

PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE LA SIENITA NEFELÍNICA DE SAN JOSÉ DEL GUAVIARE EN CERCANÍAS DE EL CAPRICHIO

PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF THE SAN JOSÉ DEL GUAVIARE NEPHELINE SYENITE IN THE VICINITY OF EL CAPRICHIO

Daniel Larrota Rincón¹, PhD. Ana Elena Concha²

¹Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. dhlarrota@unal.edu.co

²Profesora Asociada. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Larrota Rincón D., Concha A. E. (2018): *Petrografía y geoquímica de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare en cercanías de El Capricho*.- GEOLOGIA COLOMBIANA, Vol. 41. Bogotá, Colombia. pp. 27-42

Manuscrito recibido: 3 de octubre de 2018; aceptado: 10 de febrero de 2019

Resumen

En el Departamento del Guaviare (Oriente Colombiano) se han venido reportando afloramientos aislados de sienitas nefelínicas de edad Ediacara- Cámbrico (~577 Ma) y cuyo origen podría tener fuertes implicaciones para el entendimiento de la evolución del Cratón Amazónico durante este lapso. En este trabajo se incluye la caracterización petrográfica y geoquímica de 19 muestras de roca de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare aflorantes en cercanías al corregimiento El Capricho y el sector de La Cristalina. Los resultados fueron comparados con análisis geoquímicos previamente publicados en las veredas Jordán, La Pizarra y Las Delicias (un total de 55 muestras). Las muestras analizadas son en su mayoría de grano grueso a pegmatíticas. Los minerales esenciales identificados son Microclina, Ortoclasa y feldespatoideos como Nefelina, Cancrinita y Sodalita, mientras que como accesorios predominan Biotita, Titanita y Arfvedsonita. Se trata de rocas desde hololeucocráticas hasta mesocráticas que fueron clasificadas como sienitas nefelínicas, juvitas y malignitas (primer reporte) con texturas por deformación dúctil. Particularmente, en las muestras de La Cristalina se encuentran concentraciones del 3% de pirocloro, en el cual residen relativas altas concentraciones Niobio (Nb), Uranio (U) y Torio (Th). Geoquímicamente, las muestras son peralcalinas ferrosas y presentan afinidad con rocas generadas en ambientes de magmatismo intraplaca de manera similar a las muestras estudiadas en las localidades de Jordán, La Pizarra y Las Delicias. Se concluye que dichas rocas fueron generadas por un evento comagmático único coetáneo con el inicio de una fase de extensión en el margen occidental del Cratón Amazónico a finales del Neoproterozoico, cuya fuente es fuertemente diferenciada respecto al Manto Primordial, con una aparente alta interacción con materiales de la Corteza Continental.

Palabras claves: Guaviare, sienita nefelínica, El Capricho, pegmatitas, REE, Cratón Amazónico.

Abstract

In Guaviare Department (Eastern Colombia) isolated outcrops of Ediacaran nepheline syenites (~577 My) whose origin could have strong implications to our understanding of Amazonian Craton evolution during this time. This paper includes the petrographic and geochemical characterization of 19 rock samples from the San José del Guaviare Nepheline Syenite outcropping in the vicinity of El Capricho and La Cristalina correlating new results with previously published geochemical data from Jordán, La Pizarra and Las Delicias (a total of 55 samples). Analyzed samples are coarse-grained to pegmatitic composed by Microcline, Orthoclase and feldspathoids such as Nepheline, Cancrinite and Sodalite as essentials, while Biotite, Titanite and Arfvedsonite predominate as accessories, ranging from Hololeucocratic to Mesocratic and being classified as Nepheline

Syenites, Juvites and Malignites (first report), commonly with foliated textures due to ductile deformation. Particularly, in La Cristalina pegmatites Pyrochlore was identified (3%) linked to a relative enrichment in Niobium (Nb), Uranium (U) and Thorium (Th) contents. Geochemically, samples are ferrous peralkaline and show affinity with intraplate magmatism like samples from Jordan, Las Delicias and La Pizarra, being interpreted as a result of a unique comagmatic event connected to the beginning of an Ediacaran -Cambrian extension phase in western margin of Amazonian Craton whose source was highly differentiated with respect to the Primordial Mantle and apparently had a strong interaction with Continental Crust materials.

Keywords: Guaviare, nepheline syenite, El Capricho, pegmatites, REE, Amazonian Craton.

1. INTRODUCCIÓN

En el Departamento del Guaviare, sobresaliendo en las llanuras que dominan el paisaje de la Orinoquía Colombiana del margen del Escudo de Guyana, afloran rocas ígneas intrusivas insaturadas de edad Ediacara-Cámbrico, con afinidad peralcalina, agrupadas bajo el nombre de Sienita Nefelínica de San José del Guaviare (SNSJG). Dicha unidad es de gran importancia geológica para el país y el continente suramericano por sus implicaciones geotectónicas con respecto a la evolución del Cratón Amazónico y la prospección de elementos como el Niobio (Nb), Tántalo (Ta), así como de elementos tierras raras (REE).

La unidad SNSJG está compuesta por rocas de grano medio a grueso y pegmatitas de afinidad peralcalina ricas en microclina, nefelina y biotita, que han sido reportadas en la Serranía La Lindosa (veredas La Pizarra y Las Delicias) y los cerros de Jordán y El Capricho como cuerpos subredondeados aislados. Las geoformas del Cerro El Capricho habían sido correlacionadas con rocas de la SNSJG desde 1979, pero solo hasta el año 2018 se publican los primeros estudios biológicos y geológicos en el sector debido a los problemas de accesibilidad y orden público.

En este trabajo se incluye la caracterización textural, mineralógica y geoquímica de 16 muestras del cuerpo intrusivo aflorante en el Cerro El Capricho y 3 muestras de la quebrada La Cristalina utilizando microscopía de luz transmitida, espectroscopia RAMAN y Fluorescencia de Rayos X, comparando los resultados con los datos geoquímicos publicados por Arango *et. al.* (2012), García (2015) y Campos (2017) en las veredas Jordán, La Pizarra y Las Delicias.

1.1. OBJETIVOS

- Realizar un análisis petrográfico y geoquímico de las rocas de la SNSJG aflorantes en El Capricho y La Cristalina, de las cuales no se encuentran descripciones detalladas publicadas hasta el momento.

- Llevar a cabo un estudio comparativo de las propiedades macroscópicas, microscópicas y geoquímicas de las rocas de la SNSJG en los afloramientos reportados hasta el momento y en rocas asociadas como la Cuarzomonzonita de Iteviare.
- Aportar al conocimiento del origen de las rocas de la SNSJG a través de una interpretación petrogenética preliminar.

1.2. MARCO GEOLÓGICO

Sudamérica está compuesta en su mayoría por complejos ígneos y metamórficos de edad Arqueano - Proterozoico conocidos como cratones, que develan una larga y compleja historia geológica incluyendo diferentes ciclos orogénicos proterozoicos. Sin embargo, su evolución ha sido similar desde el Neoproterozoico - Paleozoico Temprano, momento en el cual se cree que ocurrió la consolidación de la plataforma sudamericana. (Engler, 2009)

En el año 1999, Cordani y Sato presentan un mapa geotectónico de Sudamérica en el cual se ilustran las principales áreas cratónicas, resaltando el Cratón Amazónico (ver figura 1A). Ubicado al Norte del continente sudamericano, el Cratón Amazónico, es dividido por la Cuenca Paleozoica del Río Amazonas-Solimoes, en los escudos de Guyana al Norte y Brasil Central (o Guaporé) al Sur, y constituye uno de los ejemplos más completos del crecimiento de la corteza continental durante el Arqueano-Mesoproterozoico, siendo una pieza clave en muchas reconstrucciones paleogeográficas. Dicho cratón cubre un área aproximada de 4 500 000 km² en territorios de Brasil, Surinam, Venezuela, Bolivia, Guayanas y Colombia. (Gansser, 1954; Santos *et. al.*, 2000; Engler, 2009; Geraldés *et. al.*, 2015)

Dentro del Cratón Amazónico se han establecido diferentes modelos de provincias con base en dataciones Rb/Sr (Tassinari, 1996), U/Pb y Sm/Nd (Santos *et. al.*, 2000, 2006) o aspectos geotectónicos como líneas de sutura (Costa y Hasui, 1997). Para este trabajo se toma como referencia el modelo de Santos *et. al.* (2000, 2006)

(ver figura 1B), en el cual se resaltan los reportes de rocas ígneas y metamórficas pertenecientes a las provincias de Río Negro y Sunsás - K'Mudku en el territorio colombiano (Complejo Mitú y el Complejo Garzón respectivamente).

La provincia Río Negro, localizada en el Suroeste de Venezuela, Noroeste de Brasil y Sureste de Colombia cuyas edades U/Pb varían entre 1.82 y 1.52 Ga, está compuesta principalmente por granitos tipo S y rocas bandeadas con alto grado de metamorfismo, genéticamente asociadas con una colisión continental al noroccidente del cratón hace 1.5 Ga (edad U/Pb de las rocas graníticas).

Por otro lado, la Provincia Sunsás que se encuentra principalmente en Bolivia, está conformada por granulitas, granitos rapakivi y basaltos alcalinos con edades U/Pb entre 1.45 y 1.10 Ga, es considerada como una zona de colisión (Orogenia Sunsás) que afecta las provincias más antiguas de Río Negro, Tapajós-Parima y Transamazónica. Además, se presenta una franja de rocas milonitizadas con tendencia N45-55°E, con alto grado de metamorfismo y fusión parcial, (Cinturón de cizallamiento K'Mudku) con edades U/Pb muy similares, que puede estar relacionada con la evolución de la Orogenia Sunsás hacia el Este (Santos *et. al.*, 2000, 2006).

1.2.1. COMPLEJO MITÚ

En los departamentos de Guainía, Vaupés y Caquetá, afloran rocas metamórficas proterozoicas de alto grado como neises, anfibolitas y localmente granulitas

con estructuras migmatíticas, las cuales han sido agrupadas bajo el nombre de Complejo Migmatítico de Mitú (Galvis *et. al.*, 1979) o Complejo Mitú (López *et. al.*, 2007).

Las rocas del Complejo Mitú hospedan cuerpos intrusivos de diversas afinidades, siendo comunes los granitos tipo A que exhiben texturas rapakivi. Sin embargo, han sido reportados granitoides de afinidad calcoalcalina que podrían reflejar eventos de extensión intracontinental y procesos de subducción superpuestos. (Isaza y Cramer, 2012)

Las edades reportadas para el Complejo Mitú incluyen una datación Rb/Sr de 1.780 Ma en neises biotíticos y edades entre 1.575 y 1.450 Ma utilizando el mismo método en granitos rapakivi correlacionables con el Granito de Parguaza pertenecientes a la provincia Río Negro. Además, un rango de edades entre 1.200 y 1.100 Ma Rb/Sr ha sido asociado con superposición metamórfica durante el evento Sunsás- K'Mudku (Santos *et. al.*, 2000; Priem *et.al.*, 1982; Isaza y Cramer, 2012; Bonilla-Pérez, 2013).

1.2.2. COMPLEJO GARZÓN

El Complejo Garzón está compuesto por neises cuarzofeldespáticos con intercalaciones metabásicas, metapelíticas y calcosilicatadas en Facies Anfibolita y Granulita pertenecientes a las denominadas Migmatitas de Florencia que presentan contacto concordante y localmente fallado con el Neis de Guapotón – Mancagua (1600 Ma), además de cuerpos graníticos generados

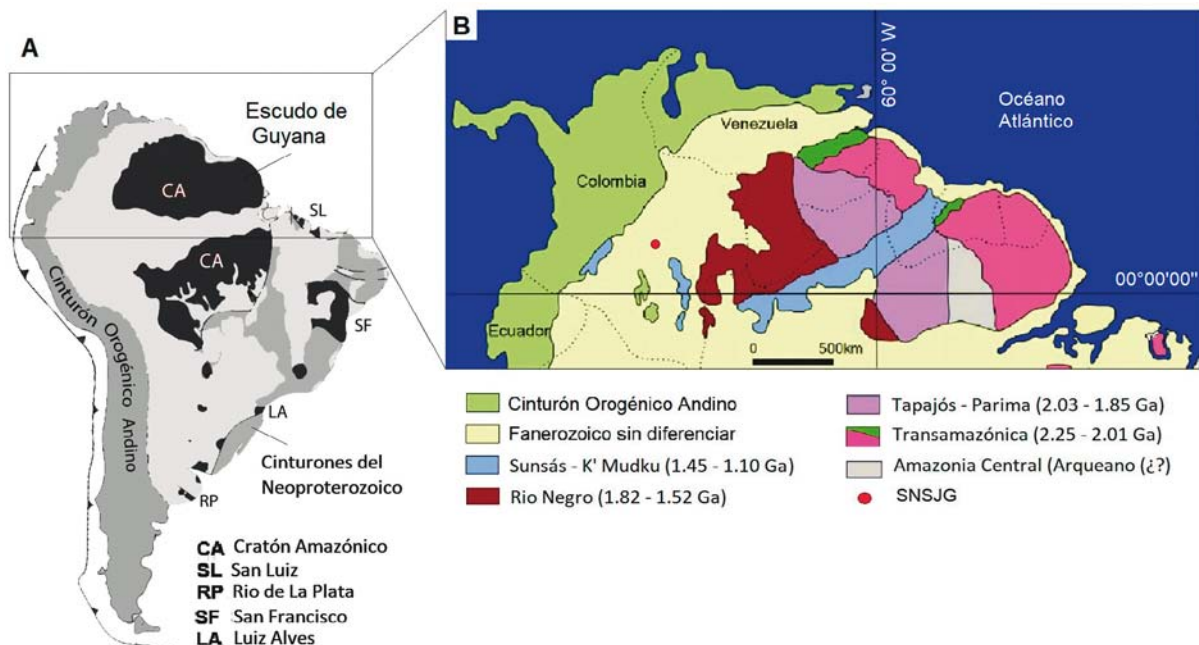


Figura 1. A. Mapa geotectónico de Sudamérica ilustrando sus principales áreas cratónicas (Cordani y Sato, 1999) B. Provincias geocronológicas en el Escudo de Guyana (Santos *et. al.*, 2000, 2006) modificado por Rossoni *et. al.* (2017).

por anatexia (Granito del Recreo), cuyas relaciones de campo indican edades similares. Rocas de esta unidad han sido reportadas en la Cordillera Oriental entre los departamentos de Huila, Caquetá y Putumayo y han sido correlacionadas con la provincia Sunsás del Cratón Amazónico (Santos *et. al.*, 2000,2006; Mejía *et. al.*, 2006; Rodríguez *et. al.*, 2012)

Priem *et. al.* (1989) reportan dataciones Rb/Sr en roca total y K/Ar en hornblendas y micas de las rocas de la unidad en Migmatitas de Florencia, obteniendo edades de 975 ± 12 Ma en anfibolitas y 1172 ± 90 Ma en granulitas.

1.3. SIENITA NEFELÍNICA DE SAN JOSÉ DEL GUAVIARE (SNSJG)

Además de las unidades mencionadas, rocas de edad Neoproterozoico y Paleozoico temprano han sido históricamente vinculadas a la evolución del Cratón Amazónico en este lapso como es el caso de la SNSJG en su margen noroccidental.

1.3.1. TRABAJOS ANTERIORES

- En cercanías de San José del Guaviare (oriente colombiano) Trumpy (1943) reporta por primera vez rocas intrusivas ricas en feldespatoides con texturas aplíticas y pegmatíticas, clasificadas como sienitas nefelínicas.
- Vesga y Castillo (1972) en el informe de reconocimiento geológico del Río Guaviare describen rocas intrusivas sobresaturadas en sílice (Cuarzomonzonita de Iteviare) de edad Mesoproterozoico, resaltando las similitudes texturales, mineralógicas y geoquímicas observadas con rocas de la SNSJG.
- Arango *et. al.* (2011, 2012) presentan análisis petrográficos y geoquímicos de sienitas nefelínicas con afinidad peralcalina, aflorantes en las veredas La Pizarra y Las delicias de San José en la Serranía La Lindosa, reportando minerales accesorios como arfvedsonita, fluorita y granate (melanita). Según estos autores las rocas de Las Delicias exhiben texturas migmatíticas nebulíticas sugiriendo un origen por procesos de anatexia.
- En cuanto a su edad, Pinson *et. al.* (1962) mediante dataciones K/Ar en biotitas, obtuvieron edades de 445 ± 22 Ma en rocas la SNSJG y de 1205 ± 60 Ma para la Cuarzomonzonita de Iteviare, mientras que Arango *et. al.* (2012) reportan una edad cristalización U/Pb de 577.8 ± 9.0 Ma (Ediacara) para la SNSJG.
- García (2015) en su trabajo de grado, realiza una

descripción petrográfica y geoquímica de las rocas del basamento cristalino al sur de San José del Guaviare, reportando en el área rocas foliadas sieníticas y cuarzofeldespáticas correlacionables con la Cuarzomonzonita de Iteviare. Campos (2017) por su parte, presenta una caracterización geoquímica y mineralógica de las rocas aflorantes en el Cerro Jordán, haciendo énfasis en los minerales presentes en las fases pegmatíticas.

- Los análisis geoquímicos reportados de Jordán, La Pizarra y Las Delicias coinciden en un carácter peralcalino de las rocas de la SNSJG cuya afinidad sugiere una génesis asociada a un magmatismo intraplaca continental.
- Recientemente, Vriesendorp *et. al.* (2018) como parte de la publicación Inventario Rápido Social y Biológico 29, presentan una breve descripción de las litologías presentes en el Cerro El Capricho (sienitas nefelínicas).

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. LOCALIZACIÓN

El Cerro El Capricho está ubicado en el Departamento del Guaviare 27 km al suroeste de San José y a 19 km al noroeste de El Retorno. Este lugar es conocido por su gran diversidad de flora y fauna, siendo declarado parte de la Zona de Preservación de la Serranía La Lindosa (ZPSLL) (Vriesendorp *et. al.*, 2018). Esta geoforma fue identificada por Galvis *et. al.* (1979) y abarca un área aproximada de 54.79 km² que corresponde al 53 % del área total cartografiada de la unidad (103.35 km²). Por su parte, las rocas aflorantes en La Cristalina se presentan como lomas redondeadas de baja altura donde sobresalen bloques de sienitas nefelínicas con texturas pegmatíticas. (ver figura 2)

2.2. ESTRATIGRAFÍA

En la figura 3 se observa el mapa geológico general del área de estudio, mostrando los distintos afloramientos reportados de rocas la SNSJG y la localización de las muestras con análisis geoquímicos publicados hasta la fecha (Modificado de Arango *et. al.*, 2011; Gómez Tapias *et. al.*, 2015; García, 2015; Campos, 2017 y Vriesendorp *et. al.*, 2018).

2.2.1. ROCAS FOLIADAS SOBRESATURADAS EN SiO₂ (¿MESOPROTEROZOICO?)

En cercanías del corregimiento de Cerritos y aparentemente bordeando los cerros de Jordán y El Capricho, García (2015) reporta rocas de afinidad peralcalina saturadas y sobresaturadas con respecto

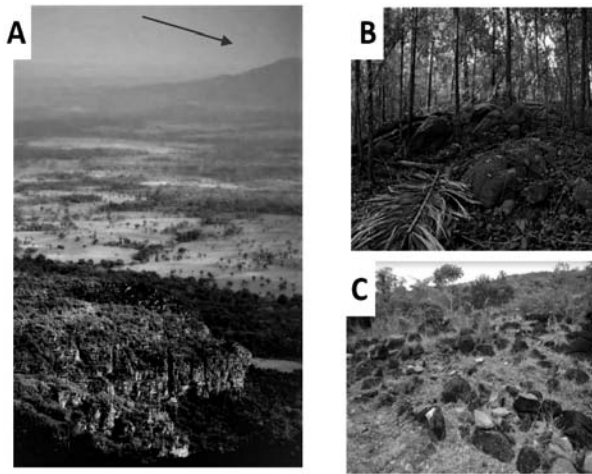


Figura 2. A. Vista panorámica y B. Bosques de ladera con bloques de sienitas nefelínicas en el Cerro El Capricho (Vriesendorp *et al.*, 2018) C. Fotografía de los afloramientos en La Cristalina, tomada por Juan Manuel Moreno M.

al contenido SiO_2 , que exhiben una orientación preferencial. Dicho autor cita una datación U/Pb de 1318 ± 3.9 Ma, siendo correlacionables con las rocas de la Cuarzomonzonita de Iteviare descritas por Vesga y Castillo (1972). Hasta el momento continua incierta la relación que existe entre dichas rocas y la SNSJG, aunque se presume un contacto intrusivo.

2.2.2. FORMACIÓN SAN JOSÉ (CRETÁCICO SUPERIOR)

De acuerdo con Arango *et al.* (2011), la Formación San José está constituida por una secuencia de cuarzoarenitas, arcosas y conglomerados con intercalaciones menores de lodolitas y vacas arenosas, cuya edad (Cretácico Superior) fue determinada con base en moldes internos de bivalvos. Esta secuencia aflora en la Serranía La Lindosa y suprayace las rocas de la SNSJG en contacto inconforme. Esta unidad puede ser correlacionada con la Formación La Macarena definida por Paba y Van der Hammen (1960).

2.2.4. FORMACIÓN CAJA (OLIGOCENO-EOCENO)

Gansser (1954) reporta por primera vez una secuencia de lodolitas de edad Oligoceno-Eoceno que suprayace discordantemente las arenitas de la Formación La Macarena. De acuerdo con Arango *et al.* (2011) la Formación Caja fue definida en un informe inédito de Shell en 1938. Esta unidad fue denominada como "Terciario Superior Amazónico" por Galvis *et al.* (1979). La Formación Caja cubre gran parte del área de estudio con disposición subhorizontal y suprayace discordantemente las rocas de la SNSJG y de la Formación San José (Arango *et al.*, 2011).

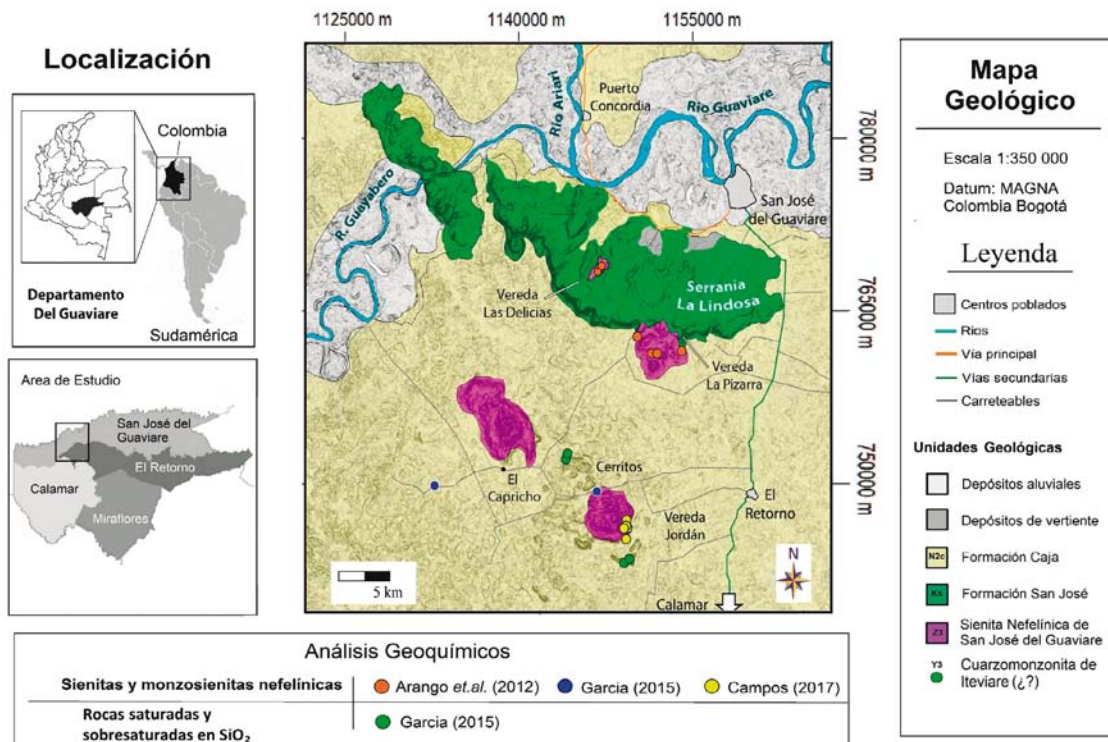


Figura 3. Mapa geológico ilustrando las localidades reportadas de la SNSJG, modificado a partir de los datos reportados por Arango *et al.* (2011, 2012); Gómez Tapias *et al.* (2015); García (2015); Campos (2017) y Vriesendorp *et al.* (2018).

2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área de estudio han sido interpretados lineamientos con tendencia NW-SE similares a la orientación preferencial de los altos estructurales de la zona, correspondientes a la Formación San José y la SNSJG. Dicha tendencia parece estar relacionada con el lineamiento Carurú reportado por Boorder (1980) que se extiende desde las cabeceras del Río Cuduyarí hasta el área de San José del Guaviare, autor que sugiere una relación genética entre las rocas peralcalinas encontradas y dicho lineamiento (ver figura 4).

FIGURA 4 AQUÍ

3. METODOLOGÍA

En enero y junio de 2017 y marzo del presente año fueron recolectadas 16 muestras de roca aflorantes en el Cerro Capricho y 3 muestras de la quebrada La Cristalina por parte de los profesores del Departamento de Geociencias Ana Elena Concha Perdomo y Juan Manuel Moreno Murillo. Como parte de este trabajo se elaboraron e interpretaron las respectivas secciones delgadas utilizando herramientas complementarias como la espectroscopia RAMAN, y análisis geoquímicos con la técnica de Fluorescencia de Rayos X.

3.1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una búsqueda y compilación de información geotectónica desde una escala regional, teniendo en cuenta la relación entre la SNSJG y unidades con afinidades similares con la evolución del Cratón Amazónico, hasta una escala local, abarcando la geología estructural del área de estudio, los reportes de rocas de la SNSJG, su petrografía y afinidad geoquímica

y las interpretaciones petrológicas de dicha unidad.

3.2. PETROGRAFÍA

Se elaboraron 18 secciones delgadas en el Laboratorio de Técnicas Petrográficas de la Universidad Nacional (Departamento de Geociencias). Las descripciones macroscópicas y microscópicas bajo luz transmitida fueron realizadas en el Laboratorio de Petrografía de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

3.3. ESPECTROSCOPIA RAMAN

Para confirmar la identificación bajo luz transmitida de algunos minerales poco comunes, se utilizó la espectroscopia RAMAN con un detector *Renishaw Centrus 0281Q1* llevada a cabo en el laboratorio 315 del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

3.4. FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Se llevaron a cabo 19 análisis semicuantitativos destructivos en el laboratorio de Fluorescencia de Rayos X de la Dirección Nacional de Laboratorios, en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, con el fin de obtener concentraciones de los elementos mayores, menores y trazas que permiten realizar la clasificación geoquímica de las rocas, así como interpretaciones petrogenéticas de las mismas. Se utilizó un espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X MagixPro PW - 2440 Philips (WDXRF) con potencia máxima de 4kW y sensibilidad de 100 ppm (0.01%).

Los datos fueron procesados con el programa *GeoChemical Data ToolKIT (GCDkit)* de Janousek *et. al.* (2006) comparando los resultados con los análisis realizados en Jordán, La Pizarra y Las Delicias.

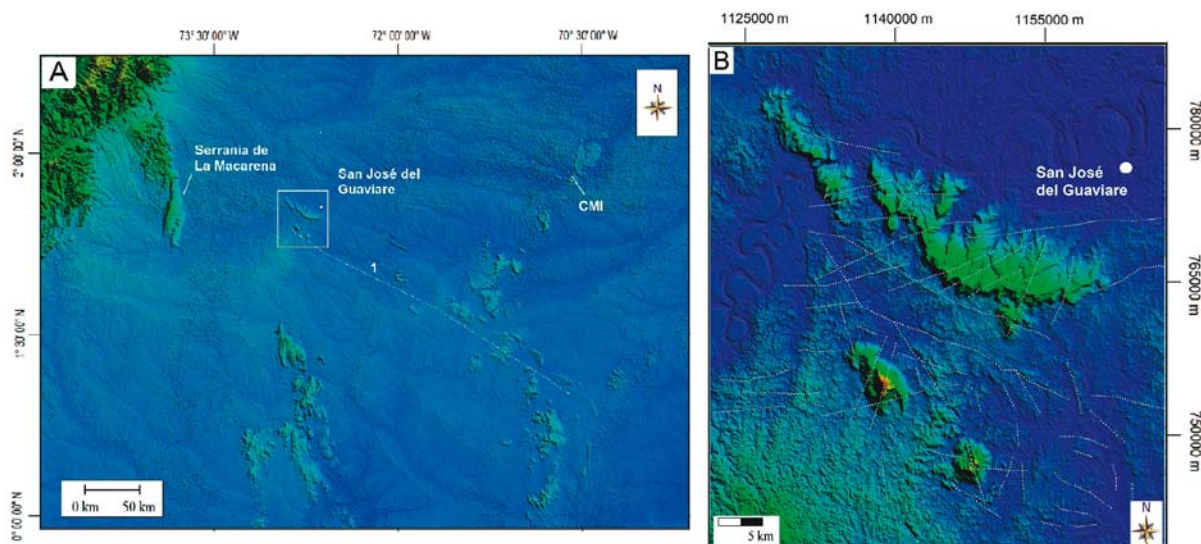


Figura 4. Modelo de elevación digital (ASTER GDEM v2) donde se observan los lineamientos identificados en el área. [1]: Lineamiento Carurú de Boorder (1980). CMI: Cuarzomonzonita de Iteviare.

4. RESULTADOS

4.1. PETROGRAFÍA

4.1.1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Las muestras analizadas son masivas, faneríticas de grano medio a grueso y ocasionalmente con texturas pegmatíticas, siendo en algunos casos levemente inequigranulares. Presentan tonalidades que varían de blanco a gris oscuro, con una capa de alteración entre 0.1 y 0.5 cm de espesor de color naranja pálido a blanco. En muestra de mano se reconocen grandes cristales tabulares de feldespato alcalino con tonos grises claros, nefelina con brillo grasoso y colores grises azulados, en ocasiones con pátinas rojizas, biotita y anfíbol cuyos tamaños varían entre menos de 1 mm hasta 5 cm en pegmatitas (ver figuras 5A, B y C).

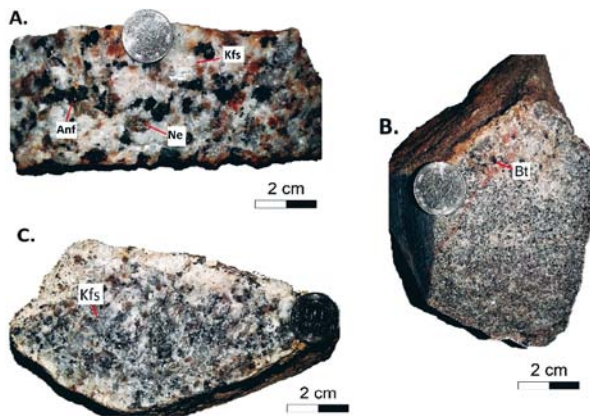


Figura 5. Principales características macroscópicas de las muestras analizadas **A.** Pegmatitas **B.** Textura fanerítica de grano medio **C.** Texturas levemente inequigranulares. **Kfs:** Feldespato alcalino **Ne:** Nefelina **Anf:** Anfíbol.

4.1.2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La mayoría de las muestras analizadas son holocristalinas, equigranulares cuyos tamaños medios de cristales varían entre 1.1 mm y 4.5 mm, exceptuando las muestras con grano grueso y textura pegmatítica.

Las muestras levemente inequigranulares exhiben cierto grado de orientación preferencial con fenocristales tabulares de feldespato alcalino (microclina u ortoclasa). Dichas texturas comunes en las muestras analizadas de la SNSJG son similares a las descritas para la Cuarzomonzonita de Iteviare, y parecen ser ocasionadas por deformación dúctil asociada con efectos de cizalla, presentando microplegamientos y efectos de rotación. Además, su textura general refleja patrones muy similares a los obtenidos por Ildefonse y Fernández (1988) (citado por Féménias *et. al.*, 2005) para efectos de deformación por cizalla simple en cristales en suspensión (estado sub-sólido) (ver figuras 6 A y B).

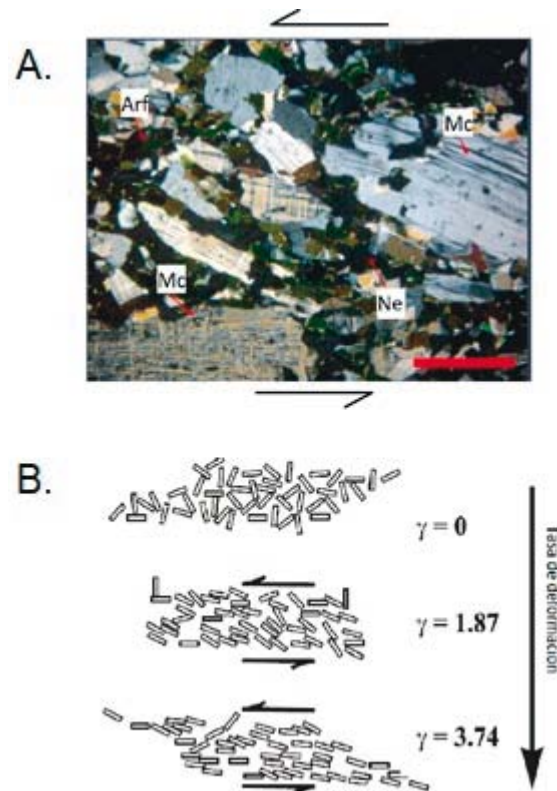


Figura 6. **A.** Muestra levemente inequigranular y orientación preferencial (XPL, escala gráfica: 0.5 cm) **B.** Resultados experimentales de Ildefonse y Fernández (1988) (citado por Féménias *et. al.*, 2005) para efectos cizalla simple en fluido con cristales en suspensión (estado sub-sólido) similares a los observados en las muestras analizadas.

En la *tabla 1* se presenta un resumen de los minerales identificados en las muestras analizadas. Como minerales esenciales se encuentran feldespato alcalino (29-77%) y feldespatoideos: nefelina (14- 38%), cancrinita (<7%) y sodalita (<3%). Los minerales accesorio presentes son: biotita (<10%), arfvedsonita (<18%), esfena (<8%), calcita (<5%), pirocloro (<3%), minerales opacos (<3%), fluorita (<1%), circón y apatito (trazas). El índice de color de las muestras varía desde hololeucocrático (1%) hasta mesocrático (33%)

La **microclina** se presenta con formas tabulares, exhibiendo maclado típico en enrejado y macla de Carlsbad. Estos cristales frecuentemente están pertitizados en patrones de cordones, parches y venas. Son comunes las inclusiones de nefelina, biotita y calcita. Se encuentran en su mayoría limpias, aunque algunos cristales presentan una alteración incipiente a caolín (ver figura 7 A).

La **ortoclasa**, presente en algunas muestras se encuentra altamente pertitizada en cordones y posee abundantes inclusiones de esfena, biotita y nefelina (ver figura 7 B).

Tabla 1. Resumen de los minerales identificados en las secciones delgadas analizadas y sus proporciones. **Kfs:** feldespato alcalino **Ne:** nefelina **Ccn:** cancrinita **Sdl:** sodalita **Bt:** biotita **Arf:** arfvedsonita **Ttn:** esfena **Cal:** calcita **Op:** minerales opacos **Zrn:** circón **Mnz:** monacita **Ap:** apatito **Pcl:** pirocloro y **Fl:** fluorita.

| [%] | Kfs* | Ne | Ccn | Sdl | Bt | Arf | Ttn | Cal | Op | Zrn | Hbl | Mnz | Ap | Pcl | Fl |
|--------------|------|---------------------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|----|-----|----|
| Muestra 1 | 62 | 22 | 5 | | 5 | | | 5 | | Tr | | 1 | | | |
| Muestra 2 | 62 | 20 | 6 | 1 | 10 | Tr | | 1 | Tr | Tr | | | Tr | | |
| Muestra 3 | 60 | 32 | 5 | | 2 | | | Tr | 1 | | | | | | |
| SNSJG 1 | 65 | 28 | 1 | | 5 | | Tr | 1 | Tr | Tr | | | | | |
| SNSJG 2 | 71 | 20 | | | 6 | | | 3 | Tr | | | | | | |
| SNSJG 3 | 72 | 18 | 7 | | 2 | | | 1 | Tr | | | | | | |
| SNSJG 4 | 56 | 24 | | | 3 | 9 | 5 | 1 | 1 | Tr | 1 | | | | |
| SNSJG 5 | 61 | 31 | | | 6 | Tr | 2 | | | | | | | | |
| SNSJG 6 | 66 | 15 | | | 9 | | 8 | Tr | 2 | | | | | | |
| SNSJG 7 | 52 | 31 | | | 9 | | 5 | | 3 | | | | | | |
| SNSJG 8 | 60 | 38 | 1 | | 1 | | | | Tr | | | | | | |
| SNSJG 9 | 58 | 34 | Tr | | 3 | | 1 | Tr | 4 | | | | | | |
| UNG 25171010 | 77 | 15 | | | 5 | 1 | 1 | Tr | 1 | | | | | | |
| UNG 25171138 | 68 | 26 | 2 | 2 | Tr | | | | 2 | | | | | | |
| UNG 2517954 | 68 | 28 | 1 | | 1 | Tr | | | 2 | Tr | | | | | |
| UNG 2517979 | 76 | 14 | | 3 | 4 | | 1 | Tr | 2 | | | | | | |
| LC 1 | 52 | 35 | | | 2 | 7 | Tr | | Tr | Tr | | | | 3 | 1 |
| LC 2 | 29 | 35 | | | 7 | 18 | 5 | 3 | 2 | Tr | | | | | 1 |
| Kfs* | | Feldespato alcalino pertitizado | | | | | | | Tr Trazas | | | | | | |

Por otro lado, no se identifica plagioclasa primaria en las muestras analizadas, siendo restringida a albita en feldespatos alcalinos pertitizados.

La **nefelina** es el feldespatoide dominante con concentraciones entre 14 y 38%. Se presenta como cristales anhedrales a subhedrales (hexagonales) y como inclusiones tanto en microclina como en ortoclasea con desarrollo de microfracturas. Usualmente se encuentra intercrecida en simplectitas con cancrinita, mineral que también ocurre como uno de sus productos de alteración junto con agregados microcristalinos de calcita y sericita. Se diferencia por su carácter óptico (uniáxico negativo), su bajo relieve y sus colores de interferencia grises de primer orden. En las pegmatitas se observan grandes cristales de tonalidades rojizas con inclusiones orientadas de biotita y esfena, lo que produce un efecto de ojo de gato. (ver figuras 7 B, C y J).

La **cancrinita** se presenta como cristales anhedrales intersticiales asociados con calcita y en intercrecimientos con nefelina (simplectitas). Fue reconocida por su bajo relieve, bajos tonos de interferencia (generalmente amarillos a azules de primer orden) y su carácter óptico uniáxico negativo. Particularmente es más abundante en las muestras de grano grueso, alcanzado porcentajes de 7 %. De acuerdo con Gill (2010) la cancrinita está relacionada con fluidos ricos en CO_3^{2-} en las últimas etapas de cristalización (ver figuras 7 B y C).

En algunas secciones delgadas fue identificada **sodalita** en proporciones menores al 3%, exhibiendo habito y alteración similar a la nefelina, fue identificada por su mayor relieve y su carácter isotrópico. Generalmente se encuentra limpia, aunque presenta una leve alteración en agregados microcristalinos de sericita que rellenan sus fracturas (ver figura 7 D).

La **biotita** constituye el principal mineral accesorio de las rocas de la SNSJG. Se presentan como cristales aislados en las rocas con bajo índice de color, incluyendo algunas fases pegmatíticas o formando intercrecimientos con esfena y arfvedsonita. Posee fuerte pleocroísmo ($x=$ dorado pálido y $=$ marrón oscuro) y contienen inclusiones de microclina, minerales opacos, circones y pirocloro, estos últimos produciendo halos pleocroicos. También se encuentran como inclusiones en microclina y nefelina, sin embargo, en estos casos presentan tonalidades verdosas en PPL. Este mineral al igual que la piritita segregan óxidos de Fe a través de microfracturas (ver figuras 7 E y G).

La **calcita** usualmente se encuentra en cristales aislados o asociada con cancrinita (primaria). También, se presenta o como inclusiones en microclina y biotita. Particularmente en la muestra *LC 2* se observa en concentraciones locales semeando texturas globulares.

En la sección delgada *muestra 1* se reconocieron algunos cristales de **monacita** de gran tamaño asociados con

biotita, con formas subhedrales, color rosado pálido, abundantes fracturas y tonos de interferencia amarillos y verdes de segundo orden. (ver figura 7 E).

La **arfvedsonita** es el anfíbol predominante en las muestras analizadas. Fue reconocida en las rocas con mayor índice de color en intercrecimientos con biotita y esfena, y en las pegmatitas de La Cristalina, asociada con nefelina, pirocloro y fluorita. Presenta pleocroísmo de amarillo verdoso a un verde azulado muy oscuro. Por lo general los tonos de interferencia se encuentran enmascarados por el color propio del mineral. A menudo presentan texturas poiquiliticas, con inclusiones de microclina, biotita y esfena (ver figuras 7 F, I y K).

La **esfena** frecuentemente está asociada con minerales opacos (¿ilmenita?) en texturas coronarias o simplectíticas. Se presenta en intercrecimientos con biotita y arfvedsonita o como inclusiones en ortoclasa, nefelina y microclina. Usualmente exhibe formas rómbicas típicas del mineral con macla sencilla o polisintética, aunque se observan algunos cristales subhedrales a anhedrales. (ver figuras 7 F y H). Entre los minerales opacos presentes fue reconocida pirita en cristales anhedrales o exhibiendo secciones cúbicas y rómbicas. La pirita al igual que la biotita segrega óxidos de Fe a través de las microfracturas presentes en la roca.

A diferencia de las fases pegmatíticas presentes en las rocas del Cerro El Capricho, Las pegmatitas de la quebrada La Cristalina (muestra LC 1) presentan

accesorios menos comunes como el **pirocloro**. Este mineral $[(Na,Ca)_2Nb_2O_6(OH,F)]$, común en rocas de afinidad alcalina y carbonatitas alrededor del mundo, no había sido reportado hasta el momento en rocas de la SNSJG. Fue identificado por su alto relieve, sus formas euédricas (octaédricas), su color rojizo, el desarrollo de halos pleocroicos y su carácter metamórfico siendo confirmada su presencia por Espectroscopia RAMAN. Se presenta como inclusiones en arfvedsonita y biotita, como cristales aislados o en agregados de menor tamaño.

En dichas pegmatitas también se observa **fluorita** que aparece usualmente como pequeñas manchas violáceas, aunque se encuentran algunos cristales con alto relieve exhibiendo sus direcciones de clivaje a 90° (ver figuras 7 K y L).

4.1.3. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA

En la figura 8 se observa el diagrama de clasificación petrográfica QAPF propuesto por Streckeisen (1976) donde las muestras son clasificadas como sienitas feldespatoídicas, en este caso, sienitas nefelinicas.

4.2. ESPECTROSCOPIA RAMAN

En la muestra LC 1 con textura pegmatítica se realizó un análisis de espectroscopia RAMAN con el fin de confirmar la identificación de pirocloro. El espectro fue medido utilizando un aumento de 50x y una línea de excitación de 532 nm al 50% (ver figura 9).

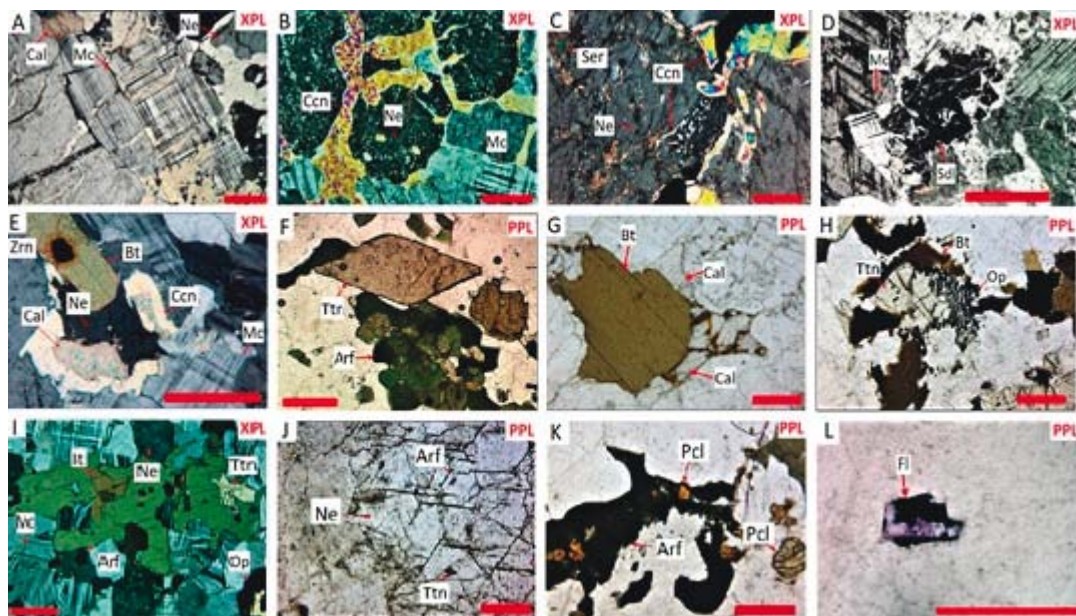


Figura 7. A. Microclina pertitizada B. Nefelina y cancrinita intersticial (primaria) C. Simplectitas (nefelina y cancrinita) D. Sodalita E. Circón metamórfico incluido en biotita y coronas de calcita y cancrinita F. Esfena euédrica G. Biotita segregando óxidos de Fe H. Simplectitas (esfena y min. opacos) I. Textura poiquilitica de biotita, microclina y esfena en arfvedsonita J. Nefelina con inclusiones orientadas de Arfvedsonita y esfena K. Inclusiones de pirocloro en arfvedsonita L. Fluorita. Escala gráfica: 0.5 mm.

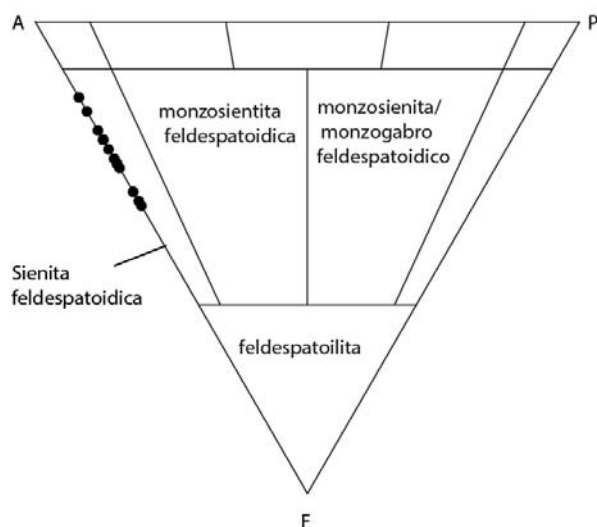


Figura 8. Clasificación petrográfica de las muestras analizadas con el diagrama QAPF (Streckeisen, 1976).

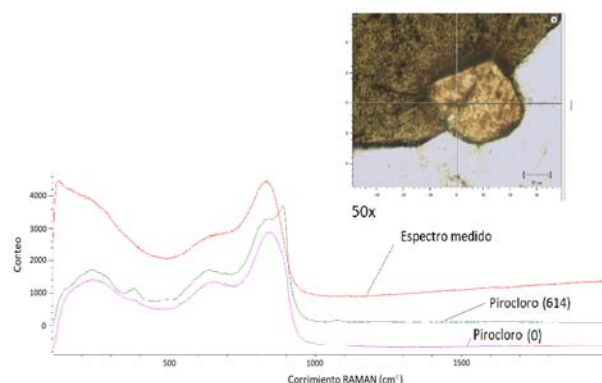


Figura 9. Microfotografía y espectro RAMAN de un cristal de pirocloro incluido en arfvedsonita en la sección delgada LC 1 (pegmatita).

4.3. GEOQUÍMICA

En la tabla 2 se presentan los resultados de los análisis químicos realizados por medio del método de Fluorescencia de Rayos X para 16 muestras colectadas en el Cerro El Capricho y 3 muestras de la quebrada La Cristalina. Las concentraciones de los óxidos de elementos mayores se presentan en porcentaje y los elementos menores y trazas en ppm. El Fe total fue calculado como Fe_2O_3 .

4.3.1. CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA

Al graficar los datos obtenidos en el diagrama de K_2O vs. SiO_2 propuesto por Peccerillo y Taylor (1976) se observa que las muestras pertenecen a la serie shoshonítica. Además, resalta la presencia de dos grupos claramente diferenciables respecto a su concentración de K_2O , entre 5 y 7% y entre 8 y 10% (ver figura 10 A). Además, utilizando los diagramas de SiO_2 vs. $\text{FeO}_t / (\text{FeO}_t$

+ MgO) y ASI (Alumina Saturation Index) vs. A/NK propuestos por Frost *et. al.* (2001), se puede observar que las muestras analizadas del Cerro El Capricho y La Cristalina presentan una afinidad peralcalina ferrosa (ver figuras 11 A y B).

Para su clasificación geoquímica se utilizaron los minerales normativos (CIPW) calculando y graficando los valores de minerales máficos (M), nefelina (Ne) y feldespato alcalino (A) en el diagrama triangular propuesto por Sarantsina y Shinkarev (1967) citado por Sørensen (1974), donde se observa que la mayoría de las muestras son clasificadas como sienitas nefelínicas, además de juvitas y malignita en el caso de la muestra LC 2 que constituye el primer reporte de rocas mesocráticas pertenecientes a la SNSJG (ver figura 12).

4.4. INTERPRETACIÓN PETROGENÉTICA

Para correlacionar los análisis geoquímicos reportados en rocas de la SNSJG e identificar patrones que contribuyan a la interpretación petrogenética de esta unidad, se utilizó un total de 55 análisis de los afloramientos aislados reportados en la Serranía La Lindosa y los Cerros de Jordán y El Capricho publicados por Arango *et. al.* (2011), García (2015), Campos (2017), además de los datos de los del presente trabajo.

4.4.1. ÓXIDOS DE ELEMENTOS MAYORES

Se graficaron las concentraciones de óxidos de elementos mayores vs. la concentración de SiO_2 para poder observar las tendencias relacionadas con posibles procesos de cristalización y fraccionamiento en su génesis. En la mayoría de los diagramas binarios se observan marcadas tendencias lineales que reflejan correlaciones positivas y negativas de los elementos respecto al contenido de SiO_2 .

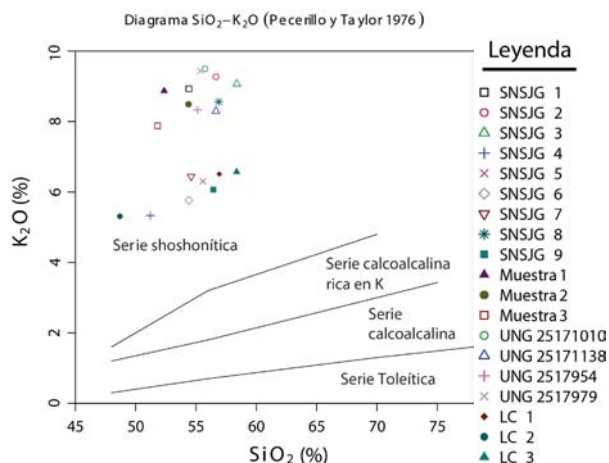


Figura 10. Diagrama SiO_2 vs. K_2O (Peccerillo y Taylor, 1976) donde se observa que las muestras pertenecen a la serie shoshonítica

Tabla 2. Resultados de análisis geoquímicos utilizando el método de Fluorescencia de Rayos X para 15 muestras del Cerro El Capricho y 3 muestras de la quebrada La Cristalina (LC)

| [%] | SNSJG | | | | | | | | | Muestra | | | UNG 2517 | | | | LC | | |
|----------------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | -1010 | -1138 | -954 | -979 | 1 | 2 | 3 |
| SiO ₂ | 54.41 | 56.65 | 58.38 | 51.21 | 55.57 | 54.41 | 54.60 | 56.88 | 56.44 | 52.36 | 54.38 | 51.82 | 55.75 | 56.65 | 55.13 | 55.36 | 56.93 | 48.69 | 58.37 |
| Al ₂ O ₃ | 21.29 | 19.21 | 21.02 | 22.30 | 22.79 | 21.84 | 21.88 | 22.12 | 21.36 | 21.38 | 21.54 | 23.92 | 20.83 | 21.92 | 22.14 | 21.06 | 21.98 | 18.17 | 20.42 |
| K ₂ O | 8.93 | 9.27 | 9.07 | 5.33 | 6.30 | 5.76 | 6.44 | 8.56 | 6.07 | 8.87 | 8.49 | 7.88 | 9.50 | 8.30 | 8.33 | 9.44 | 6.51 | 5.31 | 6.57 |
| Na ₂ O | 8.32 | 6.45 | 7.94 | 10.99 | 10.51 | 10.04 | 9.99 | 8.43 | 9.92 | 8.03 | 8.93 | 11.56 | 7.72 | 8.94 | 9.62 | 7.50 | 10.78 | 12.30 | 9.68 |
| Fe ₂ O ₃ * | 4.20 | 6.29 | 2.61 | 4.20 | 3.27 | 3.63 | 3.21 | 2.75 | 3.12 | 3.68 | 3.52 | 3.54 | 4.11 | 2.60 | 3.66 | 4.27 | 2.14 | 5.61 | 3.11 |
| CaO | 1.16 | 0.55 | 0.21 | 2.80 | 0.24 | 1.42 | 1.08 | 0.39 | 0.76 | 4.05 | 1.78 | 0.35 | 0.98 | 0.76 | 0.25 | 1.21 | 0.68 | 4.90 | 0.87 |
| TiO ₂ | 0.53 | 0.74 | 0.24 | 1.08 | 0.44 | 0.88 | 0.96 | 0.29 | 0.79 | 0.48 | 0.45 | 0.39 | 0.48 | 0.28 | 0.34 | 0.54 | 0.17 | 0.60 | 0.22 |
| MgO | 0.31 | 0.29 | 0.06 | 0.50 | 0.20 | 0.39 | 0.39 | 0.10 | 0.31 | 0.26 | 0.28 | 0.04 | 0.20 | 0.06 | 0.05 | 0.17 | - | 0.23 | 0.06 |
| P ₂ O ₅ | 0.01 | 0.0053 | 0.0073 | 0.23 | 0.02 | 0.12 | 0.11 | 0.05 | 0.04 | 0.28 | 0.05 | 0.01 | - | 0.04 | 0.01 | - | 0.02 | 0.22 | 0.03 |
| MnO | 0.13 | 0.21 | 0.07 | 0.19 | 0.12 | 0.14 | 0.11 | 0.14 | 0.1 | 0.18 | 0.12 | 0.08 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.15 | 0.11 | 0.41 | 0.17 |
| [ppm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sr | 1600 | 1200 | 1400 | 5000 | 2700 | 6300 | 6100 | 1300 | 5400 | 2300 | 2100 | 1500 | 1800 | 1300 | 1200 | 1900 | 900 | 1000 | 800 |
| Cl | 800 | 600 | 1000 | 700 | 600 | 900 | 900 | 700 | 700 | 700 | 600 | 1000 | 600 | 1100 | 1200 | 500 | 700 | 6000 | 1900 |
| Ba | 700 | 600 | 500 | 1800 | 1200 | 3800 | 3200 | 400 | 3100 | 600 | 700 | 600 | - | 600 | 300 | - | 1300 | 1700 | 800 |
| Ce | 500 | - | - | 700 | 500 | 700 | 700 | - | - | - | - | 300 | - | - | - | - | 600 | 800 | 100 |
| Rb | 300 | 400 | 300 | 93 | 100 | 100 | 100 | 300 | 100 | 300 | 300 | 200 | 300 | 300 | 300 | 300 | 200 | 200 | 300 |
| SO ₃ | 200 | 200 | 200 | 2600 | 300 | 1300 | 600 | 200 | 900 | 300 | 200 | 200 | 200 | 200 | 600 | 100 | 100 | 500 | 300 |
| Zr | - | - | 200 | 600 | - | 600 | 600 | - | 500 | - | 400 | 200 | - | - | - | - | 800 | 600 | - |
| Zn | 100 | 200 | 78 | 100 | 100 | 100 | 100 | 64 | 88 | 72 | 85 | 73 | 83 | 97 | 98 | 78 | 92 | 100 | 100 |
| Nb | 96 | 200 | 73 | 200 | 22 | 100 | 100 | 91 | 86 | 69 | 100 | 41 | 24 | 75 | 35 | 25 | 1900 | 300 | 300 |
| Ni | 57 | - | 26 | - | - | - | - | - | - | - | 25 | 34 | 26 | 68 | 27 | 0 | - | - | - |
| Ga | 32 | 22 | 26 | - | - | 29 | - | 27 | 26 | 23 | 29 | 27 | 0 | 25 | 24 | 12 | - | - | - |
| Y | 2800 | - | - | 23 | - | 16 | 18 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 100 | - |
| V | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 100 | - | 34 | - | - | - | - | - |
| Cr | - | - | - | 89 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 85 |
| U | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 200 | - | - |
| Th | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 66 | 83 | - |
| La | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 700 | - |
| Nd | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 400 | - |
| Br | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 52 | - |

* Fe total calculado como Fe₂O₃

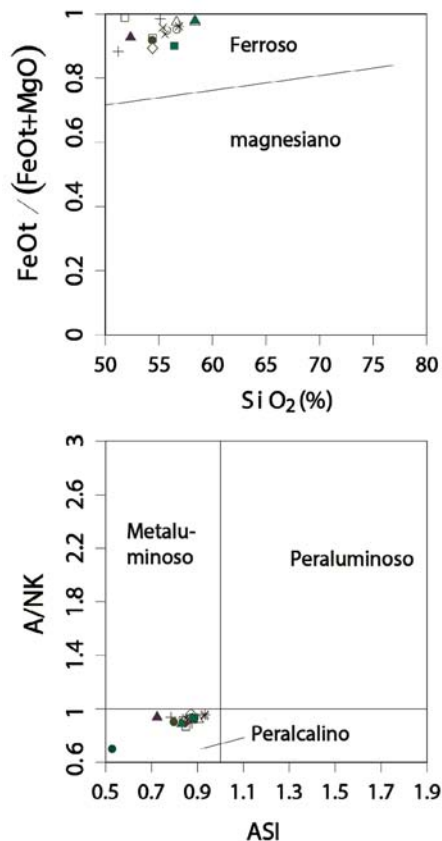


Figura 11. Diagramas A. SiO₂ vs. FeOt/(FeOt+MgO), B. ASI vs. A/NK (Frost *et al.*, 2001)). Las muestras analizadas pueden ser clasificadas como peralcalinas ferrosas. Símbolos como en figura 10.

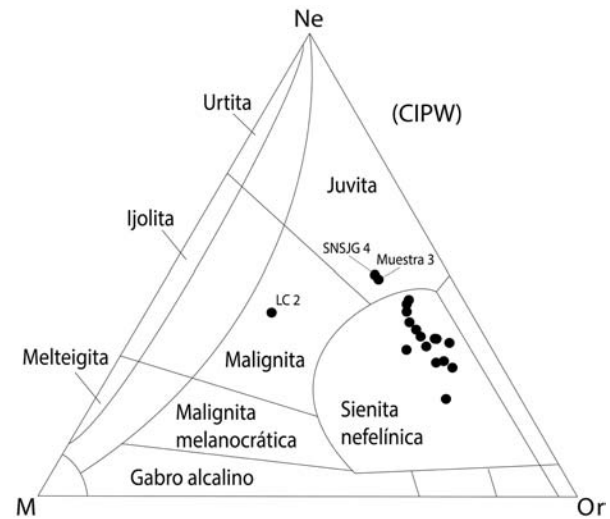


Figura 12. Diagrama de clasificación M-Ne-A propuesto por Sarantsina y Shinkarev (1967) citado por Sørensen (1974) M: Minerales máficos Ne: Nefelina A: Feldespato alcalino.

En los diagramas de MnO y Fe₂O₃ (ver figura 13) se evidencia una correlación negativa con respecto al aumento de SiO₂, tendencia igualmente observada en los diagramas de Al₂O₃, Na₂O y CaO. Estas tendencias reflejan cómo dichos elementos son incorporados en las fases minerales de relativa mayor temperatura tales como arfvedsonita, esfena y biotita, sugiriendo un proceso de cristalización fraccionada continuo correspondiente a un evento comagmático único.

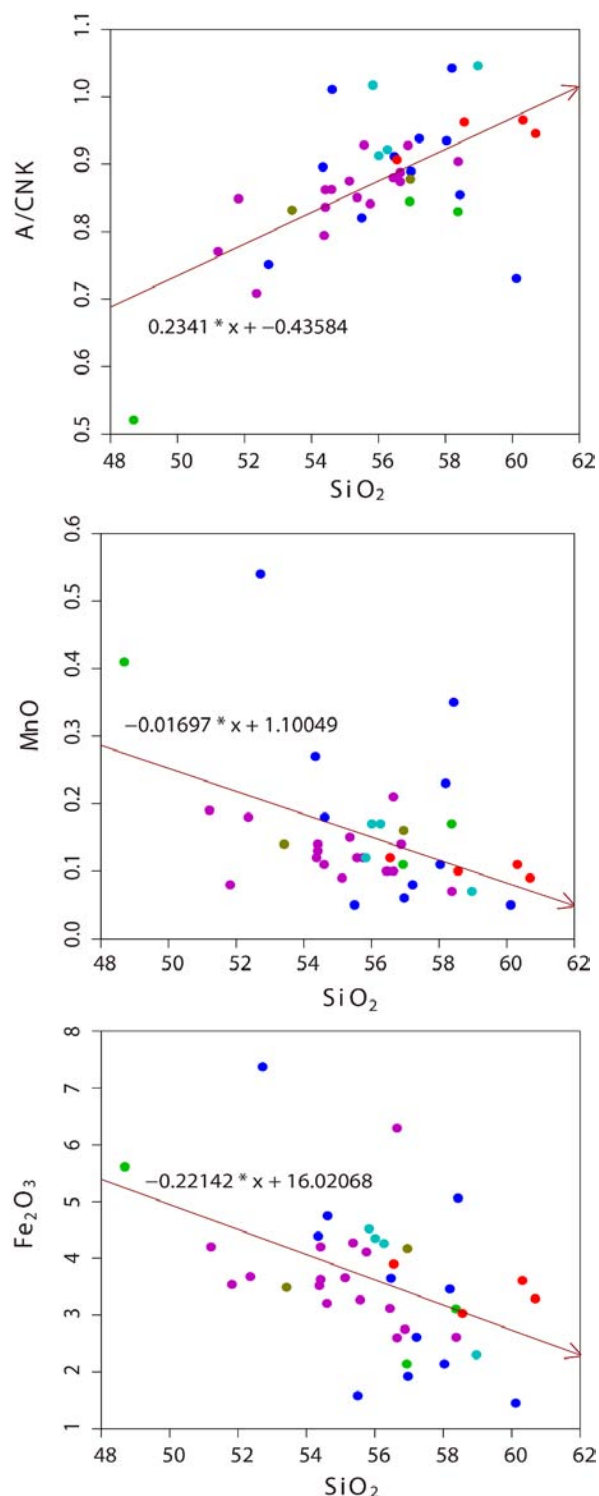


Figura 13. Diagramas A. A/CNK B. MgO y C. Fe_2O_3 vs. SiO_2 para rocas de la SNSJG en los distintos afloramientos reportados. Las tendencias lineales observadas sugieren un único evento comagmático en su génesis. Flecha indica dirección de fraccionamiento.

4.4.2. DIAGRAMAS TIPO SPIDER

Los diagramas multielementales tipo Spider fueron utilizados para observar las variaciones que existen

entre la composición de las muestras de la SNSJG analizadas en este trabajo y aquellas estudiadas en las otras localidades reportadas, con parámetros de normalización del Manto primordial (McDonough y Sun, 1995) y de la Corteza Superior Continental (Taylor y McLennan, 1995) que corresponden a dos posibles fuentes del magma parental (ver figura 14).

En este tipo de diagramas también se identifican los enriquecimientos relativos en ciertos elementos de las muestras analizadas. En primer lugar, resaltan las fuertes anomalías positivas de U, Th y Nb en las muestras con texturas pegmatíticas de La Cristalina, elementos contenidos principalmente en la estructura de óxidos de elementos pesados como el pirocloro; una anomalía positiva de Zr incluido en fases minerales como circón, pirocloro y esfena; un fuerte enriquecimiento relativo de Y en la muestra SNSJG 1 que contiene monacita, y anomalías positivas de La, Nd y Sr en la muestra LC 2 clasificada como malignita, incluidos en las estructuras de arfvedsonita y esfena, minerales abundantes en la muestra.

Además de dichos enriquecimientos, se observan importantes anomalías negativas de Ba que reflejarían la cristalización de feldespato alcalino y la fuerte anomalía negativa en P relacionada con la cristalización temprana de minerales fosfáticos (apatito o monacita) en el sistema, que hasta el momento han sido reportados en muy bajas proporciones.

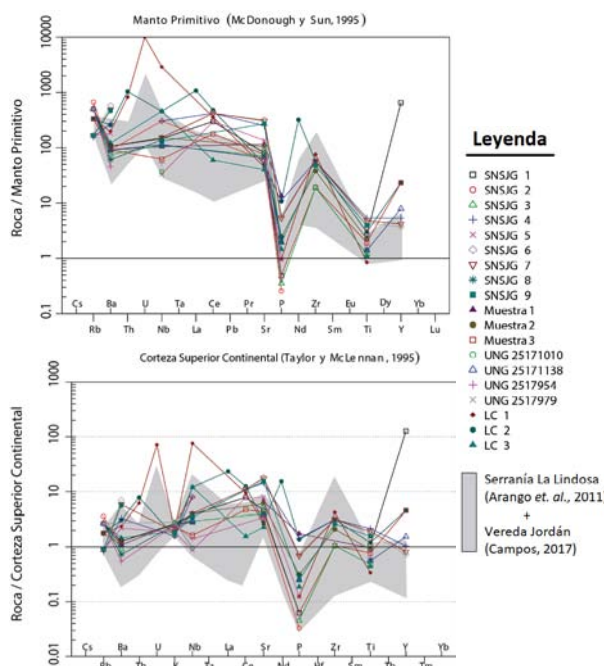


Figura 14. Diagramas tipo *Spider* normalizados con respecto a. Manto Primordial (McDonough y Sun, 1995) y B. Corteza Superior Continental (Taylor y McLennan, 1995). Como sombra análisis publicados por Arango *et al.* (2011) y Campos (2017) de rocas aflorantes en la Serranía La Lindosa y la Vereda Jordán respectivamente.

Del mismo modo se observa que las muestras de las SNSJG, en general, presentan patrones paralelos que a su vez podrían reflejar los procesos de cristalización y fraccionamiento de un evento comagmático único. Además, resalta la alta diferenciación con respecto al Manto Primordial y una clara afinidad con la Corteza Superior Continental, lo cual sugiere que en su génesis existió una fuerte interacción con materiales de la corteza continental.

5. DISCUSIÓN

En la reconstrucción paleogeográfica para 600 Ma correspondiente al límite Ediacara-Cámbrico según Cordani *et. al.* (2010) se interpreta la apertura del Océano Iapetus en la esquina noroccidental del Cratón Amazónico, evento aparentemente relacionado con el origen de las rocas de la SNSJG (ver figura 15). Los diferentes análisis geoquímicos practicados en rocas de la SNSJG de edad Ediacara (~577 Ma) indican que estas rocas fueron generadas en un ambiente de magmatismo intraplaca continental. Aunque aún existen dudas respecto al origen de las rocas de la SNSJG, la presencia de extensos lineamientos NW-SE que siguen la tendencia de las geoformas de la SNSJG y las comunes texturas de deformación dúctil, podrían sugerir una relación genética con zonas de cizalla, posiblemente vinculadas al inicio de la apertura del Océano Iapetus. Esto podría explicar la alta diferenciación respecto al Manto Primordial y la aparente interacción con materiales de la corteza continental en su génesis.

Además, las notables similitudes texturales, mineralógicas y geoquímicas observadas con rocas sobresaturadas en SiO₂ de 1.2 Ga reportadas en el área, correlacionables con la Cuarzomonzonita de Iteviare

y con el evento K'Mudku, podrían vincular su origen con la evolución de dicho cinturón de cizallamiento a finales del Neoproterozoico. Sin embargo, se requieren descripciones más completas de dichos reportes en cuanto a su continuidad y el tipo de contactos que puedan tener con las rocas de la SNSJG.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las rocas aflorantes en El Capricho y La Cristalina poseen texturas faneríticas mesogranulares, grosogranulares y ocasionalmente pegmatíticas. En algunas muestras se observan texturas levemente inequigranulares acompañadas de una orientación preferencial. Dicha textura, ha sido observada en las muestras foliadas sobresaturadas en SiO₂ reportadas por García (2015) y en rocas de la Cuarzomonzonita de Iteviare (Vesga y Castillo, 1972) se interpreta como resultado de deformación por cizalla en estado sub-sólido.
- Las muestras son clasificadas como sienitas nefelínicas con índices de color que varían desde hololeucocrático (1%) hasta mesocrático (33%), presentan feldespatos alcalinos (Mc y Or), feldespatoides (Ne, Ccn y Sdl) y minerales accesorios como biotita (< 11%), arfvedsonita (<16%), esfena (<8%) y calcita (<6%). Las rocas con textura pegmatítica de La Cristalina contienen accesorios menos comunes como pirocloro (3%) y fluorita (1%) que parecen reflejar una etapa magmática tardía – hidrotermal saturada en F, lo que pudo facilitar la movilidad de elementos pesados como en Nb y por lo tanto la cristalización de pirocloro.

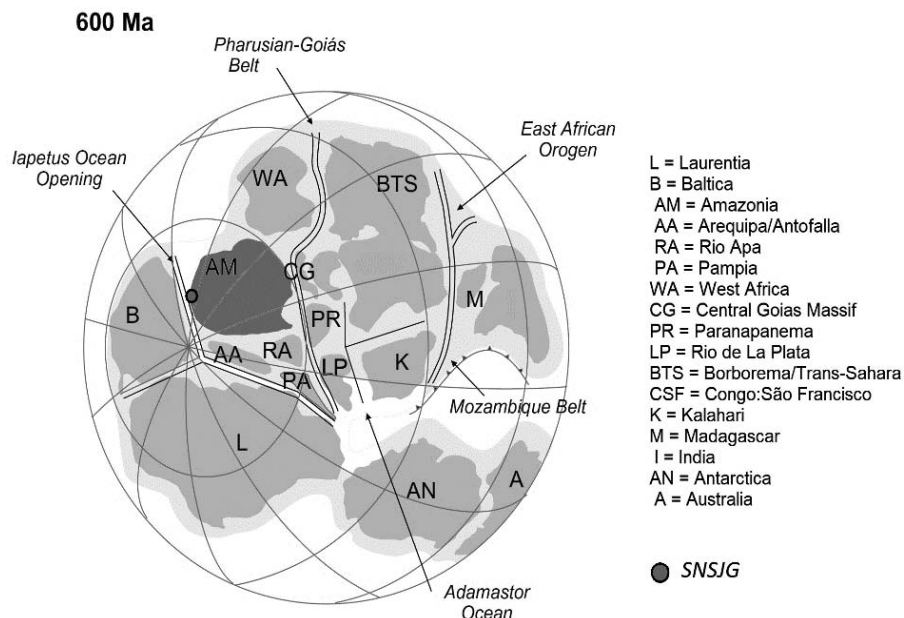


Figura 15. Reconstrucción paleogeográfica presentada por Cordani *et. al.* (2010) para 600 Ma, ilustrando la apertura del Océano Iapetus y su posible relación con las rocas de la SNSJG.

- Geoquímicamente se concluye que las muestras analizadas son peralcalinas ferrosas y pertenecen a la serie shoshonítica. Utilizando el cálculo de minerales normativos (CIPW) fueron clasificadas como sienitas nefelínicas, juvitas y malignitas (primer reporte).
- Los patrones observados en los diagramas de óxidos de elementos mayores vs. SiO_2 , así como en los diagramas tipo Spider de los análisis geoquímicos reportados hasta el momento, de rocas de la SNSJG en El Capricho, Jordán, Las Delicias, La Pizarra y La Cristalina, permiten afirmar que su génesis puede estar asociada con un evento comagmático único en ambiente de magmatismo intraplaca continental. Además, se observa una alta diferenciación respecto a los patrones para el manto primordial y una aparente afinidad con patrones de la Corteza Superior continental, lo que podría reflejar una alta interacción con materiales de la corteza continental en su génesis.
- Se identifican enriquecimientos en Nb, U y Th en las muestras pegmatíticas que contienen pirocloro; anomalías positivas en Zr, Y asociado con monacita y La, Nd, Sr en la muestra clasificada como malignita (IC:33% con Arf+Ttn+Op). Además, se observan anomalías negativas en Ba concordantes con la cristalización de feldespato alcalino y P reflejando la posible cristalización temprana de minerales fosfáticos en el sistema.
- Se plantea que el magmatismo que dio origen a las rocas de la SNSJG, en los distintos afloramientos aislados reportados hasta la fecha, fue resultado de un evento comagmático único, en un ambiente intraplaca continental asociado con la apertura del Océano Iapetus en el margen occidental del Cratón Amazónico a finales del Neoproterozoico.
- la presencia de numerosos lineamientos con dirección NW-SE que siguen la tendencia de las geoformas de la SNSJG y las comunes texturas de deformación dúctil en estado sub-sólido, podrían sugerir una relación genética con zonas de cizalla, posiblemente vinculadas al inicio de la apertura del Océano Iapetus. Esto podría explicar la alta diferenciación respecto al Manto Primordial y la aparente interacción con materiales de la corteza continental en su génesis.
- Se recomienda describir en detalle los tipos de deformación presentes en las rocas de la SNSJG y la Cuarzomonzonita de Iteviare (1.2 Ga), así como obtener datos estructurales in situ de la foliación magmática para esclarecer si existe o no

una relación genética con la evolución del cinturón de cizallamiento K'Mudku (1.2 Ga) a finales del Neoproterozoico.

- Se sugiere realizar petrografía de luz reflejada para identificar los minerales opacos encontrados, así como análisis de Microscopía Electrónica para obtener datos de la composición exacta de los minerales reconocidos petrográficamente. Además, análisis de REE en las rocas del Jordán y El Capricho que permitirían complementar las ideas de la evolución del sistema magmático de la SNSJG.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Colombia y al Departamento de Geociencias, en especial a los profesores Gloria Inés Rodríguez, Jimmy Fernández y Juan Manuel Moreno, quienes apoyaron con sus comentarios y consejos para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

- ARANGO, M. I., ZAPATA GARCÍA, G., ÁLVARO, N., GIRALDO, M., BERMÚDEZ, J., Y ALBARRACÍN, H.** (2011). *Geología y geoquímica de la plancha 350 San José del Guaviare*. Ministerio de Minas y Energía. Servicio Geológico Colombiano.
- ARANGO, M. I., ZAPATA GARCÍA, G., Y MARTENS, U.** (2012). Caracterización petrográfica, geoquímica y edad de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare. *Boletín de Geología*, 34(1).
- BONILLA PÉREZ, A.** (2013). Petrografía, geoquímica e geocronología do Granito De Parguaza na Colombia.
- BOORDER, H. D.** (1980). Contribución preliminar al estudio de la estructura geológica de la Amazonía colombiana. *Rev. CIAF*, 5(1):49–96.
- CAMPOS, H.** (2017). Caracterización geoquímica y mineralógica de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare y minerales asociados con elementos raros (ER). Trabajo de grado. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá
- CORDANI, U. G., FRAGA, L. M., REIS, N., TASSINARI, C. C., & BRITO-NEVES, B. B.** (2010). On the origin and tectonic significance of the intra-plate events of Grenvillian-type age in South America: A discussion. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(1), 143-159.
- CORDANI, U. G. Y SATO, K.** (1999). Crustal evolution of the South American Platform based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. *Episodes-Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences*, 22(3):167–173.
- COSTA, J. Y HASUI, Y.** (1997). Evolucao geologica da Amazonia. *Contribuicoes a geologia da Amazonia*, 1:15.

- ENGLER, A. (2009). The geology of South America. *Geology*, IV:373.
- FÉMÉNIAS, O., COUSSAERT, N., BRASSINNES, S., Y DEMAÏFFE, D. (2005). Emplacement processes and cooling history of layered cyclic unit ii-7 from the Lovozero Alkaline Massif (Kola peninsula, Russia). *Lithos*, 83(3-4):371–393.
- FROST, B. R., BARNES, C. G., COLLINS, W. J., ARCULUS, R. J., ELLIS, D. J., Y FROST, C. D. (2001). A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of petrology*, 42(11):2033–2048.
- GALVIS, J., HUGUETT, A., Y RUGE, P. (1979). Geología de la Amazonía Colombiana. *Bol. Geol. INGEOMINAS*, 22(3):3–86.
- GANSSE, A. (1954). *The Guiana Shield, S. America, Geological Observations*.
- GARCÍA, D. (2015). Petrografía y Geoquímica de las Rocas Aflorantes al Sur de San José del Guaviare. Trabajo de grado. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- GERALDES, M. C., TAVARES, A. D., Y DOS SANTOS, A. C. (2015). An overview of the Amazonian Craton evolution: insights for paleocontinental reconstruction. *International Journal of Geosciences*, 6(09):1060.
- GILL, R. (2010). *Igneous rocks and processes: a practical guide*. John Wiley & Sons.
- GÓMEZ TAPIAS, J., MONTES RAMÍREZ, N., NIVIA GUEVARA, L., Y DIEDERIX, H. (2015). Mapa geológico de Colombia 2015.
- IGAC (1999). *Paisajes fisiográficos de la Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- ISAZA, J. A. L. Y CRAMER, T. (2012). Ambiente geológico del Complejo Mitú y perspectivas de ocurrencias minerales de Niobio y Tantalio en el territorio colombiano. *Geología Colombiana*, 37(2).
- JANOUSEK, V., FARROW, C., Y ERBAN, V. (2006). Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing geochemical data toolkit (gcdkit). *Journal of Petrology*, 47(6):1255–1259.
- LÓPEZ, J., KHURAMA, S., BERNAL, L., Y CUELLAR, M. (2007). El Complejo Mitú: una nueva perspectiva. En *Memorias XI Congreso Colombiano de Geología, CD ROM. Bucaramanga, Santander*.
- MCDONOUGH, W. F. Y SUN, S.-S. (1995). The composition of the earth. *Chemical geology*, 120(3-4):223–253.
- MEJIA, D. M. J., JULIANI, C., Y CORDANI, U. G. (2006). P-T-t conditions of high-grade metamorphic rocks of the Garzon Massif, Andean basement, SE Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4):322–336.
- PABA, F. Y VAN DER HAMMEN, T. (1960). Sobre la geología de la parte sur de La Macarena. *Bol. Geol. VI*, 1, 3:7–30.
- PECCERILLO, A. Y TAYLOR, S. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to mineralogy and petrology*, 58(1):63–81.
- PINSON, JR., W. H., HURLEY, P. M., MENCHER, E., Y FAIRBAIRN, H. W. (1962). K-Ar and Rb-Sr ages of biotites from Colombia, South America. *GSA Bulletin*, 73(7):907.
- PRIEM, H., ANDRIESEN, P., BOELRIJK, N., HEBEDA, E., VERDURMEN, E., VERSCHURE, R., BOORDER, H. D., Y HUGUETT, A. (1982). Geochronology of the Precambrian in the Amazonas region of southeastern Colombia (western Guiana Shield). *Geologie en Mijnbouw*, 61(3):229–242.
- PRIEM, H., KROONENBERG, S., BOELRIJK, N., Y HEBEDA, E. (1989). Rb-Sr and K-Ar evidence for the presence of a 1.6 Ga basement underlying the 1.2 Ga Garzón-Santa Marta granulite belt in the Colombian Andes. *Precambrian research*, 42(3-4):315–324.
- RODRIGUEZ, G., ZAPATA, G., VELÁSQUEZ, M., COSSIO, U., Y LONDOÑO, A. (2012). Geología de las planchas 367 Gigante, 368 San Vicente del Caguán, 389 Timaná, 390 Puerto Rico, 391 Lusitania (parte noroccidental) Y 414 El Doncello. INGEOMINAS.
- ROSSONI, M. B., NETO, A. C. B., SOUZA, V. S., MARQUES, J. C., DANTAS, E., BOTELHO, N. F., . & PEREIRA, V. P. (2017). U-Pb zircon geochronological investigation on the Morro dos Seis Lagos Carbonatite Complex and associated Nb deposit (Amazonas, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 80, 1-17.
- SANTOS, J., HARTMANN, L., GAUDETTE, H., GROVES, D., MCNAUGHTON, N., Y FLETCHER, I. (2000). A new understanding of the provinces of the Amazonian Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3:453–488.
- SANTOS, J. D., HARTMANN, L. A., FARIA, M. D., RIKER, S. R., SOUZA, M. D., ALMEIDA, M. E., Y MCNAUGHTON, N. J. (2006). A compartimentacao do Craton Amazonas em provincias: avancos ocorridos no período 2000-2006. *Simpósio de geologia da Amazonia*, 9:2006.
- SØRENSEN, H. (1974). Alkaline rocks.
- STRECKEISEN, A. (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth-science reviews*, 12(1):1–33.
- SUN, S.-S. Y MCDONOUGH, W.-S. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1):313–345.

- TASSINARI, C. C. G.** (1996). *O Mapa Geocronológico do Craton Amazonico no Brasil: revisao dos dados isotópicos*. Tesis doctoral, Universidad de Sao Paulo.
- TAYLOR, S. R. Y MCLENNAN, S. M.** (1995). The Geochemical Evolution of the Continental Crust. *Reviews of Geophysics*, 33(2):241–265.
- TRUMPY, D.** (1943). El pre-Cretáceo de Colombia. *Instituto Colombiano de Petróleos. Estudio Técnico*, 9:1–15.
- VESGA, C. J. Y CASTILLO, L. E.** (1972). *Reconocimiento geológico y geoquímico preliminar del Río Guaviare, entre la confluencia con los ríos Ariari e Iteviare*. Ministerio de Minas y Petróleos.
- VRIESENDORP, C., PITMAN, N., ALVIRA REYES, D., SALAZAR, A., BOTERO, R., ARCINIEGAS, A., DE SOUZA, L., DEL CAMPO, A., STOTZ, D., WACHTER, T., RAVIKUMAR, A., Y PEPLINSKI, J.** (2018). *Rapid Biological and Social Inventories Report 29 Colombia: La Lindosa, Capricho, Cerritos*. The Field Museum, Chicago.