

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA, GEOQUÍMICA Y EDAD DE LA SIENITA NEFELÍNICA DE SAN JOSÉ DEL GUAVIARE

María Isabel Arango Mejía¹; Gilberto Zapata García¹; Uwe Martens²

RESUMEN

Las rocas de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare se presentan como dos cuerpos a unos 20 km al SW del municipio San José del Guaviare. Vesga y Castillo (1972) reportan el primero de ellos en la vereda La Pizarra, otro cuerpo del cual no se tenían referencias bibliográficas aparece en la vereda Las Delicias.

Petrográficamente las rocas son sienitas nefelínicas, monzosienitas nefelínicas y granofels de feldespato y nefelina constituidas por microclina, nefelina, plagioclasa ± biotita ± arfvedsonita como minerales principales y como minerales accesorios fluorita, esfena, apatito, granate, circón, epidota y calcita. Las rocas presentan un carácter mixto de texturas y estructuras ígneas en el cuerpo La Pizarra y metamórficas heredadas (restitas) que predominan en el cuerpo Las Delicias, permitiendo sugerir un ambiente de formación a partir de procesos de anatexia. Las rocas geoquímicamente muestran una naturaleza alcalina, localizándose dentro del campo de rocas formadas en ambiente de intraplaca.

Se determinó por los métodos U/Pb en circón y ⁴⁰Ar/³⁹Ar (HS) en biotita una edad de 577.8 ± 6.3 - 9 Ma (Ediacaran) de cristalización y 494±5 Ma (Furoginiano) de enfriamiento.

Palabras clave: Sienita nefelínica, San José del Guaviare, Anatexia, Alcalino.

PETROGRAPHIC CHARACTERIZATION, GEOCHEMISTRY AND AGE OF THE SAN JOSÉ DEL GUAVIARE NEPHELINE SYENITE.

ABSTRACT

The San José del Guaviare Nepheline Syenite includes two rock bodies that crop out 20 km SW of the town with the same name. The first of these bodies, which had already been reported by Vesga and Castillo (1972), is exposed in the La Pizarra area. The second body, which had not been previously reported, occurs in the Las Delicias area.

Petrographic characterization shows that rocks correspond to nepheline syenite, nepheline monzosyenite, and feldspar + nepheline granofels. The main minerals in the rocks are microcline + nepheline + plagioclase ± biotite ± arfvedsonite, and accessory phases include fluorite, sphene, apatite, garnet, zircon, epidote and calcite. Structures and textures are chiefly igneous in the la Pizarra body and mainly metamorphic (restitic) in the Las Delicias body. The geochemical character of the rocks is alkaline, and they correspond to within- the field of rocks formed in intraplate environment. The above features suggest that the San José del Guaviare syenite was formed by anatexis in a continental environment.

U/Pb dating of zircon and ⁴⁰Ar/³⁹Ar (HS) dating of biotite indicates age 577.8 ± 6.3 - 9 Ma (Ediacaran) crystallization and 494±5 Ma (late Cambrian) cooling.

Keywords: Nepheline syenite, San José del Guaviare, Anatexis, Alkaline magmas.

¹ Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS) - GTRM, Calle 75 N° 79ª-51, Medellín, teléfono 2644949 ext 8124-8119, e-mail: marango@ingecominas.gov.co, gzapata@ingecominas.gov.co

² Tectonic Analysis Ltd., Tectonic Analysis Ltd 1315 Alma Ave, Ste 134 Walnut Creek CA 94596 USA, Ph: (1) 650 804 4061, e-mail: umartens@zoho.com

INTRODUCCIÓN

La Sienita Nefelínica de San José del Guaviare es una unidad que hace parte del basamento cristalino del escudo de Guyana, su estudio aporta nuevos elementos al conocimiento sobre esta unidad, por tal razón en el presente artículo se muestran los resultados petrográficos y geoquímicos obtenidos del proyecto GEO 09-04 Cartografía y Geoquímica de la Plancha 350 San José del Guaviare, ejecutado por INGEOMINAS Medellín en el año 2010.

Las referencias bibliográficas en el área de estudio se limitan a información de carácter general presentada por Trumpy (1943), Gansser (1954) y Galvis *et al.* (1979); quienes refieren afloramientos del basamento de composición sienítica cerca del municipio de San José del Guaviare. Vesga y Castillo (1972) presentan un estudio más detallado con descripciones petrográficas. Pinson *et al.* (1962) realizaron dataciones isotópicas de la sienita en biotitas por el método K-Ar arrojando edades de 445 – 495 Ma para una muestra de San José del Guaviare.

El objetivo de este artículo es dar a conocer la caracterización petrográfica y geoquímica de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare, presentar dos dataciones realizadas por los métodos U/Pb en circón y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (HS) en biotita, con el fin de contribuir al conocimiento sobre el ambiente de formación.

MARCO GEOLÓGICO

El basamento en la parte sur oriental de Colombia está conformado principalmente por rocas metamórficas y granitoides que se han agrupado bajo el nombre de

Complejo Migmatítico de Mitú (Galvis *et al.*, 1979) ó Complejo Mitú (Celada *et al.*, 2006). Galvis *et al.* (1979) mencionan dos cuerpos de sienitas: el primero de ellos cerca del municipio de San José del Guaviare y otro en el cerro Cumare entre los ríos Caguán y Yari, atribuyen su origen a un evento magmático tectónico que representa la última actividad ígnea que se produce en la parte occidental del cratón Amazónico. Toussaint (1993), anota que el carácter puntual y débil de este evento magmático sugiere una disminución progresiva de la fusión parcial de la base de la corteza.

La Sienita Nefelínica de San José del Guaviare se encuentra suprayacida y en contacto discordante con la sucesión sedimentaria Formación San José en la serranía La Lindosa, denominada por Trumpy (1945), en cercanías del Municipio de San José del Guaviare, e indica una posible edad cretácica; según Galvis *et al.*, (1979), es correlacionable con la franja de mesetas occidentales de la Formación Araracuara; también es suprayacida de manera inconforme por las arcillolitas neógenas de la Formación Caja.

GEOLOGÍA

La Sienita Nefelínica de San José del Guaviare está conformada por dos cuerpos localizados hacia el suroccidente del municipio de San José del Guaviare (FIGURA 1). El cuerpo principal reportado por Vesga y Castillo (1972) se encuentra a 20 km del municipio en la vereda La Pizarra, se extiende en un área aproximada de 10 km² con dirección norte-sur, el otro cuerpo que se reporta en este trabajo aflora en la vereda Las Delicias en un área de aproximadamente dos km².

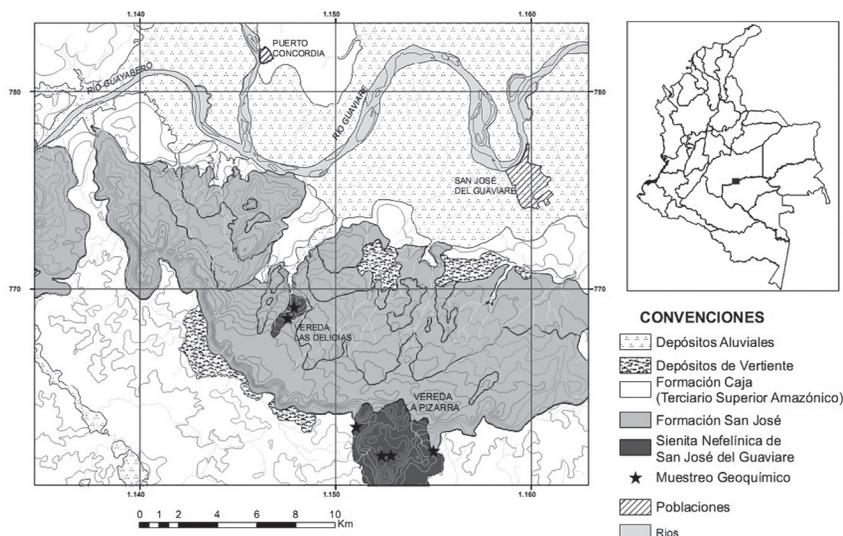


FIGURA 1. Localización de la Sienita Nefelínica dentro de la plancha 350 San José del Guaviare.

Se trata de una roca holocristalina fanerítica, predominantemente inequigranular con tamaños de grano que varían de fino a grueso hasta pegmatítico; leucocrática con un índice de color entre 30 y 35% con colores blanco, gris y rosado, constituida por feldespatos alcalinos, nefelina, biotita, y anfíbol tipo arfvedsonita en proporciones variables. A nivel macroscópico los dos cuerpos difieren en su patrón textural, el cuerpo de La Pizarra tiene una textura hipidiomórfica granular con zonas locales orientadas, mientras que en el cuerpo de Las Delicias presenta textura granofélsica con orientación de minerales máficos esencialmente anfíboles.

Petrografía

Se realizó análisis petrográfico a 18 secciones delgadas distribuidas en 6 muestras del cuerpo Las Delicias y 12 muestras del cuerpo La Pizarra, incluyendo 3 secciones que fueron analizadas por Vesga y Castillo (1972) y retomadas en este estudio. La TABLA 1 y la FIGURA 2 muestran la clasificación y composición mineralógica, correspondiendo a sienitas nefelínicas y monzosienitas nefelínicas. Microscópicamente las diferencias texturales no son evidentes como en los afloramientos; en las rocas de Las Delicias se observó un bandeamiento incipiente y se clasificaron como granofels (FIGURA 3).

TABLA 1. Composición modal de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare.

IGM	Pl	Kfs	Ne	Ccn	Arf	Hbl	Bt	Ms	Op	Ap	Zrn	Ep	Ttn	Cal	Grt	Ser	Fl	CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA
35467	12,1	49,2	34,2	3,5			0,2		0,7				0,1					Monzosienita nefelínica
35468	13,6	53,2	23,6	7			0,8		1,8									Monzosienita nefelínica
35472	8,8	61,2	23,2	5			0,2		0,4				0,4	0,8				Monzosienita nefelínica
5000405	0,6	56	15,6	3,2			12,6		0,6		0,3	0,3		1				Sienita nefelínica
5000408	10,9	65,2	17,4	4,8	TR		1,80		1,5									Monzosienita nefelínica
5000409	7	42	22			TR	18				TR		5	6				Monzosienita nefelínica
5000410	6	51,5	21,5	8	TR		10		1,5							1,5	TR	Sienita nefelínica
5000411	11	42,5	34,5				TR						1				TR	Granofels de feldespatos y nefelina
5000412	6	52	19	3			7		6		5			1			1	Sienita nefelínica
5000413	4,1	40,4	20,4				14,7	TR	6,9	TR			TR	9,1				Granofels de feldespatos y nefelina
5000420	14	41	15	3	10	8,5			0,5			TR	6	2			TR	Monzosienita nefelínica
5000421	15	53	9	1			10		2				1	5			TR	Monzosienita nefelínica
5000423	12	43,5	34,2			9	TR						0,8		TR		TR	Monzosienita nefelínica
5000424	11	50,1	23,4	1									1,5				TR	Monzosienita nefelínica
5000425	16	43,5	27,5	3,5			8		1,5								TR	Granofels de feldespatos y nefelina
5000426	11	43	33	2	7								2		0,5	TR	1,5	Granofels de feldespatos y nefelina
5000427	9	46	31	1	8,5		TR						3		TR	TR	1	Granofels de feldespatos y nefelina
5001716	7	55,5	17,5				6	TR	1,5			3			TR	10		Sienita nefelínica

TR: Traza, Las abreviaturas son tomadas de IUGS Subcommission (Siivola and Schmid, 2007).

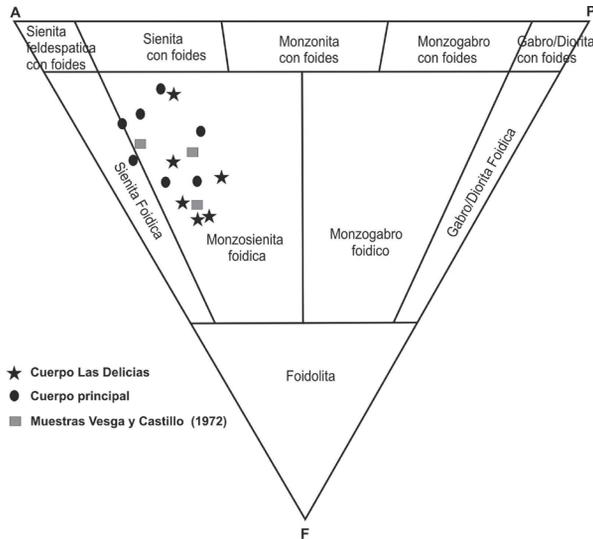


FIGURA 2. Clasificación modal de las rocas de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare (Streckeisen, 1976).

Sienita nefelínica y monzosienita nefelínica

Son rocas con estructura masiva, de tamaño de grano medio a grueso, con textura general hipidiomórfica inequigranular y texturas particulares de exsolución (micropertitas) y poiquilítica dada en cristales de feldespato. La mineralogía es microclina, nefelina,

plagioclasa, biotita y arfvedsonita, siendo la biotita el mineral máfico de mayor predominio. Como minerales accesorios presenta fluorita, esfena, granate tipo melanita, circón y epidota (FIGURA 4). Los minerales de alteración son cancrinita y minerales arcillosos (sericita y caolín) producto de la meteorización de nefelina y feldespatos.

El feldespato alcalino (microclina) se encuentra en un rango de 35% a 62%, en cristales prismáticos subidiomórficos con tamaños entre 0,1 mm y 1 mm. Presenta pertitas producto de una mezcla de feldespato potásico y plagioclasa e inclusiones de cristales de nefelina, arfvedsonita y esfena. La nefelina varía entre el 6% y 34%, en cristales incoloros de aspecto sucio, subidiomórficos a xenomórficos, inequigranulares con tamaños entre 0,2 mm y 1 mm y presenta microfracturas rellenas por sericita. Se encuentra asociada a cancrinita como un intercrecimiento gráfico, también con microinclusiones de plagioclasa, cancrinita y arfvedsonita. La plagioclasa es de tipo albita hasta oligoclasa (An_{20}) varía del 5% al 36%, son cristales de tamaños entre 0,2 mm y 0,8 mm, presenta maclas tipo albita y periclina y texturas de desmezclas con feldespato. La biotita se presenta en una proporción del 2% al 18%, en cristales de color pardo, fuertemente pleocroicos con tamaños de 0,2 mm a 0,8 mm y no presenta inclusiones.

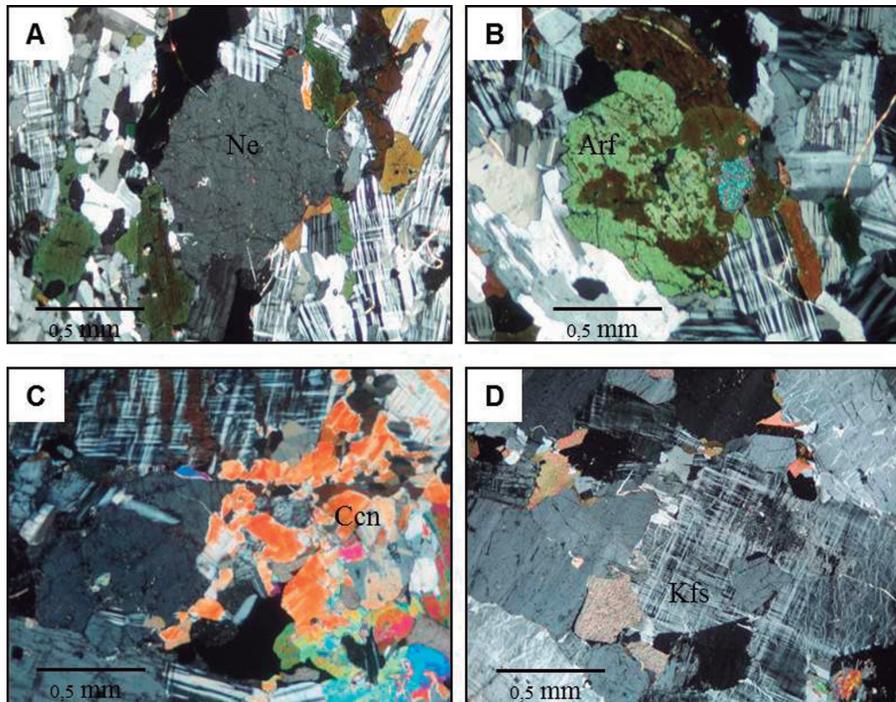


FIGURA 3. Texturas principales de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare. A y B, cuerpo de Las Delicias, muestran orientación de cristales de feldespato y arfvedsonita. C y D, presentan una textura hipidiomórfica inequigranular típica del cuerpo principal (Ne: nefelina, Arf: arfvedsonita, Ccn: cancrinita, Kfs: feldespato potásico).

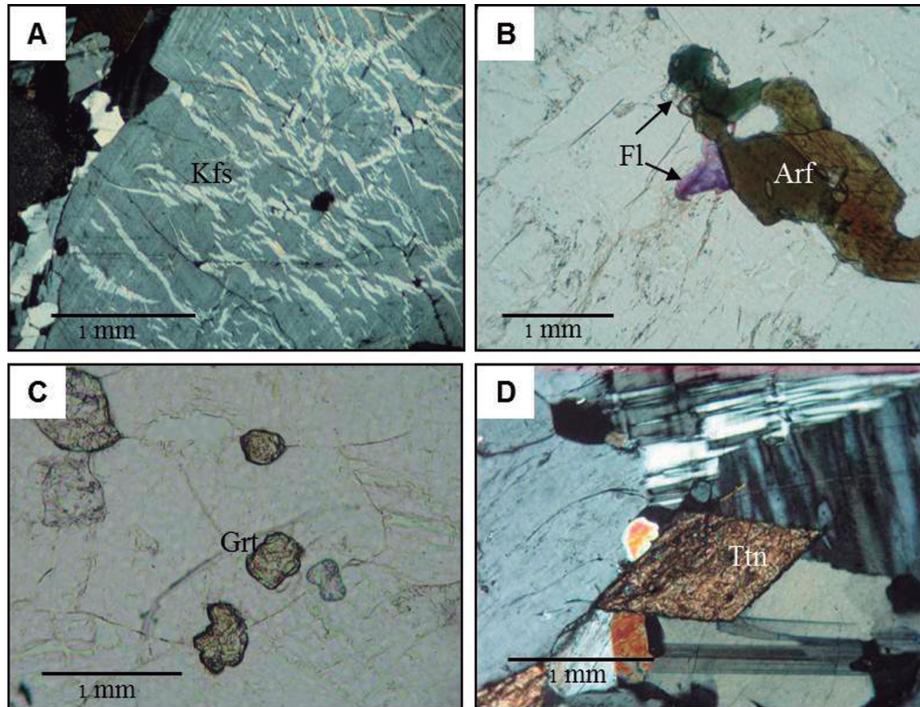


FIGURA 4. Características microscópicas de las rocas de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare. **A y B,** muestran desmezclas de plagioclasa en cristales de feldespato y cristales de fluorita asociada con arfvedsonita. **C,** muestra pequeños cristales de granate tipo melanita. **D,** cristal idiomórfico de esfena. (Kfs: feldespato potásico, Fl: fluorita, Grt: granate, Ttn: titanita)

El anfíbol es de tipo arfvedsonita, se encuentra en cantidades del 7% al 10%, en cristales tabulares a hexagonales, subidiomórficos de color verde azulado a pardo, fuertemente pleocroicos; con colores de interferencia verde, café oscuro a casi isotrópico, con tamaños de grano entre 0,2 mm y 0,6 mm. Algunos cristales exhiben maclas dobles y polisintéticas, presentan inclusiones de agregados de esfena y de cristales finos de plagioclasa. Se observa como microinclusiones poiquilíticas en feldespato, plagioclasa y nefelina. La cancrinita se presenta en proporciones menores al 8%, bordeando los cristales de nefelina como intercrecimientos gráficos vermiculares, también asociada con feldespato y plagioclasa. Son cristales incoloros a amarillo pálido con birrefringencia azul y rojo de segundo orden, xenomórficos, con tamaño de grano entre 0,2 mm y 0,8 mm. La calcita se presenta en cantidad de 0,8% y 9%, como cristales xenomórficos en los intersticios entre cristales de feldespato, plagioclasa y anfíboles.

El porcentaje de minerales accesorios varía desde 0,1% hasta 5%, representados por cristales subidiomórficos a idiomórficos de esfena asociada con biotita y arfvedsonita; minerales opacos asociados con biotita, algunos con coronas de esfena. La fluorita se encuentra en un 1%, en cristales incoloros a púrpura, isotrópicos,

el tamaño de los granos varía desde 0,05 mm hasta 0,2 mm, asociada con feldespato, arfvedsonita y nefelina. El circón se encuentra como inclusión en feldespato, junto a biotita y esfena. Cristales de epidota se encuentran asociados a arfvedsonita.

Granofels de feldespato y nefelina

Estas rocas predominan en el cuerpo de Las Delicias; presentan una estructura bandeada, de tamaño de grano grueso con textura granoblástica poligonal, granonematoblástica, poiquiloblástica y de exsolución dada por desmezclas de lamelas de plagioclasa en microclina.

La proporción de biotita es menor con respecto al cuerpo de La Pizarra, predominando la arfvedsonita. La asociación mineral de los granofels es: feldespato + nefelina + plagioclasa + anfíbol, correspondiendo a facies anfíbolita (Winter, 2001). El feldespato varía entre 35% y 46%, presenta buen desarrollo de maclas de albita y microclina, son frecuentes las desmezclas pertíticas. La plagioclasa se presenta en un rango de 5% hasta 16%; en algunas secciones muestra textura mosaico poligonal con contactos triples. La nefelina se encuentra desde un 20% hasta 34%, como cristales

xenoblásticos, con alteración incipiente a minerales arcillosos y sericita. La arfvedsonita varía desde 7% hasta 10%, se presenta junto a cristales de fluorita y nefelina, son comunes las inclusiones de agregados de esfena. Como producto de alteración de la nefelina se encuentran cristales xenoblásticos de cancrinita.

En comparación con el cuerpo de La Pizarra, el afloramiento de Las Delicias, tiene mayor contenido de minerales accesorios. La fluorita puede llegar hasta un 2%, asociada a arfvedsonita y feldespato. Se encuentra granate del tipo melanita, con tamaño de

0,05 mm, algunos cristales presentan bordes alterados y oxidados.

Geoquímica

Se analizaron seis muestras por el método de ataque por fusión completa con metaborato y tetraborato de litio FUS-ICP (Fusion Inductively Coupled Plasma emission spectrometry) para óxidos mayores (TABLA 2), elementos traza y elementos de las tierras raras (TABLA 3) en el laboratorio ActLabs de Canadá con un límite de detección de 0,01.

TABLA 2. Resultados análisis de óxidos mayores para la Sienita Nefelínica San José del Guaviare.

Localización	La Pizarra	La Pizarra	La Pizarra	La Pizarra	Las Delicias	Las Delicias
ÓXIDO (%)	5000410	5000412	5000413	5000421	5000424	5000426
SiO ₂	58,97	55,83	56,27	56,01	56,95	53,42
Al ₂ O ₃	20,98	21,20	20,84	20,77	21,24	22,45
Fe ₂ O ₃ (T)	2,30	4,52	4,26	4,35	4,17	3,49
MnO	0,07	0,12	0,17	0,17	0,16	0,14
MgO	0,15	0,16	0,25	0,32	0,18	0,14
CaO	0,12	0,28	1,67	1,76	1,96	1,76
Na ₂ O	6,69	6,95	7,75	7,05	7,94	10,68
K ₂ O	8,16	8,22	6,31	7,36	6,99	5,75
TiO ₂	0,24	0,42	0,39	0,44	0,41	0,28
P ₂ O ₅	< 0,01	0,01	0,11	0,13	0,04	0,03
LOI	0,66	0,77	1,46	2,00	0,37	1,21
Total	98,35	98,48	99,47	100,40	100,40	99,35

Para determinar el comportamiento químico de los dos cuerpos de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare e identificar si existen diferencias aparte de la textural entre ellos; se utilizaron los diagramas TAS para rocas ígneas plutónicas (Cox *et al.*, 1979) (FIGURA 5), el cual clasifica químicamente las rocas como sienitas nefelínicas, con contenidos altos de Na₂O (6,69 a 10,68wt%) y de K₂O (5,75 a 8,22wt%). La roca IGM 5000426 presenta un valor mayor de Na₂O (10,68wt%) con respecto al valor promedio de 7,28wt%, a nivel petrográfico esta roca presenta un contenido alto de arfvedsonita y nefelina, minerales ricos en sodio.

Los índices de aluminosidad de las sienitas se establecieron con el diagrama de Shand (1972) ANK/ANCK, mostrando una distribución de las rocas cerca de los límites de los tres campos (FIGURA 6), las rocas IGM 5000410 e IGM 5000412 que corresponden a sienita nefelínica y monzosienita nefelínica

respectivamente, caen en la serie peraluminosa con contenidos más bajos en %wt de CaO y Na₂O, manifestado por la ausencia de arfvedsonita (anfíbol sódico) en su asociación mineral. Las muestras IGM 5000413, IGM 5000421 e IGM 5000424 caen en el campo de las rocas metaluminosas, corresponden a monzosienitas nefelínicas y granofels con contenido de CaO relativamente alto dado por las mayores concentraciones de calcita hasta de un 9%. La muestra IGM 5000426, tal como se observa en el diagrama TAS, presenta un enriquecimiento de sodio dado por un porcentaje modal relativamente alto de nefelina (33%) y arfvedsonita (7%) alcanzando el límite del campo peralcalino.

Las rocas se ubican dentro de la serie potásica según el diagrama de Middlemost (1975) (FIGURA 6), las muestras que tienden a ser más potásicas (IGM 5000410, IGM 5000412, IGM 5000413 e IGM

5000421) pertenecen al cuerpo de La Pizarra y presentan mayor contenido modal de microclina. El comportamiento anómalo de la roca IGM 5000426 se debe a su enriquecimiento en sodio, como se observa en

el diagrama de Peccerillo and Taylor, (1976), (FIGURA 7), en el que se describe mayor contenido en K₂O agrupándolas en la serie Shoshonítica, caracterizada por ser rica en feldespatoides.

TABLA 3. Resultados de análisis de elementos traza y tierras raras para la Sienita Nefelínica San José del Guaviare.

Localización	La Pizarra	La Pizarra	La Pizarra	La Pizarra	Las Delicias	Las Delicias
Elemento (ppm)	5000410	5000412	5000413	5000421	5000424	5000426
Sc	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Be	1,00	2,00	1,00	1,00	3,00	2,00
V	8,00	16,00	9,00	13,00	< 5	< 5
Cr	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
Co	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00
Ni	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
Cu	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99
Zn	50,00	80,00	90,00	100,00	70,00	60,00
Ga	19,00	24,00	24,00	24,00	22,00	24,00
Ge	1,00	1,00	1,20	1,20	1,40	1,30
As	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Rb	225,00	237,00	210,00	236,00	183,00	143,00
Sr	2098,00	1300,00	1470,00	2205,00	842,00	541,00
Y	4,30	6,40	10,50	15,10	28,40	26,50
Zr	61,00	572,00	459,00	40,00	194,00	257,00
Nb	79,50	171,00	151,00	188,00	121,00	109,00
Mo	1,99	1,99	1,99	1,99	2,00	1,99
Ag	< 0.5	0,80	0,50	< 0.5	< 0.5	0,50
In	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Sn	< 1	2,00	< 1	< 1	2,00	1,00
Sb	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cs	1,00	1,50	1,50	1,20	0,40	0,30
Ba	2040,00	658,00	692,00	2318,00	332,00	156,00
La	10,70	17,40	33,60	104,00	133,00	112,00
Ce	19,10	31,30	70,10	189,00	249,00	204,00
Pr	1,75	2,93	7,39	19,00	25,30	21,50
Nd	5,40	9,25	25,30	58,70	82,60	69,40
Sm	0,71	1,27	3,70	7,78	11,40	9,72
Eu	0,28	0,39	1,12	1,74	2,67	2,23
Gd	0,52	0,95	2,65	5,12	7,79	6,45
Tb	0,09	0,17	0,40	0,70	1,16	0,99
Dy	0,59	1,10	2,29	3,43	6,40	5,63
Ho	0,14	0,26	0,46	0,61	1,19	1,09
Er	0,49	0,85	1,33	1,55	3,14	3,05
Tm	0,09	0,16	0,20	0,20	0,46	0,47
Yb	0,66	1,22	1,33	1,09	2,99	3,23
Lu	0,11	0,23	0,21	0,14	0,51	0,55
Hf	1,00	9,00	7,00	0,90	3,90	4,50
Ta	4,53	7,30	7,01	15,50	7,17	6,46
W	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Tl	0,50	0,41	0,52	0,36	0,34	0,22
Pb	< 5	< 5	< 5	19,00	7,00	6,00
Bi	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Th	4,50	9,39	4,75	8,44	19,90	24,90
U	3,56	4,21	2,40	44,70	2,83	3,92

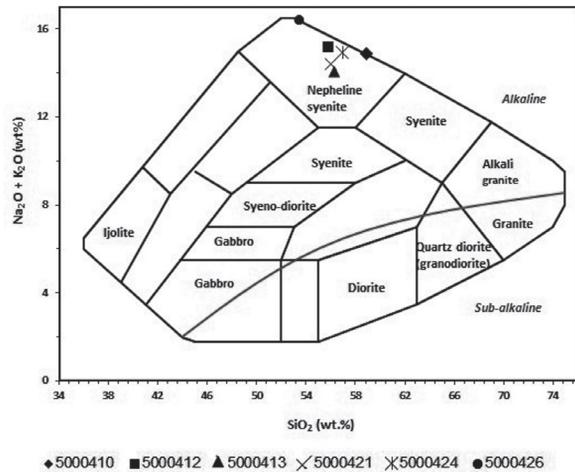


FIGURA 5. Diagrama TAS- concentración de álcalis total vs SiO₂ (Cox et al., 1979) para la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare.

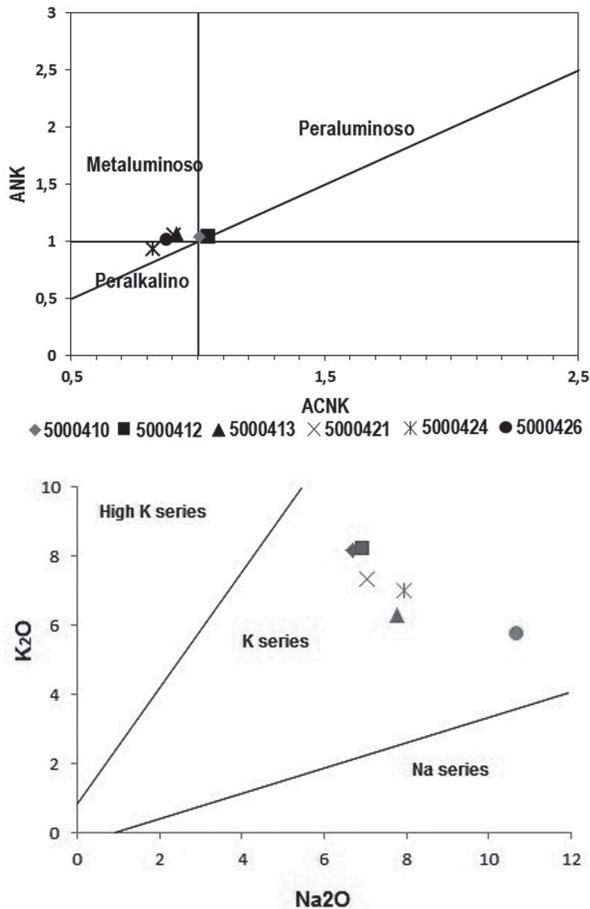


FIGURA 6. Diagramas con índices de saturación de aluminosidad. A, Shand, 1927, según Maniar y Piccoli (1989). B, K₂O (wt%) vs Na₂O (wt%), Middlemost (1975). Igual nomenclatura para los gráficos de las rocas de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare.

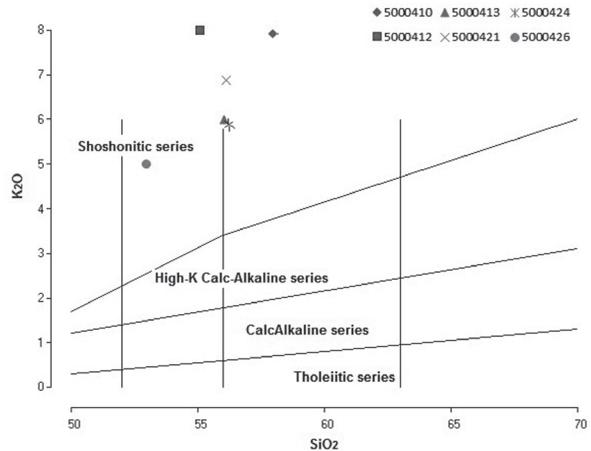


FIGURA 7. Diagrama K₂O Vs SiO₂ (Peccerillo and Taylor, 1976) para la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare.

Las rocas de sienita nefelínica están enriquecidas en las tierras raras ligeras (Rb,Zr,Ba,Th,U,Nb y K) y empobrecidas en las tierras raras pesadas (Dy,Ho,Er,Tm,Yb,Lu) como se indica en los diagramas de la FIGURA 8, la cual describe una forma ligeramente cóncava que según Eby *et al.* (1998) es inusual, siendo un patrón común que ha sido reportado para rocas peralcalinas y sienitas nefelínicas como las estudiadas en Malawi (África), Monteregeian (Canadá), y en el Oslo Rift (Noruega). Este autor indica que el coeficiente de partición de la titanita es mayor para los MREE; cuando este mineral se fracciona hay un agotamiento de los elementos MREE, provocando una tendencia cóncava. Por su parte el fraccionamiento de Zr puede significar la deflexión de HREE en el fundido. Además la presencia de minerales como feldespato y biotita abundantes en estas rocas tiende a concentrar LREE.

Teniendo en cuenta que la mayor parte de los elementos traza están contenidos en los minerales accesorios (fluorita, esfena y menos frecuente granate melanita) se observa que las rocas más ricas en REE son las del cuerpo de Las Delicias (IGM 5000424 e IGM 5000426), con enriquecimiento en Th, mientras que las rocas que presentan menores valores (IGM 5000410, IGM 5000412, IGM 5000413 e IGM 5000421) son las del cuerpo La Pizarra, lo cual es coherente con la petrografía. En el campo de las tierras raras intermedias (MREE) la muestra IGM 5000410 presenta una anomalía positiva en europio que puede ser interpretada como resultado de acumulación de feldespato (Eby *et al.*, 1998).

La distribución de las rocas en la FIGURA 9, representa una fuente enriquecida en Nb para las sienitas nefelínicas de San José del Guaviare, de acuerdo al diagrama

utilizado por Maitra *et al.*, 2011, hay fraccionamiento más bajo y mayores concentraciones de Nb/Y para las rocas de La Pizarra, mientras las sienitas nefelínicas de Las Delicias tienen un mayor fraccionamiento con relaciones menores de Zr/Y sugiriendo que las rocas que conservan texturas migmatíticas homófonas y nebulíticas (área de Las Delicias) presentan mayor fraccionamiento, siendo más ricas en minerales accesorios.

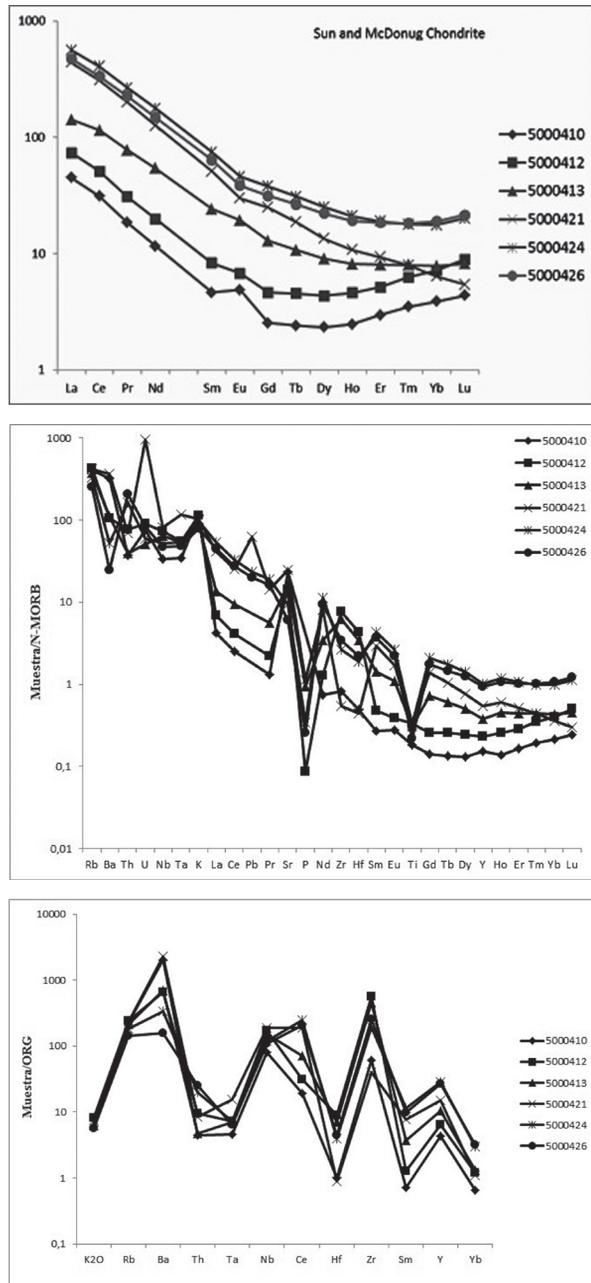


FIGURA 8. Diagramas multielementales A-McDonough and Sun, 1995 normalizado a condrito; B-Pearce *et al.* (1984) normalizado con N-MORB y C-Pearce *et al.* (1984) normalizado ORG para las rocas Sienita Nefelínica de San José del Guaviare.

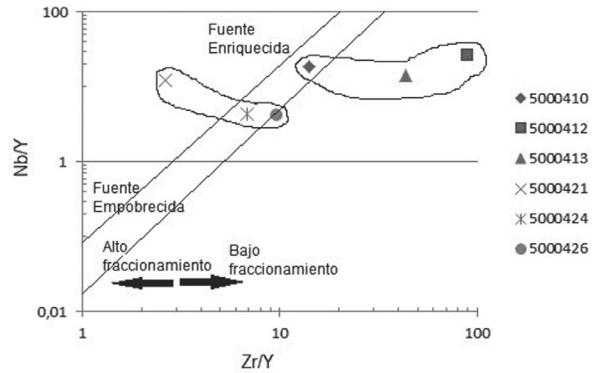


FIGURA 9. Diagrama Nb/Y vs Zr/Y (Maitra *et al.*, 2011)

Se graficó la relación Rb vs Y+Nb (Pearce *et al.*, 1984) como se muestra en la FIGURA 10, con el fin de conocer su afinidad con el ambiente tectónico en el que se encuentran, cayendo en el campo de rocas de intraplaca anorogénicas, teniendo en cuenta que aunque las rocas estudiadas no corresponden a granitoides, el gráfico discrimina correctamente el ambiente en que se encuentra la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare, presentando valores en SiO₂ en %wt de 56,24 que permiten ser demarcadas dentro de dicho gráfico.

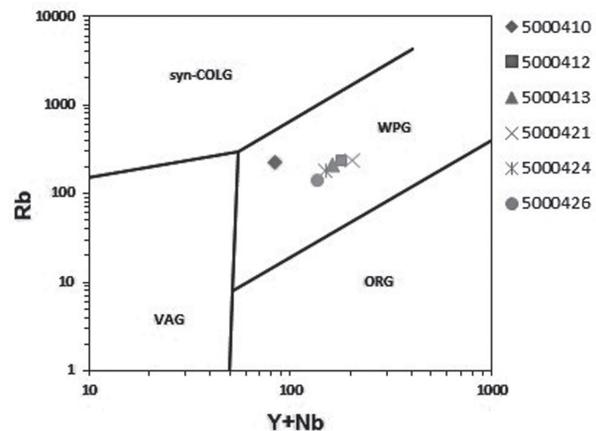


FIGURA 10. Diagrama de discriminación tectónica Pearce *et al.* (1984).

Edad

Se realizó la datación U-Pb de 29 circones de la roca IGM 500412 con coordenadas E: 1.151.057 y N: 762.994 (origen Bogotá) del sector La Pizarra, por el método de ablación laser acoplado a un ICPMS monolector en el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, Querétaro. La concentración de U en la mayoría de circones fue muy baja, entre 2 y 70 ppm. Por el contrario, las concentraciones de Th fueron notablemente más altas (40-3000 ppm) y el cociente Th/U arrojó valores entre

10-120. Debido a esta peculiaridad geoquímica de los circones, aplicar un algoritmo de corrección para plomo común no fue posible. Tres análisis arrojaron cocientes concordantes (que por ende, no requieren corrección de plomo común) y su promedio es 571 ± 23 Ma (n=3; intervalo de confianza del 95%). Alternativamente, para obviar el problema del plomo común se tomaron aquellos análisis que claramente se alineaban en una

curva de mezcla entre una componente de plomo común y una componente radiogénica (TABLA 4). Tales análisis, 18 en total, permitieron el cálculo de una línea de mezcla con intercepto inferior de $577,8 +6,3 -9$ Ma (Ediacaran, Neoproterozoico), que es semejante al promedio obtenido para los análisis que no requirieron corrección, indicando el momento de la cristalización de la sienita nefelínica. (FIGURA 11).

TABLA 4. Resultados de datos analíticos para la edad U/Pb.

CALCULATED AGES (± 1 sigma random error)					
Sample	U (ppm)	Th(ppm)	Th/U	206/238	\pm
Zircon_14_023	49,89	449,54	9,010	575,7	6,1
Zircon_28_040	12,81	369,98	28,882	555,7	10,6
Zircon_5_012	22,25	354,41	15,930	571,1	9,3
Zircon_10_018	9,41	90,55	9,624	633,1	18,7
Zircon_11_020	9,32	460,64	49,410	606,8	21,4
Zircon_12_021	8,08	1273,08	157,558	624,7	13,1
Zircon_15_024	4,48	514,18	114,854	682,7	22,7
Zircon_16_026	4,87	75,42	15,497	598,2	20,6
Zircon_18_028	8,13	477,68	58,783	602,6	17,8
Zircon_19_029	6,57	334,41	50,931	595,6	14,8
Zircon_2_009	5,75	140,78	24,488	595,2	11,4
Zircon_20_030	72,66	3038,13	41,812	649,2	6,2
Zircon_24_035	11,33	1272,89	112,360	617,5	10,0
Zircon_25_036	4,94	212,51	43,009	660,1	15,1
Zircon_29_041	10,65	686,75	64,495	601,1	9,8
Zircon_31_044	46,47	3134,39	67,452	596,3	8,0
Zircon_33_046	7,77	533,91	68,744	670,5	14,0
Zircon_8_016	5,35	675,50	126,300	592,1	13,6

En sombreado: muestras concordantes no requieren corrección.

Mean = 571 ± 23 [4.0%] 95% conf.
 Wtd by data-pt errs only, 0 of 3 rej.
 MSWD = 1.3, probability = 0.26

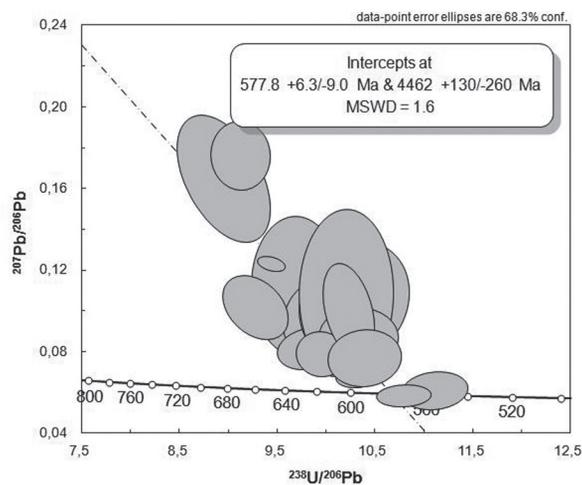


FIGURA 11. Diagrama Tera-Wasserburg para la muestra IGM 5000412.

Pinson *et al.* (1962) presentan dataciones isotópicas de la sienita en biotitas por el método K-Ar y Rb-Sr, arrojando edades de 445 – 495 Ma para el cuerpo de La Pizarra. En el presente estudio se determinó para la roca IGM 5000410 con coordenadas en E: 1.152.359 N: 761.532 (origen Bogotá) del mismo cuerpo, por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (HS) en biotita una edad del plateau que se caracteriza por el 15,9% ^{39}Ar , con una edad 494 ± 5 Ma, interpretado como un posible periodo de enfriamiento de la roca de edad Cámbrico tardío (Furoginiano). En la TABLA 5 se presentan los resultados de los análisis para la roca total, el diagrama isocrónico. La FIGURA 12 muestra que la distribución de los isótopos es dispersa y no presenta una tendencia lineal, definiendo que la sienita nefelínica de San José ha presentado eventos posteriores a la cristalización de dicho cuerpo.

TABLA 5. Resultados de análisis del método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (HS)

Sample: IGM 5000410 YK-477 whole rock J=0,004441±0,000052													
T°C	$^{40}\text{Ar}_{\text{rec}}$ (STP)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	Ca/K	$\Sigma^{39}\text{Ar}$ (%)	Age (Ma)±1σ	$\pm 1\sigma$
500	170,6*e ⁻⁹	50,617	0,0193	0,014137	0,000338	0,03319	0,00238	0,006769	0,000552	0,119	3	352,7	3,9
575	468,1*e ⁻⁹	43,0872	0,0096	0,014510	0,000052	0,01289	0,00048	0,001407	0,000112	0,046	12,7	313,1	3,4
650	735,9*e ⁻⁹	39,8748	0,0141	0,014708	0,000091	0,00768	0,00061	0,000586	0,000065	0,028	29,2	293,0	3,2
700	765,6*e ⁻⁹	49,1194	0,0184	0,014639	0,000092	0,00802	0,00045	0,000189	0,000113	0,029	43,2	355,6	3,8
750	728,3*e ⁻⁹	60,6385	0,0214	0,014668	0,000164	0,00698	0,00086	0,00403	0,00013	0,025	53,9	429,5	4,5
800	614,4*e ⁻⁹	70,4965	0,0262	0,014393	0,000136	0,01056	0,00092	0,000669	0,000211	0,038	61,7	490,2	5,0
875	649,7*e ⁻⁹	71,9756	0,0308	0,015040	0,000164	0,01321	0,00084	0,001285	0,000213	0,048	69,8	498,1	5,1
950	711,9*e ⁻⁹	65,873	0,0220	0,014884	0,000087	0,00502	0,00101	0,00115	0,0001	0,018	79,5	460,8	4,8
1025	610,0*e ⁻⁹	59,8948	0,0171	0,015181	0,000134	0,00756	0,00067	0,001015	0,000139	0,027	88,6	423,6	4,4
1130	765,8*e ⁻⁹	59,8875	0,0161	0,014894	0,000132	0,00742	0,00029	0,001264	0,000076	0,027	100,0	423,1	4,4

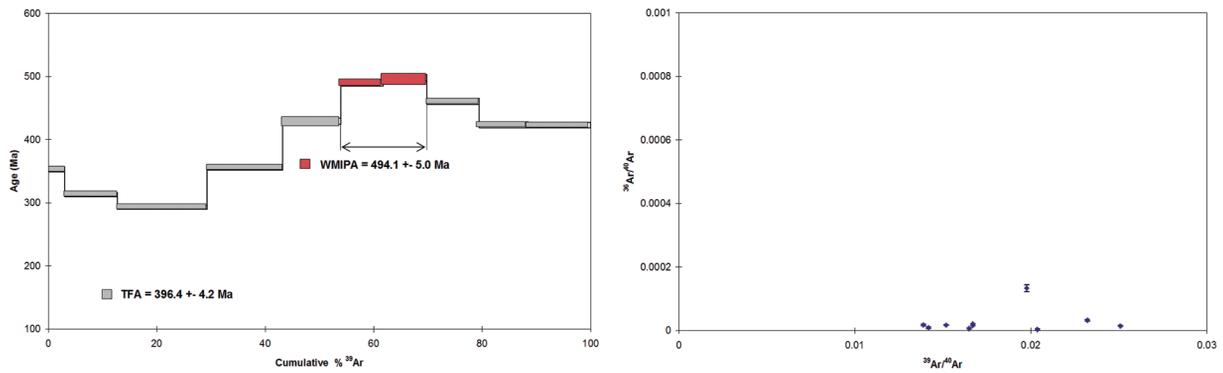


FIGURA 12. Espectro de desgasificación en biotita y diagrama de isócronas para la muestra IGM 5000410.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las rocas que componen la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare se clasificaron petrográficamente como sienitas nefelínicas, monzosienitas nefelínicas y granofels de feldespato y nefelina, debido a la existencia de texturas mixtas metamórficas e ígneas que se encuentran en los afloramientos de las veredas La Pizarra y Las Delicias. Están constituidas por Kfs+Nef+Pl ± Bt ± ardevsonita ± cancrinita, como minerales accesorios se presentan fluorita, esfena, apatito, granate, circón, epidota y calcita.

El mayor desarrollo a nivel macroscópico de texturas heredadas (restitas) encontrado en el cuerpo de Las Delicias, sugiere procesos de anatexia a partir de rocas metamórficas, las cuales pudieron ser sometidas a ultrametamorfismo conservando localmente estructuras migmatíticas homófonas y nebulíticas. En trabajos

anteriores esta unidad geológica ha sido considerada como la última etapa de magmatismo puntual desarrollado en el bloque autóctono, y que de acuerdo con sus características peralcalinas se interpretó como el resultado de una fusión parcial local de la base de la corteza continental de los Llanos Orientales (Toussaint, 1993).

El cuerpo de La Pizarra muestra preferentemente una textura ígnea y un contenido modal más bajo de minerales accesorios con respecto al cuerpo de Las Delicias el cual presenta mayor proporción de fluorita, granate (melanita) y esfena (muestra IGM 5000426), productos de fraccionamiento del fundido.

La edad de cristalización de la roca (por el método U/Pb) $577,8 \pm 6,3 -9$ Ma (Ediacaran, Neoproterozoico) se puede relacionar con el evento Panafricano durante el Cámbrico en el continente de Gondwana. Otra edad por

el método Ar/Ar 494±5 Ma, límite con el Ordovícico Temprano (Furoginiano), es congruente con las dataciones isotópicas de Pinson *et al.* (1962) y se asocia con la edad de enfriamiento en el Paleozoico.

Por sus características petrográficas y geoquímicas se determinó que las rocas son de carácter peralcalino. El exceso de álcalis se debe a la mineralogía rica en feldespatos, feldespatoides, plagioclasa y arfvedsonita, con un predominio en la relación ANK/ANCK superior a 1. La discriminación tectónica ubica las rocas en el campo semejante al de los granitos intraplaca, lo cual es congruente con la geología regional del cratón.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS) por suministrar la información de los análisis de petrografía, geoquímica y dataciones utilizada en este trabajo, al coordinador del proyecto Gabriel Rodríguez García por sus comentarios y revisión, a los geólogos que nos acompañaron en campo, a la geóloga María Isabel Giraldo por su asesoría en la sección de geoquímica y a los revisores finales por las sugerencias.

REFERENCIAS

Celada, C.M., Garzón, M., Gómez, E., Khurama, S., López, J.A., Mora, M., Navas, O., Pérez, R., Vargas, O., y Westerhof, A.B. 2006. Potencial de recursos minerales en el oriente colombiano: compilación y análisis de la información geológica disponible (fase 0). INGEOMINAS. Bogotá, 165p.

Cox, K., Bell, J., and Pankhurst, R. 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin, London, 445p.

Eby, *et al.* 1998. Geochemistry and petrogenesis of nepheline syenites: Kasungu-Chipala, Ilomba, and Ulindi nepheline syenite intrusions, North Nyasa Alkaline Province, Malawi. *Journal of Petrology*, 39(8): 1405-1421.

Galvis, J., Huguet, A., y Ruge, P. 1979. Proyecto Radargrametrico del Amazonas, La Amazonia Colombiana y sus recursos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. p 33-91.

Gansser, A. 1954. The Guiana Shield (S. America). *Geological observations. Eclogae. Geologicae. Helvetiae.*, 47: 77-112, 12 fig., pl. VIII-XI.

Maitra, M., David, J.S., and Bhaduri, S. 2011. Melanite garnet – bearing nepheline syenite minor intrusion in Mawpyut ultramafic – mafic complex, Jaintia hills,

Meghalaya. *Journal of Earth System Science*, 120 (6): 1033-1041.

Maniar, P. and Piccoli, P. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geologic Society of American Bulletin*, 101: 635-643.

McDonough, W.F., and Sun S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120: 223-253.

Middlemost, E.A.K., 1975. The basalt clan. *Earth Science Review*, 11: 337-367.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W., y Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956-983.

Peccerillo, A., and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene Calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonir area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58:63-81.

Pinson, W.H., *et al.* 1962. K-Ar and Rb-Sr ages of biotitas from Colombia, South America. *Geological Society of America. Bulletin* 73:907-910.

Siivola, J., and Schmid R. 2007. List of Mineral Abbreviations. IUGS Subcommission on the Systematics of metamorphic Rocks. Consultado en marzo del 2011. Web (http://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_12.pdf).

Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science. Reviews*, 12:1-33. Amsterdam.

Toussaint, J.F. 1993. Evolución Geológica de Colombia – Precámbrico y Paleozoico., Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 221p.

Trumphy, D. 1943. Pre-Cretaceous of Colombia. *Geological Society of America. Bulletin*, 54(9):1281-1384.

Vesga, C., y Castillo L. 1972. Reconocimiento geológico y Geoquímica preliminar del Río Guaviare, entre la confluencia con los ríos Ariari e Iteviare. INGEOMINAS, Informe Interno No. 1631, Bogotá, 180p.

Winter, J.D. 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, 697p.

Trabajo recibido: Diciembre 21 de 2011

Trabajo aceptado: Junio 15 de 2012