valores en ppm).

Elemento	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4	VP-5	VP-6	VP-6A
Sc	1,0	1,1	1,5	0,33	0,6	0,7	9,8
Cr	66	116	80	35	66	57	67
Co	1,4	1,5	5,4	0,5	0,9	1,9	12,0
Rb	185	119	171	122	171	147	53
Cs	2,4	0,8	1,6	0,6	1,3	0,4	< 0,3
Ba	373	444	927	167	306	332	712
La	13,3	14,4	11,3	26,0	18,8	29,0	13,9
Ce	23	24	27	33	29	40	28
Nd	2,5	1,5	6,0	2,0	2,4	17	15
Sm	0,7	0,8	0,56	0,55	0,64	1,2	3,0
Eu	0,13	0,05	0,19	0,06	0,21	0,11	0,93
Tb	0,5	0,35	0,4	0,2	0,3	0,25	0,5
Ho	1,0	0,6	0,9	1,0	0,6	1,4	1,2
Tm	0,11	0,10	0,18	0,08	0,28	0,06	0,28
Yb	0,6	0,8	1,1	1,2	1,7	0,7	1,7
Lu	0,10	0,16	0,17	0,29	0,25	0,10	0,25
Hf	2,0	2,4	2,3	6,1	2,9	2,0	3,1
Ta	0,30	0,11	0,13	0,02	0,06	0,03	0,80
Th	11,5	15,0	8,6	45,0	26,0	21,0	2,7
U	3,1	10,0	7,1	7,7	5,1	7,3	1,9

forma clara si se comparan las curvas obtenidas para las pegmatitas con la obtenida para la muestra de granodiorita. Lo planteado, en general, coincide con los datos existentes para las magmatitas calcoalcalinas de la generación más tardía del arco de isla [K. Sukar, comunicación personal].

Conclusiones

1. Los resultados permiten establecer criterios comparativos con los valores de los contenidos medios, calculados

para las diferentes rocas en estudio, pudiéndose realizar una caracterización petroquímica de las mismas.

2. Al nivel de estudio alcanzado es aceptable suponer la existencia de procesos marcados de diferenciación, para la formación de los cuerpos de pegmatitas de Loma Venturilla.
3. Las muestras analizadas tienen un comportamiento semejante al observado en las magmatitas calcoalcalinas, de la generación más tardía del arco de isla.

Bibliografía

- [1] Somin M. L. y Milán G. "Geología de los complejos metamórficos de Cuba" (en ruso). Editorial Nauka. Moscú (1981), 219 pp.
- [2] Sukar K. "Hallazgo de pegmatita monacítica en la región de Manicaragua, Cuba". *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*. No 8. La Habana (1984), p. 123-125.
- [3] Padilla R., Capote G. "Estudio del efecto matriz para determinar uranio en muestras minerales por el método gamma espectrométrico". *Nucleus* 19. La Habana (1995), p. 10-12.
- [4] Capote G., Peña B. y otros. "Análisis por activación neutrónica de muestras geológicas". *Revista Minería y Geología*. Vol. 11, No. 2. Moa, Cuba (1994), p. 23-27.
- [5] Pérez R. y otros. "Research and Development of Software for Neutron Activation Analysis". *Final Report of IAEA Research Contract 5014*. La Habana (1993).
- [6] Middlemost E. A. K. "Magmas and magmatic rocks (An introduction to igneous petrology)". Logman Scientific & Technical. England (1985), 266 pp.
- [7] Vasconcelos M. B. A. et al. "Use of Neutron Activation Analysis in the study of the composition of Brazilian geological samples". *IAEA-SM-308/92*. Vienna (1992).
- [8] Marques L. S. et al. "Geoquímica analítica dos elementos terras raras. Aplicação da técnica de análise por ativação neutrónica". Instituto Astronómico e Geofísico da USP, São Paulo (1990).
- [9] Vasconcelos M. B. A. et al. "Neutron Activation Analysis applied to the study of composition of Brazilian geological samples". *Geochim. Brasil*, 4 (2) (1990), p 125-137.
- [10] Clarke D. "Newpet". Memorial University of Newfoundland. Department of Earth Sciences. Center for Earth Resources Research. (1987-1992).
- [11] López Ruiz J. y Cebriá Gómez J. Ma. "Geoquímica de los procesos magmáticos". Editorial Rueda. Madrid (1990), 164 pp.