

**Cratón Amazónico como posible origen de la ocurrencia aurífera tipo placer en el Oriente  
Colombiano**

**Amazonian Craton as a possible origin of the placer type gold occurrence in the Colombian  
East**

**Autor:**

**Nicolás Restrepo Rios**

**Asesor:**

**Prof. Ph. D. Diego Felipe Gómez Gutiérrez**

**Trabajo de grado para optar por el título de geólogo**

**Universidad EAFIT  
Departamento de Ciencias de la Tierra  
Medellín  
2022**



## Contenido

Resumen .....	4
Abstract .....	4
1. Introducción .....	5
1. Generalidades .....	7
<b>1.1 Pregunta investigación.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Hipótesis .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Objetivo general .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Objetivos específicos.....</b>	<b>7</b>
2. Zona de estudio .....	8
3. Marco teórico .....	9
3.1 Ambientes genéticos para depósitos de Au.....	9
3.2 Provincias geocronológicas.....	10
3.3 Antecedentes del conocimiento del Cratón Amazónico en su límite noroccidental del continente suramericano .....	11
4. Metodología .....	14
5. Resultados .....	14
5.1 Geología.....	14
5.1.1 Complejo Mitú.....	14
5.1.2 Formación Tunuí .....	16
5.1.3 Granito de Parguaza.....	16
5.1.4 Complejo Guaviare.....	17
5.1.5 Formación Piraparaná.....	18
5.1.6 Sienita Nefelínica de San José del Guaviare .....	18
5.2 Geocronología U - Pb .....	20
5.3 Ambientes genéticos de formación .....	22
6. Discusión.....	23
7. Conclusiones y recomendaciones .....	26
Referencias .....	28

Figura 1. Ríos de la Amazonía colombiana con presencia de minería ilegal en el 2020, que muestran de forma indirecta las manifestaciones auríferas secundarias, ya que la región no cuenta con cartografía. Fuente GAIA Amazonas. ....	6
Figura 2. Localización de la zona de estudio. Fuente Gómez et al., (2020) GDB Mapa Geológico de Colombia. ....	8
Figura 3. Provincias geocronológicas. Modificado de Bonilla et al., (2021). ....	11
Figura 4. Flujo diagrama planteado para la elaboración de esta investigación. ....	14
Figura 5. Estratigrafía de las unidades Proterozoicas estudiadas en esta investigación. Fuente Kroonenberg (2018) y Cohen et al. (2018). ....	15
Figura 6. Rangos de edades geocronológicas U - Pb compiladas. Fuente Cordani et al. (2016), Ibáñez et al. (2011 y 2014), Bonilla et al. (2021), Maya et al. (2018), Arango et al. (2012), Veras et al. (2018), Tassinari et al. (1996), Santos et al. (2000 y 2003), Ibáñez (2014), Gaudette y Olszewski (1985), Priem et al. (1982), Rubio et al. (2014). ....	21
Figura 7. Esquema ambientes de formación del oro. Fuente Geologiaweb. ....	26

Tabla 1. Antecedentes del Cratón Amazónico en Colombia. Fuente propia. ....	13
Tabla 2. Asociaciones minerales de las unidades Proterozoicas, distinguidas por minerales principales, de alteración y accesorios. Fuente Maya et al. (2018), Rincón y Concha (2018), Arango et al. (2011), Bonilla et al. (2021), Rodríguez et al. (2011), Kroonenberg (2019), García et al. (2011), Galvis et al. (1979). ....	20
Tabla 3. Ambientes de formación interpretados por otros autores de las unidades estudiadas. Fuente Bonilla et al. (2021), Kroonenberg (2019), Rincón y Concha (2018), Maya et al. (2018), Veras et al. (2018), Cordani et al. (2016), Ibáñez (2014), Rubio et al. (2014), Ibáñez et al. (2014 y 2011), Arango et al. (2012 y 2011), Rodríguez et al. (2011), García et al. (2011), Santos et al. (2000 y 2003), Tassinari et al. (1996), Gaudette y Olszewski (1985), Priem et al. (1982), Galvis et al. (1979). ....	22

**Anexo 1.** Mineralogía a detalle

**Anexo 2.** Geocronología a detalle Complejo Mitú

**Anexo 3.** Geocronología a detalle Fm Tunui

**Anexo 4.** Geocronología a detalle del Granito de Parguaza

**Anexo 4.** Geocronología a detalle Complejo Guaviare

**Anexo 5.** Geocronología a detalle SNSJG

**Anexo 6.** Ambientes genéticos de formación a detalle

## **Resumen**

Mediante un trabajo exhaustivo de recopilación de datos mineralógicos, geoquímicos, geocronológicos de estudios previos, junto con la recolección de interpretaciones geológicas realizadas en las rocas del Proterozoico en el suroriente colombiano, se realiza una evaluación preliminar a cerca de la posibilidad de que estas unidades de roca puedan albergar depósitos minerales de oro que se hayan hospedado durante las primeras etapas de formación de estos cuerpos, para identificar posibles fuentes primarias que estén aportando las manifestaciones de oro secundario en placeres en la riveras de los ríos.

## **Abstract**

Through a complete work of collecting mineralogical, geochemical, geochronological data from previous studies, together with the compilation of geological interpretations made in Proterozoic rocks in southeastern Colombia, a preliminary evaluation is made about the possibility that these rock units may host gold mineral deposits that have been hosted during the early stages of formation of these bodies, to identify possible primary sources that are contributing secondary gold manifestations in placers on the riverbanks.

**Palabras Clave:** Recopilación, geocronología, geoquímica, mineralogía, posibles depósitos

## 1. Introducción

Las rocas que representan el Cratón Amazónico afloran hacia la zona sur – este de Colombia, al oriente del frente de deformación andino, en las regiones de la Amazonía y Orinoquía, conformando un extenso territorio que ha presentado numerosos retos geográficos y sociales, expresados como inconvenientes en el acceso para el estudio a detalle de las rocas aflorantes del basamento cristalino, dificultando el estudio de estas rocas asociadas al Cratón (García et al., 2011, Bonilla et al., 2013, Ibáñez y Cordani, 2020). Inicialmente en la década de los setenta, el conjunto de rocas del basamento Precámbrico que representan el límite occidental del cratón, en territorio colombiano al sur del Río Guaviare, fueron agrupadas dentro de la unidad estratigráfica conocida como el “Complejo Migmatítico de Mitú, conformado por los Neises del Atabapo, Granitos Migmatíticos y Neises de Araracuara (Galvis et al., 1979), aunque estudios más recientes, proponen que el “Complejo Migmatítico de Mitú” es un término estratigráfico obsoleto (López et al., 2007).

Ya que el estado del conocimiento geológico del oriente colombiano, ha avanzado lo suficiente para describir con mayor exactitud la geología del área (Ibáñez y Cordani, 2020, López et al., 2007), estudios geocronológicos realizados en los últimos años en las rocas del Precámbrico colombiano, muestran que exhiben edades dentro del rango temporal de la provincias geocronológicas del Cratón Amazónico, sugiriendo que estas unidades de roca pueden pertenecer a algunas de estas provincias (Ibáñez y Cordani, 2020, Cordani et al., 2016, Ibáñez et al., 2011, López et al., 2007, Rodríguez et al., 2011). Tomando en cuenta que en esta región se han encontrado manifestaciones auríferas en las riberas de los ríos que son objeto de explotación por actores de la minería ilegal, como en los ríos Guanía, Caquetá, Taraira, entre otros (Fig. 1); y que en el sur de Brasil se encuentran mineralizaciones importantes como la Provincia Mineral de Juruena y de Tapajós, de cronología similar a la hallada en las rocas del cratón Amazónico en Colombia, puede existir la posibilidad de que, en estas rocas del oriente en territorio colombiano, se encuentren mineralizaciones importantes para el aporte económico y desarrollo del conocimiento metalogénico del país, representando un nuevo blanco exploratorio de potencial aurífero y metales base en las rocas ígneas intrusivas y metamórficas, en el sur – este colombiano (Bonilla et al., 2013, Rodríguez et al., 2013, González y Pinto, 1990, Gibbs y Barron, 1983).

Por lo tanto, esta investigación pretende evaluar algunas de las unidades geológicas que representan las rocas cratónicas, mediante una revisión bibliográfica y compilación de datos e información disponibles en la literatura del oriente colombiano (López et al., 2007), para analizar si estas rocas, pueden pertenecer a las provincias geocronológicas del Cratón y si representan un potencial aurífero. Por estas razones, es de gran importancia evaluar las rocas asociadas al basamento cristalino Precámbrico colombiano, para identificar posibles manifestaciones auríferas potenciales y aportar al conocimiento de zonas con presencia de minerales estratégicos que aún no han sido descubiertos en Colombia (García et al., 2011, Bonilla et al., 2013, Rodríguez et al., 2013, Vergara y Perilla, 2001).

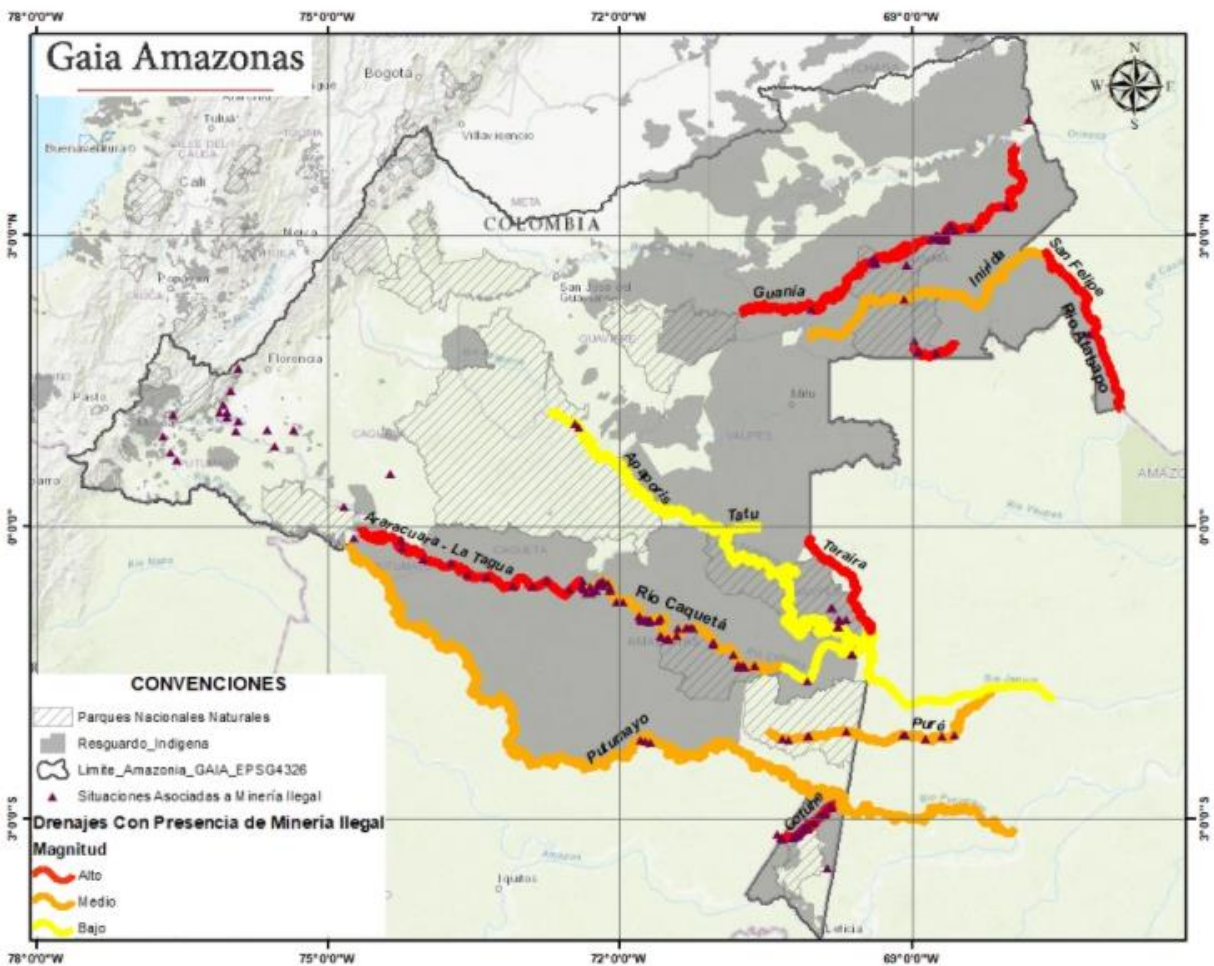


Figura 1. Ríos de la Amazonía colombiana con presencia de minería ilegal en el 2020, que muestran de forma indirecta las manifestaciones auríferas secundarias, ya que la región no cuenta con cartografía. Fuente GAIA Amazonas.

## **1. Generalidades**

### **1.1 Pregunta investigación**

¿Son las rocas aflorantes del Cratón Amazónico las posibles fuentes de aporte de las manifestaciones de oro en placeres del oriente colombiano?

### **1.2 Hipótesis**

Las rocas aflorantes en el oriente del territorio colombiano con edades cratónicas, pueden ser las posibles fuentes primarias de la ocurrencia de oro secundaria en placeres en el oriente colombiano

### **1.3 Objetivo general**

Evaluar los posibles tipos de depósitos auríferos que las unidades geológicas de edad cratónica pueden albergar, como posible origen de la ocurrencia aurífera secundaria (tipo placer), presente en el oriente colombiano.

### **1.4 Objetivos específicos**

Revisión de los antecedentes de información geológica, geocronológica y posible metalogenia de las rocas del oriente colombiano.

Identificación de las rocas o unidades geológicas Proterozoicas aflorantes en la zona de estudio.

Recolectar las dataciones geocronológicas realizadas en estas unidades, mediante el método isotópico U – Pb.

Establecer las asociaciones mineralógicas diagnósticas identificadas de las rocas de las unidades.

Reconocer los ambientes de formación sugeridos para las rocas cratónicas presentes al oriente del país, que potencialmente pueden haber desarrollado mineralizaciones auríferas primarias.

## 2. Zona de estudio

El área de estudio se encuentra localizada en el territorio colombiano, en la región Orinoquía y Amazonía (Fig. 2), que comprenden los departamentos de Vichada, Guanía, Vaupés, Amazonas, Caquetá, Guaviare, Meta, Putumayo, Casanare y Arauca, al este de la cordillera Oriental de los Andes.

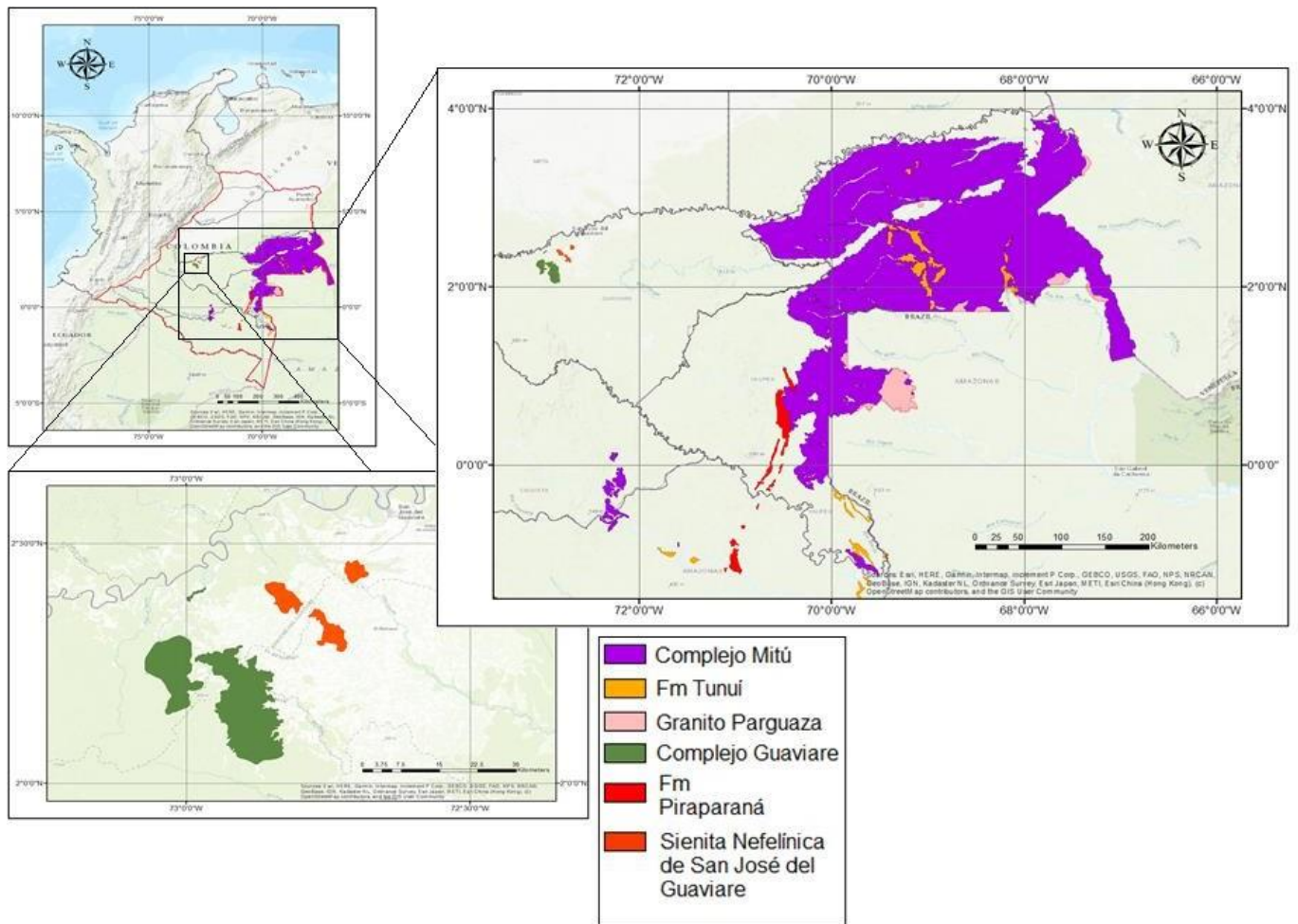


Figura 2. Localización de la zona de estudio. Fuente Gómez et al., (2020) GDB Mapa Geológico de Colombia.

### 3. Marco teórico

#### 3.1 Ambientes genéticos para depósitos de Au

El oro es un elemento nativo de gran peso, se manifiesta en la naturaleza de forma diseminada, comúnmente en filones hidrotermales de cuarzo – oro, depositados por una solución mineral ascendente asociado con rocas ígneas (Klein y Cornelius, 2018; Bernal y Railsback, 2008). El emplazamiento de un yacimiento aurífero en superficie o corteza conlleva 3 procesos esenciales, un enriquecido manto superior o corteza sublitosférica, un evento de movilización o transporte y la presencia de estructuras litosféricas que favorezcan el ascenso y precipitación del fluido o magma (Tassara et al., 2017). Por ser un elemento móvil, es transportado desde las profundidades mediante fluidos hidrotermales o magmas (intrusiones magmáticas) y comúnmente se presenta como inclusiones en sulfuros, como piritita, calcopiritita, galena, esfalerita y óxidos como magnetita, asociado principalmente con la plata, el cobre, hierro y trazas de bismuto, plomo, estaño, zinc y platino, debido a sus propiedades químicas semejantes (Klein y Cornelius, 2018; Robb, 2020; Bernal y Railsback, 2008). Dichas asociaciones son el resultado de las concentraciones químicas y minerales, heredadas a partir de los magmas parentales o de procesos magmáticos posteriores como la cristalización fraccionada (Hernández, 2019).

El oro se puede encontrar en depósitos hidrotermales, directamente asociados a granitos o pórfidos auríferos; subdivididos en depósitos epitermales de alta, media y baja sulfuración, indirectamente relacionados con los cuerpos intrusivos, los cuales interactúan con fluidos aportados por aguas meteóricas o fluidos tardíos, transportando el oro a otras zonas donde se precipita en discontinuidades o fracturas como vetas o filones, en forma de stockwork, por ejemplo en ambientes de subducción – orogénicos donde hay magmatismo enriquecido granítico tipo I y S; ambiente de rift o en Depósitos de Skarn, por magmas que ascienden gracias al alto fracturamiento y deformación (Robb, 2020; Vassallo, 2008).

La metalogenia para los depósitos de oro se puede dividir en I. el arqueozóico, ligados los cinturones de rocas verdes producto de magmas basálticos subcorticales; y II. Post – arqueozico, durante el Proterozoico en rocas de composición granítica, en los cratones por actividad tectono – magmática (Vassallo, 2008). Los tipos de depósitos de significado industrial son I. Los depósitos hidrotermales plutonogénicos de cuarzo-oro y cuarzo-oro-sulfuros, relacionados con granitos e

intrusivos hiposabisales; II. Depósitos hidrotermales vulcanogénicos de cuarzo-oro-calcedonia-sulfuros, cuarzo-oro-plata-adularia y oro-sulfuros, correspondiente a los cinturones de ofiolitas del arqueozóico y las zonas de andesitas y riolitas; III. Depósitos metamorfogenéticos, de rocas sedimentarias metamorfizadas, como por ejemplo los conglomerados auríferos metamorfizados arqueozoicos (Rep. África) y las lutitas negras metamorfizadas precámbricas (EUA, Brasil, Siberia); IV. Depósitos de Placer, donde el oro presente en los filones o rocas aflorantes, al oxidarse los sulfuros, las partículas de oro pasan a estar libres en superficie, siendo transportadas por el agua y quedando en depósitos secundarios como placeres, manto del suelo, arenas aluviales, rocas sedimentarias (Vassallo, 2008; Klein y Cornelius, 2018).

### **3.2 Provincias geocronológicas**

Para entender la evolución cortical del Cratón Amazónico y a partir de determinaciones radiométricas, estilos estructurales, litologías y evidencias geofísicas, el cratón ha sido subdividido en seis provincias geocronológicas (Fig. 3), estas son de este a oeste Maroni – Itacaiunas (2,2 – 1,95 Ga), Amazonía Central (>2,3 Ga), Ventuari – Tapajós (1,95 – 1,8 Ga), Rio Negro – Juruena (1,8 – 1,55 Ga), Rondonian – San Ignacio (1,5 – 1,3 Ga) y Sunsás (1,25 – 1 Ga), cada una asociada a sus implicaciones tectónicas de formación y evolución geológica, en su rango específico de tiempo (Tassinari y Macambira, 1999).

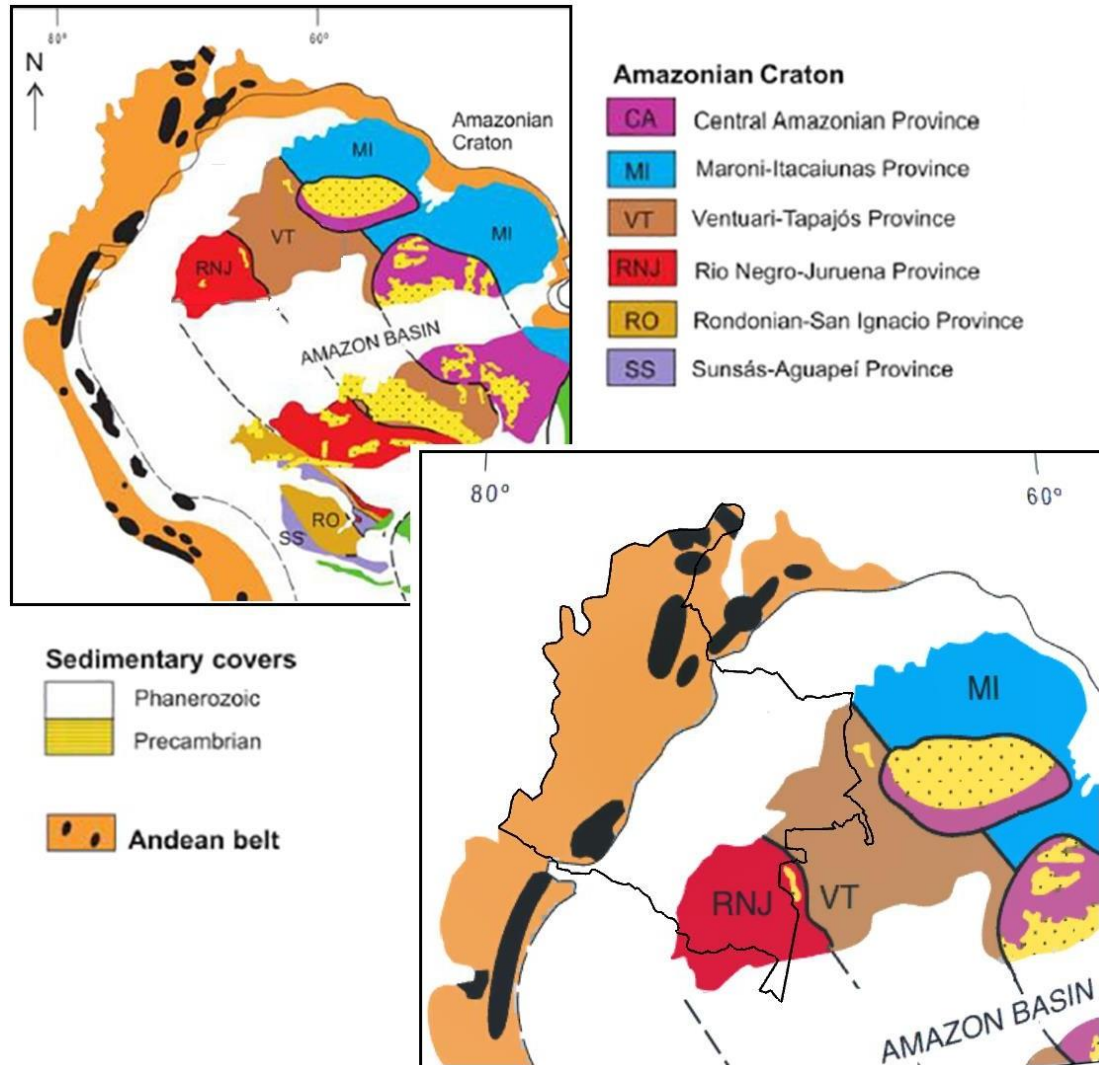


Figura 3. Provincias geocronológicas. Modificado de Bonilla et al., (2021).

### 3.3 Antecedentes del conocimiento del Cratón Amazónico en su límite noroccidental del continente suramericano

Pinson et al (1962) realizaron la primera investigación que realizó dataciones geocronológicas por medio de los métodos Rb – Sr y K – Ar (Tabla 1), llevada a cabo en biotitas de la roca cristalina del basamento precámbrico, como sienitas y pegmatitas cerca de San José del Guaviare y en granitoides rojizos a lo largo del río Guaviare (Ibáñez y Cordani, 2020, García et al., 2011). En este mismo sector del río Guaviare, Vesga y Castillo (1972), realizaron geoquímica y geocronología, proponiendo por primera vez el nombre de la Sienita nefelínica de San José del

Guaviare (Galvis et al., 1979, García et al., 2011). Galvis et al. (1979), buscaba evaluar los recursos naturales de la región, donde mediante el programa investigativo PRORADAM (Tabla 1), se elaboró una cartografía geológica regional de la Amazonía colombiana, gracias a interpretación de imágenes de satélite, verificaciones de campo, geocronología Rb – Sr, K – Ar y las primeras dataciones U – Pb. En esta investigación se proponen por primera vez 6 unidades Precámbricas las cuales corresponden desde la más antigua a la más joven a: I. Complejo migmatítico de Mitú, II. Formación La Pedrera, III. Formación Roraima, IV. Granófiros del Tijereto, V. Formación Piraparaná y VI. Diques diabásicos; de las cuales el Complejo Migmatítico de Mitú estaba conformado por los Neises del Atabapo – Rio Negro, Granitos Migmatíticos y Neises de Araracuara. Rodríguez et al. (2011), en el área de la plancha 443 de Mitú, lleva a cabo petrografía y geoquímica del Complejo Migmatítico de Mitú, donde subdivide el complejo en 3 unidades: I. Monzogranito de Mitú, II. Granofels de Pringamosa y III. Neis de Yi; con afinidades subcalcinas ricas en potasio, ferrosas, metaluminosas y peraluminosas, tipo A, enriquecidas en REE (Rodríguez et al., 2013). Bonilla et al. (2021), en los departamentos del Guanía y Vaupés, describe una transición de ambiente orogénico a anorogénico (Tabla 1), en las rocas del basamento cristalino de la provincia Rio Negro Juruena, durante el Paleoproterozoico al Mesoproterozoico, gracias a análisis nuevos petrográficos, geoquímicos y geocronológicos U – Pb, sugiriendo un periodo Estateriano asociado a un ambiente de subducción – colisión de arcos continentales (Orogenia Querarí), entre 1850 – 1720 Ma, representado en las rocas más antiguas de la región, tales como neises Migmatíticos (1850 – 1800 Ma), neises y granitoides (1800 – 1720 Ma); y un periodo de finalización del ambiente colisional entre 1600 – 1500 Ma, asociado a un ambiente de rift continental, representado por rocas graníticas con afinidades sin – post – colisionales y por granitos intruídos posteriormente (1400 – 1340 Ma) con afinidades anorogénicas.

Ibañez y Cordani (2020), compilan y emplean los métodos isotópicos en U – Pb SHRIMP, LA – ICP – MS, Sm – Nd, Lu – Hf y O (Tabla 1), para investigar el basamento Paleoproterozoico a Mesoproterozoico e identifican 4 eventos magmáticos principales en el SE colombiano: I. Granitos del Cuchivero (1990 Ma), II. Cinturón del Atabapo (1840 – 1720 Ma), III. Cinturón del Vaupés (1590 – 1500 Ma) y IV. Macizo anorogénico de Parguaza (1420 – 1390 Ma); adicionalmente, sugieren que, aunque las rocas comparten las mismas edades de la provincia Rio Negro Juruena, nocomparten la misma geoquímica que las rocas de la misma provincia que afloran en la parte sur de Brasil.

Tabla 1. Antecedentes del Cratón Amazónico en Colombia. Fuente propia.

<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
Hubach	1954	Significado Geológico de la Llanura Oriental de Colombia
Gansser	1954	Denominó las rocas cristalinas Precámbricas como “Grupo Basamento”
Pinson et al.	1962	Primera investigación que realizó dataciones geocronológicas por medio de los métodos Rb – Sr y K – Ar, llevada a cabo en sienitas y pegmatitas cerca de San José del Guaviare
Vesga y Castillo	1972	Proponen por primera vez el nombre de la Sienita nefelínica de San José del Guaviare
Galvis et al.	1979	Se elaboró una cartografía geológica regional de la Amazonía colombiana mediante PRORADAM
Tassinari et al.	1996	Realizan dataciones U – Pb SHRIMP, e isotopía Sm – Nd, en parte de la Amazonía colombiana
Santos et al.	2000	
López et al.	2007	Propone el nombre “Complejo Mitú”
Rodríguez et al.	2011	Realiza la descripción de la geología de la plancha 443 de Mitú
Ibáñez et al.	2011	Proponen por primera vez el término Orógeno Putumayo
Mejía et al.	2012	Geocronología U – Pb, Ar – Ar, petrografía y geoquímica en la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare
Bonilla	2013	
Bonilla et al.	2013	Estudian el granito de Parguaza mediante geoquímica y geocronología U – Pb LA – ICP – MS
Bonilla et al.	2016	
Cordani et al.	2016	Presenta nuevas edades U – Pb SHRIMP y compila edades U – Pb SHRIMP, LA – ICP – MS y TIMS del territorio amazónico
Bonilla et al.	2019	Mediante petrografía, geoquímica y geocronología U – Pb LA – ICP – MS analizaron rocas en el departamento del Guanía
Kroonenberg	2018	Realiza una amplia reseña sobre las rocas del basamento Proterozoico
Ibáñez y Cordani	2020	Compilan y emplean los métodos isotópicos en U – Pb SHRIMP, LA – ICP – MS, Sm – Nd, Lu – Hf y O, para investigar el basamento Paleoproterozoico a Mesoproterozoico
Victoria et al.	2021	Emplean geocronología en monacita, para identificar la presencia de minerales portadores de REE, Nb – Ta y U – Th, asociada al magmatismo anorogénico mesoproterozoico en el cratón Amazónico colombiano
Bonilla et al.	2021	Describe una transición de ambiente orogénico a anorogénico, en las rocas del basamento cristalino de la provincia Rio Negro Juruena, durante el Paleoproterozoico al Mesoproterozoico

## 4. Metodología

Para desarrollar los objetivos planteados en esta investigación, se estableció el siguiente flujo metodológico (Fig. 3):

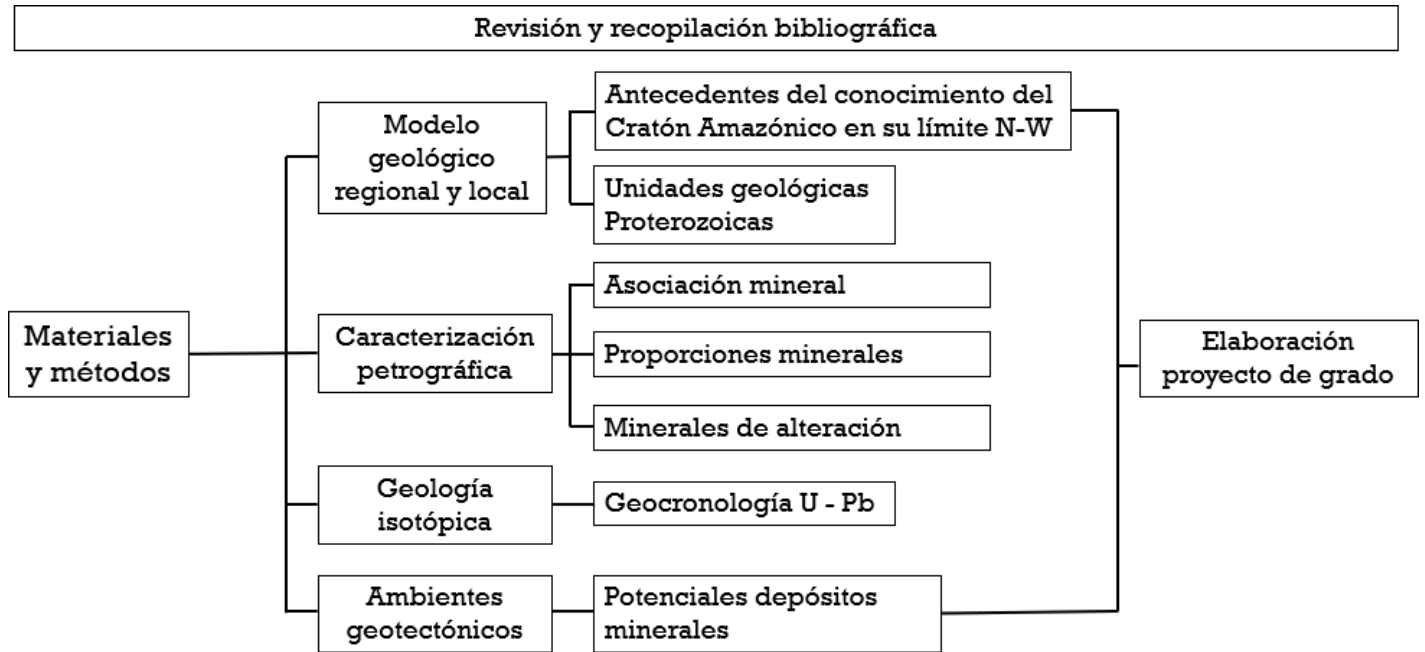


Figura 4. Flujo diagrama planteado para la elaboración de esta investigación.

## 5. Resultados

### 5.1 Geología

Las unidades mas antiguas de la zona de estudio, correspondientes al Proterozoico, son el Complejo Mitú, la Fm Tunuí, el Granito de Parguaza, el Complejo Guaviare, la Fm Piraparaná y la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare (Fig. 5), además de las rocas sótano encontradas bajo la cuenca del Putumayo, con edades similares (Ibáñez et al., 2011).

#### 5.1.1 Complejo Mitú

Inicialmente llamado Complejo Migmatítico de Mitú, termino propuesto por Galvis (1979), al conjunto de rocas Precámbricas que conforman el Cratón Amazónico en Colombia, al sur del río Guaviare. López et al. (2007), propone el cambio de clasificación estratigráfica a Complejo Mitú,

ya que las migmatitas afloran en sectores restringidos no son representativos del complejo y principalmente corresponde a rocas metamórficas de alto grado y granitoides diversos.

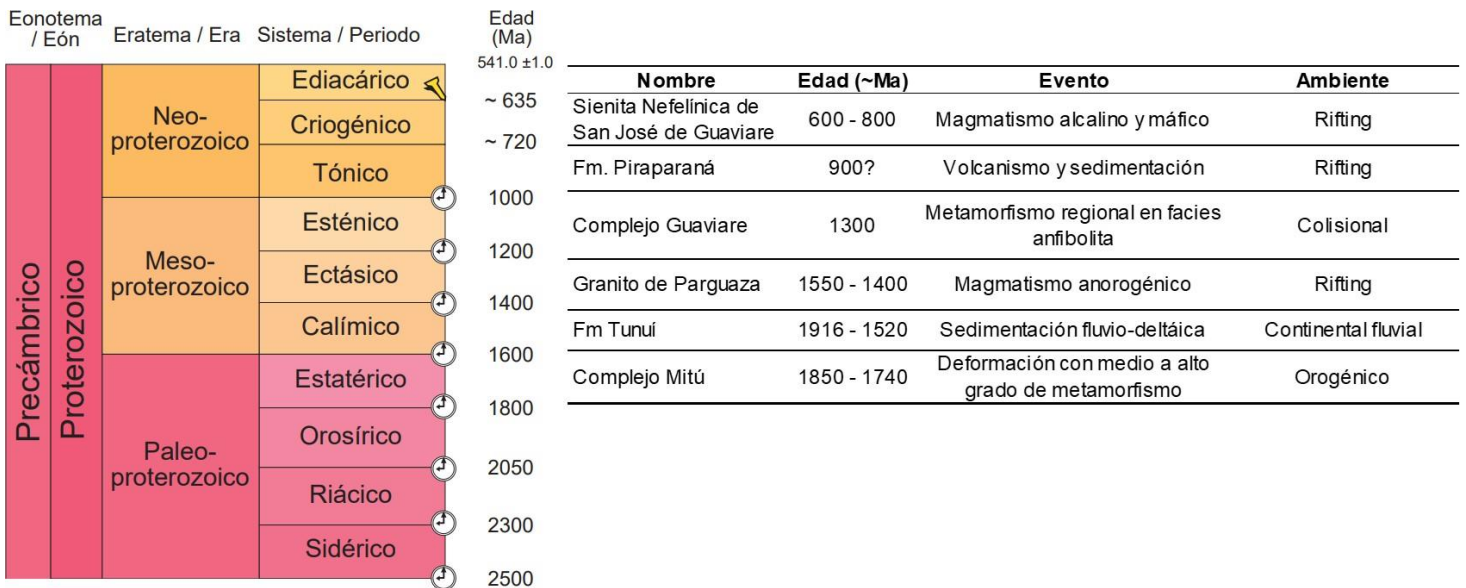


Figura 5. Estratigrafía de las unidades Proterozoicas estudiadas en esta investigación. Fuente Kroonenberg (2018) y Cohen et al. (2018).

Está conformado por los I. Neises del Atabapo – Rio Negro, constituidos por rocas metasedimentarias pelíticas y arenáceas (cuarcitas, neises cuarzosos), metaígneas básicas (anfíbolitas) y rocas cuarzofeldespáticas; con parcial migmatización todas con metasomatismo potásico, evidenciada en la microclina secundaria. Las anfíbolitas son holocristalinas, con una ligera orientación, mineralmente compuestas (Tabla 2) por hornblenda actinolítica (60%), plagioclasa andesina (60%), biotita (10%), con minerales de alteración como la epidota en anfíboles y plagioclasa, clorita en máficos, carbonato y sausrita en plagioclasas y minerales accesorios como la ilmenita, apatito y esfena. Se hayan también neises anfibólicos, con un grado de metasomatismo potásico menor que el de las anfíbolitas, bandeados, con cristales de plagioclasa de andesina en el núcleo y oligoclasa en las aureolas externas sódicas, con sericita y epidota como minerales de alteración, biotita reemplazando anfíboles, con minerales accesorios como esfena, circón, pirita en ocasiones. Las cuarcitas se encuentran afectadas por el metasomatismo potásico, compuestas por cuarzo, epidota verde, biotita, plagioclasa, moscovita y oligisto con minerales accesorios como circón, monacita y minerales de alteración como allanita y piamontita (Tabla 2). Neises cuarzofeldespáticos(ortoneises), holocristalinos, inequgranulares y con marcada orientación, compuestos por plagioclasa zonada (44%) andesina en el núcleo y oligoclasa en las aureolas, cuarzo (37%) con inclusiones de rutilo, microclina (14%) y biotita

parda (9%), en ocasiones moscovita, con sericita como alteración y minerales accesorios como ilmenita y esfena (Tabla 2). También hay neises alumínicos en menor proporción, constituidos por cuarzo, plagioclasa, microclina, biotita, silimanita y andalusita; y blastomilonitas de una roca cuarzofeldespática muy fracturada (Rodríguez et al., 2011).

II. Granitos Migmatíticos de composición monzonítica, con metasomatismo potásico y sódico, conformado por microclina reemplazando plagioclasa, el anfíbol por biotita e inclusiones de cuarzo en la microclina; y III. Neises de Araracuara de metagranitos constituidos por 2 generaciones de microclina (40%), cuarzo (33%) con inclusiones de rutilo, plagioclasa (23%), biotita (2%), con minerales secundarios como sericita por la alteración de las plagioclasas, clorita por alteración de la biotita y moscovita, minerales accesorios como magnetita, circón, ilmenita, allanita y epidota (Tabla 2); afectados por el mayor metasomatismo potásico de las rocas del complejo. También existen metaconglomerados con textura néisica de cuarzo (50%), microclina (26%), plagioclasa (20%), biotita (1%), moscovita (1%) con minerales de alteración como sericita y clorita, con minerales accesorios como apatito, fluorita, circón y esfena (Tabla 2) (Rodríguez et al., 2011).

### **5.1.2 Formación Tunuí**

Representa la secuencia metasedimentaria de bajo metamorfismo, conformado de metareniscas como cuarcitas sericíticas, cuarcitas de sericita – andalusita y cuarcitas ferruginosas, metapelitas grafitosas, filitas grafiticas, metaconglomerados que alojan depósitos de oro, también en metaareniscas conglomeráticas y localmente en las metapelitas ricas en materia orgánica (Tabla 2) (Kroonenberg, 2018; Bonilla et al., 2021; Santos et al., 2000; Veras et al. 2018).

### **5.1.3 Granito de Parguaza**

Este cuerpo inicialmente fue definido por McCandless (1965) en Venezuela como Granito del Parguaza, que corresponde a un gran batolito que abarca un área aproximada de 30000 km<sup>2</sup>, aflorando principalmente en Venezuela extendiéndose hasta Colombia, representando uno de los cuerpos ígneos plutónicos más grandes del mundo (Bonilla et al., 2013 y 2016; Rubio et al., 2014).

Se encuentra clasificado como un granito alcalino Tipo A, correspondiente desde monzogranitos a sienogranitos, predominantemente granitos biotíticos hornbléndicos de textura fanerítica, rapakivi,

holocristalina, inequigranular, con un tamaño de medio a muy grueso, compuestos por (Tabla 2) feldespato potásico (55 - 35%), cuarzo (50 - 25%), plagioclasa (30 -10%), biotita (8 - 3%) y hornblenda (4 - 2%), con minerales accesorios como opacos, circones, fluorita, apatito y epidota; mientras que los granitos de anfíbol sódico, clasificados desde monzogranitos – sienogranitos hasta granitos de feldespato alcalino, se encuentran compuestos por feldespato potásico (64 - 40%), cuarzo (40 - 20%), plagioclasa (20 - 3%), biotita (12 - 4%), hornblenda (2%) y accesorios como circones, opacos, fluorita, apatito y titanitas (Tabla 2) (Bonilla et al., 2013; Rubio et al., 2014; Bonilla, 2013).

#### **5.1.4 Complejo Guaviare**

Termino propuesto por Maya et al., (2018), para las rocas metamórficas aflorantes más antiguas en el departamento del Guaviare, en la plancha geológica 372 – El Retorno. Subdivide el complejo en 3 unidades principales: Neis de Termales, Anfibolita de Unilla y Cuarcita de La Rompida.

El Neis de Termales clasificados composicionalmente como neises cuarzo – feldespáticos biotíticos con hornblenda, muestra un tamaño de grano de grano medio a muy grueso, se encuentra constituido por microclina (7,3 % - 59,7 %), plagioclasa (4 % - 30,7 %), cuarzo (17,7 % - 28,7 %), biotita (4,0 % - 37,0%), con minerales accesorios como titanita (3,3 %), calcita (1,3 %), circón (< 1 %) e ilmenita (2 % - 5 %) y minerales de alteración como clorita (0,7 % - 6 %) en biotita, sericita en feldespatos y moscovita como traza (Tr) (Tabla 2) (Maya et al., 2018). Las Anfibolitas de Unilla, con un tamaño de grano medio, están conformadas por plagioclasa (24%), hornblenda (5%), cuarzo (60,7%), clorita retrógrada (2,3%), epidota (1%) y zoisita (0,7%), con minerales accesorios como titanita (1,3%), biotita (Tr), apatito (Tr) y minerales opacos ilmenita/magnetita (5%) y sausruta (Tabla 2) como producto de la alteración de las plagioclasas (Maya et al., 2018). Las Cuarcitas de La Rompida, finogranulares, granoblásticas, se encuentran clasificadas como cuarcitas moscovíticas y granofels, se encuentran compuestas por cuarzo (60,3% - 84,0%), plagioclasa (0,3% - 25,7%), microclina (1,3% - 5,3%) y moscovita (1,3% - 22,7%), con minerales accesorios como turmalina (2,3%), circón (0,6% - 2%), titanita (0,3%), apatito (0,3%), epidota (1%), minerales opacos (1,7% - 6,0%) y sericita (0,7% - 3,7%) como alteración de los feldespatos (Tabla 2) (Maya et al., 2018).

### **5.1.5 Formación Piriparaná**

Huguett et al., (1979) describe por primera vez esta unidad que aflora en un sector entre el río Vaupés al norte y el sector de Yacayacá, en el río Piriparaná al sur, que se encuentra constituida por rocas volcano sedimentarias rojizas plegadas, como flujos de lavas riódacíticas muy diaclasadas, material piroclástico, conglomerados polimicticos a brechas y areniscas arcósicas (Kroonenberg, 2019; García et al., 2011; Galvis 1979).

Las riódacitas muestran textura porfirítica, inequigranular, glomeroporfídicas y perfiticas, compuestas por feldespato potásico (34,6 %), fenocristales de oligoclasa (22,8 %) y cuarzo en la matriz (24,5 %), con minerales accesorios como rutilo, magnetita, ilmenita, circón, apatito (Tabla 2) (García et al., 2011; Galvis 1979). Los conglomerados poseen clastos de granito, rocas volcánicas, cuarzo, microclina, areniscas, cuarcitas; con matriz ferruginosa silíceo o pelítica y localmente cemento de carbonato (Kroonenberg, 2019; Galvis 1979). Las areniscas están compuestas (Tabla 2) por cuarzo, microclina y minerales accesorios como turmalina, circón y la composición/relación clasto – matriz tan variable, hacen que las areniscas varíen entre arcosas, subarcosas hasta subgravaica (Kroonenberg, 2019; Galvis 1979; García et al., 2011). No se han realizado dataciones por medio del método U – Pb en esta unidad, sólo hay un dato geocronológico Rb – Sr de  $920 \pm 90$  Ma (Priem et al., 1982)

### **5.1.6 Sienita Nefelínica de San José del Guaviare**

Esta unidad fue reportada por primera vez por Vesga y Castillo (1972) y aflora como cuerpos dispersos al SW del municipio de San José del Guaviare, en los sectores de La Pizarra, El Jordán y El Capricho, donde exhiben una textura hipidiomórfica granular, orientada localmente; además de un cuerpo satélite de  $2 \text{ km}^2$  aproximadamente localizado en la vereda Las Delicias, que exhibe una textura granofélsica con minerales máficos orientados, como los anfíboles (Maya et al., 2018; Rincón y Concha, 2018; Arango et al., 2011 y 2012).

Las rocas de la La Pizarra, El Jordán, según su composición mineralógica microscópicamente, se encuentran clasificadas como monzosienitas nefelínicas principalmente, variando a sienitas nefelínicas, holocristalinas, de tamaño de grano de medio a grueso, inequigranular, con texturas ígneas variando a texturas metamórficas, de las cuales muestra generalmente textura hipidiomórfica granular, granoblástica, texturas de exsolución como micropertitas y poiquilítica en los feldespato, localmente bandeamiento y orientación mineral (Arango et al., 2011 y 2012). Mineralógicamente se encuentra constituida de microclina (35 – 62 %), nefelina (6 – 34 %), plagioclasa ( $An_{29}$  5 – 36 %), como minerales principales, biotita (2 – 18 %) y anfíbol tipo arfvedsonita (7 – 10 %) como minerales secundarios, con minerales accesorios como fluorita (< 1%), esfena, granate tipo melanita, circón, epidota, calcita, opacos y con minerales de alteración como cancrinita (< 8%), sericita y caolín (Tabla 2) producto de la meteorización de la nefelina y los feldespatos (Maya et al., 2018; Rincón y Concha, 2018; Arango et al., 2011 y 2012). En el sector del Capricho, las rocas son sienitas nefelínicas, equigranulares de grano grueso a pegmatíticas, con minerales esenciales como microclina y ortoclasa (29 – 77%), nefelina (14 – 38 %), cancrinita (< 7 %), sodalita (< 3 %), con minerales accesorios como biotita (< 10 %), arfvedsonita (< 18 %), esfena (< 8%), calcita (< 5%), pirocloro (< 3%), minerales opacos (< 3%), fluorita (< 1%), circón y apatito (Tabla 2) (Rincón y Concha, 2018; Maya et al., 2018).

En la vereda Las Delicias, predomina el cuerpo satélite granofels de feldespato y nefelina, una roca metamórfica en facies anfibolita, diferenciada por su textura bandeada más evidente macroscópicamente y por un contenido menor de biotita a comparación del cuerpo de La Pizarra; microscópicamente muestra una estructura masiva que varía localmente a granofélsica, con tamaño de grano grueso, fanerítica, con textura granoblástica poligonal, granonematoblástica, poiquiloblástica por inclusión mineral en la nefelina y de exsolución como micropertitas de plagioclasa en la microclina. Se encuentra conformada mineralmente por microclina (35 – 46 %), nefelina (20 – 34 %), plagioclasa (5 – 16 %), arfvedsonita (7 – 10 %), con minerales accesorios como fluorita (< 2 %), granate tipo melanita, esfena y minerales de alteración arcillosos como sericita y cancrinita como producto de la alteración de la nefelina (Tabla 2) (Maya et al., 2018; Rincón y Concha, 2018; Arango et al., 2011 y 2012).

Tabla 2. Asociaciones minerales de las unidades Proterozoicas, distinguidas por minerales principales, de alteración y accesorios. Fuente Maya et al. (2018), Rincón y Concha (2018), Arango et al. (2011), Bonilla et al. (2021), Rodríguez et al. (2011), Kroonenberg (2019), García et al. (2011), Galvis et al. (1979).

Unidad	Minerales principales	Minerales Alteración	Minerales Accesorios
Granito rapakivi de Parguaza	Microclina + Cuarzo + Plagioclasa + Biotita + Hornblenda		Circón + Fluorita + Apatito + Epidota + Titanita + Opacos
Fm Piraparaná	Microclina + Oligoclasa + Cuarzo		Rutilo + Magnetita + Illita + Circón + Apatito
Sienita Nefelínica de San José del Guaviare	Microclina + Ortoclasa + Nef + Cancrinita + Sodalita + Arfvedsonita	Sericita + Cancrinita + Caolinita	Biotita + Esfena + Calcita + Pirocloro + Opacos + Fluorita + Circón + Apatito
Unidad	Minerales principales	Minerales Alteración	Minerales Accesorios
Complejo Mitú	Microclina + Cuarzo + Plagioclasa + Biotita + Moscovita	Sericita + Clorita	Rutilo + Magnetita + Circón + Illita + Allanita + Epidota + Esfena + Fluorita
Complejo Guaviare	Microclina + Plagioclasa + Cuarzo + Biotita	Sausurita + Clorita + Epidota + Zoisita + Sericita	Titanita + Biotita + Apatito + Illita + Magnetita + Opacos + Circón + Calcita + Turmalina

## 5.2 Geocronología U - Pb

Para el Complejo Mitú se recopilaron 53 datos geocronológicos U – Pb, de los cuales la mayoría han sido realizados en los departamentos del Vaupés (19), en inmediaciones al río Apaporis y en el departamento del Guanía (18). Del total de los datos, fueron aportados en gran medida por los estudios de Ibáñez et al. (2011 y 2014) (22) y Cordani et al. (2016) (18). El rango de edades para todo el complejo varía entre 1859 y  $1424 \pm 21$  Ma (Fig. 6) (Pale-Mesoproterozoico), de las cuales, para las rocas ígneas graníticas como monzogranitos, sienogranitos, leucogranitos, tonalitas y cuarzo dioritas abarcan edades desde  $1989 \pm 21$  hasta  $1424 \pm 21$  Ma (Orosírico-Calímico), para las rocas metamórficas como paraneises y ortoneises, edades desde 2094 hasta 650 Ma (Riácico-Criogénico) y para las migmatitas, diatexitas, entre 1859 a  $1788 \pm 11$  Ma (Orosírico-Estatérico). Los datos anómalos corresponden a 650 Ma (Criogénico) en un paraneis en el Guanía, como la edad más joven y edades más antiguas a 2094, 2089 Ma (Riácico) en un

	EDAD (GA)	COMPLEJO MITÚ	FM TUNUÍ	GRANITO PARGUAZA	COMPLEJO GUAVIARE	SIENTA NEFELÍNICA DE SAN JOSÉ DEL GUAVIARE	
Cám	0.4					555.7± 10.6Ma	
	0.5						
Neo-proterozoico	0.6						
	0.7					670.5± 14Ma	
	0.8						
	0.9						
Meso-proterozoico	1						S
	1.1						
	1.2				1299± 90Ma		RSI
	1.3	1424± 21Ma				1312± 11Ma	
	1.4		1520± 32Ma				
	1.5				1545± 20Ma		
Paleo-proterozoico	1.6						RNJ
	1.7						RNJ
	1.8	1859± 20Ma					
	1.9		1916± 57Ma				
	2						VT

Figura 6. Rangos de edades geocronológicas U - Pb compiladas. Fuente Cordani et al. (2016), Ibáñez et al. (2011 y 2014), Bonilla et al. (2021), Maya et al. (2018), Arango et al. (2012), Veras et al. (2018), Tassinari et al. (1996), Santos et al. (2000 y 2003), Ibáñez (2014), Gaudette y Olszewski (1985), Priem et al. (1982), Rubio et al. (2014).

paraneis en el Vaupés y  $1989 \pm 21, 1984 \pm 18$  Ma (Orosírico) en un monzogranito y leucogranito respectivamente, en el Vichada. Se tomaron 6 edades geocronológicas para la Formación Tunuí (Paleo-Mesoproterozoico), las cuales varían entre  $1916 \pm 57$  y  $1520 \pm 32$  Ma (Fig. 6) (Orosírico-Calímico), con un pico de edades entre 1800 y 2000 Ma (Orosírico) en la investigación de Bonilla et al. (2021). El Granito Rapakivi de Parguaza (Mesoproterozoico) de los 12 datos compilados para la esta unidad, exhibe edades entre  $1545 \pm 20$  a  $1299 \pm 90$  Ma (Calímico-Ectásico). A ser el Complejo Guaviare una unidad propuesta recientemente por Maya et al. (2018), los datos U - Pb recopilados (Paleo-Mesoproterozoico), corresponden a este mismo estudio, con edades a  $1312 \pm 11$  Ma (Fig. 6) (Ectásico) para el Neis de Termes y  $1313 \pm 12$  Ma (Ectásico) para la Anfibolita de Unilla; también muestran picos de edades para la Cuarcita de La Rompida a 1300, 1500, 1730, 2010, hasta 2680 Ma (Ectásico-Orosírico). Las 18 edades colectadas para la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare (Neoproterozoico), en territorio colombiano, fueron presentadas principalmente por Arango et al. (2012) (18) y representan edades en un intervalo entre  $670,5 \pm 14$  a  $555,7 \pm 10,6$  Ma (Fig. 6) (Criogénico-Ediacárico).

### 5.3 Ambientes genéticos de formación

Diversos autores concuerdan que el ambiente de la Formación Tunuí se encuentra asociado a sistemas fluviales continentales, depositada por una sedimentación fluvial (Veras et al. 2018; Galvis-Vergara (1993) o una sedimentación fluvio-detáica propuesta por Renzoni (1989) y Kroonenberg (2018), principalmente para las metareniscas y cuarcitas, mientras que, para los metaconglomerados, Renzoni (1989) propone un ambiente de abanico aluvial.

Para el Granito Rapakivi de Parguaza, todos los autores presentan que esta unidad fue formada por magmatismo intraplaca), esto debido a la afinidad de estos granitos rapakivi tipo A o anorogénico, formados en un ambiente probablemente de extensión o rifting (Kroonenberg 2018; Rubio et al. 2014; Gaudette et al.1978; Mendoza 1972 y 1977), que según Bonilla et al. (2013 y 2016), fueron diversos pulsos sucesivos magmáticos anorogénicos. Adicionalmente, Bonilla et al. (2021), señalan un ambiente post-colisional y fusión por descompresión y enfriamiento lento.

Maya et al. (2018) propone que el Complejo Guaviare fue conformado por metamorfismo regional, en un ambiente de rifting, en facies anfibolita, de protolito ígneo como un monzogranito para el Neis de Termales, metamorfismo regional de medio a alto grado, facies anfibolita de protolito máfico para la Anfibolita de Unilla y metamorfismo en facies anfibolita baja a esquistos verde en la

*Tabla 3. Ambientes de formación interpretados por otros autores de las unidades estudiadas. Fuente Bonilla et al. (2021), Kroonenberg (2019), Rincón y Concha (2018), Maya et al. (2018), Veras et al. (2018), Cordani et al. (2016), Ibáñez (2014), Rubio et al. (2014), Ibáñez et al. (2014 y 2011), Arango et al. (2012 y 2011), Rodríguez et al. (2011), García et al. (2011), Santos et al. (2000 y 2003), Tassinari et al. (1996), Gaudette y Olszewski (1985), Priem et al. (1982), Galvis et al. (1979).*

<b>Nombre</b>	<b>Edad (~Ma)</b>	<b>Ambiente</b>
Complejo Mitú	1850 - 1740	Orogenico
Fm Tunuí	1916 - 1520	Fluvial continental
Granito de Parguaza	1550 - 1400	Rifting
Complejo Guaviare	1300	Colisional
Fm. Piraparaná	900?	Rifting
Sienita Nefelínica de San José de Guaviare	600 - 800	Rifting

Cuarcita de La Rompida. Respecto a las cornubianas que exhibe el complejo, estas se deben por la intrusión de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare. El ambiente de formación de las rocas del Putumayo fue atribuido a un cinturón orogénico colisional de un arco de islas, durante el ensamblaje final de Rodinia, de allí su nombre Orógeno Putumayo, definido y estudiado por Ibáñez et al. (2011, 2015 y 2020).

Los primeros autores que estudiaron la Formación Piraparaná como Galvis et al. (1979) sugirieron que estas rocas fueron originadas por volcanismo/sedimentación fluvial y Huguett et al. (1979), menciona que este volcanismo es de carácter básico alcalino. Ibáñez (2010) menciona que en este ambiente hubo sedimentación y volcanismo syn-rift, probablemente por el desarrollo del graben de Guejar-Apaporis o por una cuenca de foreland, generada por la acreción del Orógeno Putumayo. Los estudios recientes reafirman la idea de un ambiente volcánico y sedimentario continental, realizado por Rodríguez et al. (2011) y Kroonenberg (2018) respectivamente.

Toussaint (1993) para Sienita Nefelínica de San José del Guaviare, sugiere que esta representa la última etapa de magmatismo puntual en el Cratón Amazónico, por fusión parcial y rifting bajo la cuenca de los Llanos Orientales. Posteriormente, autores como Maya et al. (2018), Rincón y Concha (2018) y Kroonenberg (2018), indican un magmatismo anorogénico intraplaca, manto derivado, alcalino y máfico, con fuerte interacción con la corteza continental, en un ambiente de rifting o posiblemente debido a la Orogenia Panafricana, sugerida por Arango et al. (2012) y Franco et al. (2018). Por otro lado, Arango et al. (2011), interpreta un ambiente también intraplaca, alcalino, pero ferroso y formado por anatexia/ultrametamorfismo en rocas metamórficas (restitas?).

## **6. Discusión**

El Complejo Mitú corresponde a la unidad geológica que representa la mayor extensión en cuanto al área ocupada en la zona de estudio y sirve como basamento, ya que sobre esta yacen e intruyen algunas otras unidades más jóvenes, tales como la Formación sedimentaria Tunuí, la Formación volcano-sedimentaria Piraparaná y la Sienita Nefelínica del San José del Guaviare, siendo este complejo interpretado como la unidad más antigua en esta región y alóctona (Mendoza, 2012; Bonilla et al., 2021), posiblemente acrecionada al margen continental, debido a un ambiente de subducción, quedando como resultado las rocas metasedimentarias como neises y metaígneas como anfibolitas, típicas de estos ambientes, con un metamorfismo en facies anfibolita hasta facies

granulita, evidenciando una actividad tectonometamórfica orogénica, asociada a la orogenia Querarí (Bonilla et al., 2019, Kroonenberg, 2018; Rodríguez et al. 2011; López, 2007). Este ambiente de subducción orogénico sugerido también está apoyado en la asociación mineral que exhibe, mostrando mineralogías de alteración hidrotermal gracias a la presencia de clorita, sericita, moscovita, carbonatos, biotita, epidota, que pueden estar representando alteraciones cloríticas, sericíticas, hasta propilíticas, indicando una alta presencia de fluidos en el sistema en el cual se formaron estas rocas (Rodríguez et al., 2011; Robb, 2020). Este comportamiento y ambiente asociado de formación del Complejo Mitú, también se encuentra relacionado con el Complejo Guaviare, unidad que también muestra minerales de alteración, tales como clorita, sericita, epidota, representando un ambiente de subducción, pero con una colisión no tan severa, ya que el metamorfismo en estas rocas alcanzó sólo desde facies esquisto verde hasta facies anfíbolita (Maya et al., 2018).

A diferencia del Complejo Mitú y del Complejo Guaviare que sí exhiben ensamblajes minerales que indican un alto aporte de fluidos y alteraciones hidrotermales (Rodríguez et al., 2011; Maya, 2018; Robb, 2020), las unidades como la Formación Tunuí, el Granito de Parguaza, la Formación Piraparaná y la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare, no tienen mineralogías de alteración, lo que podría estar indicando una falta o carencia de aporte de fluidos hidrotermales, que produjeran estos minerales de alteración, posiblemente asociado a sus ambientes de formación anorogénicos o de rifting intracontinental a los cuales han sido designados (Veras et al., 2018; Kroonenberg, 2018; Bonilla et al., 2021; Rincón y Concha, 2018). Se puede identificar que estos ambientes genéticos de formación, asociados a las diferentes unidades evaluadas, se encuentran intercalados en el tiempo, formando ciclos repetitivos de apertura y cierre, asociados a eventos anorogénicos de rifting pobres en fluidos y eventos tectonometamórficos de subducción – acreción muy ricos en fluidos, conformando a lo largo del Proterozoico un régimen de eventos episódicos (Bonilla et al., 2021, 2019, 2016; Kroonenberg, 2018; Maya et al., 2018; Rodríguez et al., 2011).

En cuanto a la geocronología U-Pb recopilada, mediante los métodos LA-ICP-MS, TIMS, SHRIMP, esta nos indica las edades de cristalización de las unidades que fueron tomadas en cuenta, arrojando un rango de temporalidad entre 1900 a 1200 Ma aproximadamente, desde el Paleoproterozoico al Mesoproterozoico, para todas las unidades, exceptuando la Formación Piraparaná y la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare, lo que corresponde a los rangos de

temporalidad abarcados por las provincias geocronológicas desde Ventuari – Tapajós, Rio Negro – Juruena, Rondonian – San Ignacio hasta la provincia más joven Sunsas, indicando las unidades como el Complejo Mitú, Complejo Guaviare, Granito de Parguaza y la Formación Tunuí, se encuentran dentro de la cronología del Cratón Amazónico, mientras que la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare, muestra edades mucho más recientes durante el Neoproterozoico, poniendo en duda si esta unidad pertenece o no, al Cratón Amazónico (Ibáñez et al., 2011, 2014; Cordani et al., 2016; Bonilla et al., 2021; Maya et al., 2018; Arango et al., 2012).

Para la Formación Piraparaná no se recopiló información sobre geocronología U-Pb, ya que no se han realizado estudios de este tipo en esta unidad de roca, pero estudios sugieren una edad alrededor de 900 Ma según correlaciones de campo y contactos con unidades adyacentes (Rodríguez et al. 2011), además de una datación por el método Rb -Sr, la cual arrojó una edad de 920 Ma.

Según estos ambientes genéticos de formación sugeridos por las asociaciones minerales y por distintos autores, relacionados a ambientes anorogénicos y de subducción, se pueden desarrollar diferentes depósitos de oro en estos 2 principales tipos de ambientes, los cuales son de tipo i. Au orogénico tipo Pórfido (Cu, Mo, Au), ii. Pórfido (Mo, W) y iii. Epitermal (Au, Ag) para las unidades con afinidades al ambiente de subducción (Fig. 7), ampliamente distribuidos en el mundo, hospedados como vetas y diseminado en las discontinuidades y estructuras regionales como plegamiento, zonas de cizalla y fallas por el alto fracturamiento (Valdivieso y Mc Iver, 2018; Robb, 2020); y para los ambientes anorogénicos de rifting (Fig. 7), se pueden llegar a desarrollar depósitos de oro tipo i. IOCG o de óxidos de hierro con cobre y oro (hematita o magnetita) (Oyarzún, 2007); ii. SEDEX/MVT (Mississippi Valley Type) ricos en elementos tierras raras como Pb y Zn, que corresponden a depósitos hospedados en sedimentos (sediment hosted), como rocas carbonatadas (tipo Carbonatitas Cu y REE) o siliciclásticas (Capas Ni-Cu, PGE, Cr), que no tienen una interacción directa con el magmatismo, en las que los metales y elementos se depositan por salmueras, que se movilizan por las fracturas producto de la extensión, donde también se pueden emplazar depósitos tipo Granitos (Sn-W) (Fig. 7) (Robb, 2020; Emsbo et al., 2016; Pérez et al., 2017).

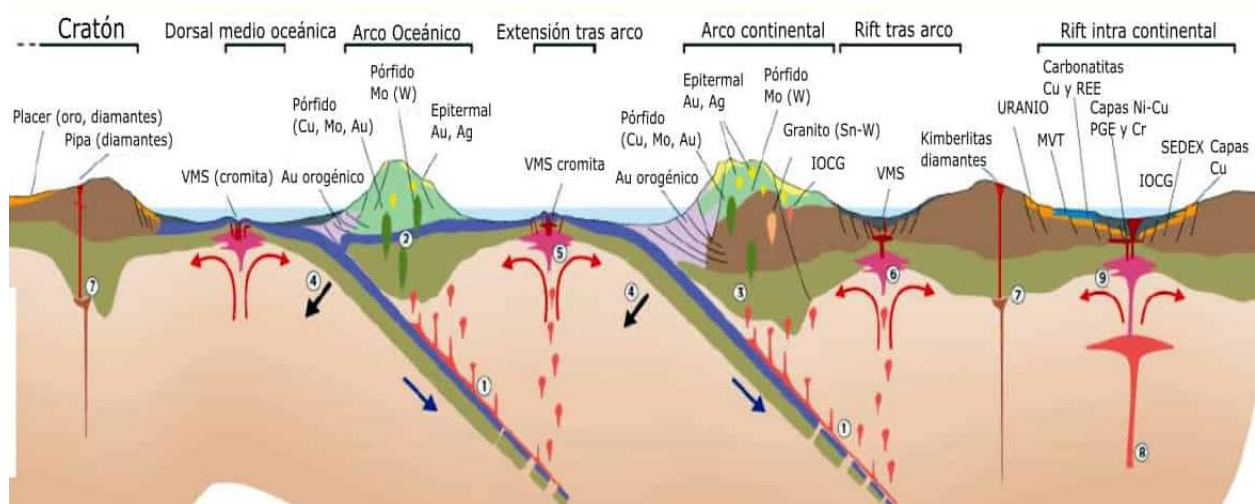


Figura 7. Esquema ambientes de formación del oro. Fuente Geologiaweb.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Esta recopilación bibliográfica sugiere la probable existencia de diversos depósitos minerales primarios, similares a los encontrados en ambientes Fanerozoicos, como los que existen en los Andes, por lo que se sugiere ponerle foco a esta zona, por su posible potencial.

Se reconocieron en las unidades geológicas que comprenden las rocas de edad cratónica, como posibles fuentes primarias de Au, ya que en los ambientes de formación en los cuales tuvieron lugar, se pueden desarrollar diversos tipos de depósitos de oro y por lo tanto, esta porción del territorio colombiano, puede albergar depósitos minerales potenciales, estos pueden ser de tipos depósitos tipo Au orogénico, Pórfido (Cu, Mo, Au), (Mo, W), Epitermal (Au, Ag), Granitos (Sn-W), IOCG y en ambientes de y de rifting, depósitos tipo IOCG, SEDEX/MVT, Capas Ni-Cu, PGE, Cr, Carbonatitas Cu y REE.

Debido a la geocronología U-Pb recolectada, de todas las unidades Proterozoicas evaluadas, las únicas unidades geológicas con edades que corresponden a la cronología del Cratón Amazónico, son Complejo Mitú, Complejo Guaviare, Granito de Parguaza y la Formación Tunuí, abarcando edades desde la provincia Ventuari – Tapajós, Rio Negro – Juruena, Rondonian – San Ignacio hasta la provincia más joven Sunsas y se evidencia que las edades de las rocas cratónicas en territorio colombiano, abarcan no solo las provincias RNJ y/o VT, si no todas las provincias geocronológicas (RNJ, VT, RSI, S), a excepción de la Central Amazonia de edad Arqueana.

La Sienita Nefelínica de San José del Guaviare no muestra edades cratónicas correspondientes, por lo que se recomienda evaluar en futuros estudios si pertenece o no al Cratón Amazónico.

La petrografía indica que esta región durante el Proterozoico estuvo sujeta a ambientes geotectónicos episódicos, dominando los ambientes de rifting y colisión, donde las rocas asociadas a estos eventos de colisión exhiben minerales de alteración hidrotermal, como posibles alteraciones sericítica, clorítica y/o propilítica; mientras que las rocas relacionadas a ambientes de extensión y rifting, no presentan mineralogías de alteración, debido a la escasez de aporte de fluidos.

Para seguir avanzando en el desarrollo del estado del conocimiento en esta región del país, se debe realizar la cartografía completa 1:100.000 de todo este territorio que no ha sido cartografiado en su totalidad. Posteriormente se pueden realizar cartografías de mayor detalle.

## Referencias

1. Amaya, Z., Franco, J., Cramer, T., Alvarado, A., Latorre, C., Castañeda, A., Boerker, J., Bonilla, a., 2012. Asociaciones de minerales estratégicos en el Departamento del Guainía. *Geología Colombiana*, Vol. 37, No. 1, pp. 39 – 40.
2. Arango, M., Zapata, G., Martens, U., 2012. Caracterización petrográfica, geoquímica y edad de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare. *Boletín de Geología*, Vol. 34, No. 1, pp. 15 – 26.
3. Bernal, J., y Railsback, L., 2008. Introducción a la Tabla Periódica de los Elementos y sus Iones para Ciencias de la Tierra. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 25, No. 2, pp. 236 – 246.
4. Bonilla, A., 2013. Petrografía, geoquímica e geocronología do granito de Parguaza na Colombia. Tesis de maestría. UFRGS. Porto Alegre.
5. Bonilla, A., Cramer, T., Poujol, M., Cano, H., Franco, J., Amaya, Z., 2019. Petrografía, geoquímica y geocronología U/Pb en circones de rocas ígneas y metamórficas a lo largo del Río Cuiarí en el sur del Departamento de Guainía, Colombia. *Boletín de Geología*, Vol. 41, No. 1, pp. 55 – 84.
6. Bonilla, A., Cramer, T., De Gave, J., Alessio, B., Glorie, S., Kroonenberg, S., 2021. The NW Amazonian Craton in Guainía and Vaupés departments, Colombia: Transition between orogenic to anorogenic environments during the Paleo-Mesoproterozoic. *Precambrian Research*, Vol. 360.
7. Bonilla, A., Frantz, J., Charão, J., Cramer, T., Franco, J., Mulocher, E., Amaya, Z., 2013. Petrografía, geoquímica y geocronología del granito de Parguaza en Colombia. *Boletín De Geología*, Vol. 35, No. 2, pp. 83 – 104.
8. Bonilla, A., Frantz, J., Charão, J., Cramer, T., Franco, J., Amaya, Z., 2016. Magmatismo rapakivi en la cuenca media del río Inírida, departamento de Guainía, Colombia. *Boletín de Geología*, Vol. 38, No. 1, pp. 17 – 32.
9. Cordani, U., Teixeira, W., D'Agrella, M., Trindade, R., 2009. The position of the Amazonian Craton in supercontinents. *Gondwana Research*, Vol. 15, pp. 396–407.

10. Cordani, U., Sato, K., Sproessner, W., Fernandes, F., 2016. U-Pb zircon ages of rocks from the Amazonas Territory of Colombia and their bearing on the tectonic history of the NW sector of the Amazonian Craton. *Brazilian Journal of Geology*, Vol. 46, pp. 5–35.
11. Cordani, U., y Teixeira, W., 2013. Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. *Geological Society of America Memoirs*, doi: 10.1130/2007.1200(14).
12. Da Silva, R., Campelo, R., Almeida, M., Paquette, J., Carneiro, M., 2018. Paleoproterozoic basement of Içana Domain, Rio Negro Province, northwestern Amazonian Craton: Geology, geochemistry and geochronology (U-Pb and Sm-Nd). *Journal of South American Earth Sciences*, No. 86, pp. 384 – 409.
13. Galvis, J., Huguet, A., Ruge, P., 1979. *Geología de la Amazonía Colombiana*. Ministerio de Minas y Energía, Informe No. 1792. Bogotá.
14. García, M., Cruz, L., Mier, R., 2013. Prospectividad de hidrocarburos en la cuenca Vaupés – Amazonas, Colombia. *Boletín de Geología*, Vol. 35, No. 2, pp. 15 – 29.
15. Gaudette, H., Mendoza, V., Hurley, P., Fairbairn, H., 2014. Geology and age of the Parguaza rapakivi granite, Venezuela. *Geological Society of America*, Vol. 89, pp. 1335 – 1340.
16. Gaudette, H., y Olszewski, W., 1985. Geochronology of the basement rocks, Amazonas Territory, Venezuela and the tectonic evolution of the western Guiana Shield. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 64, pp. 131 – 143.
17. González, C., y Pinto, H., 1990. Petrografía del granito de Parguaza y otras rocas Precámbricas en el oriente de Colombia. *Geología Colombiana*, No. 17, pp. 107 – 121.
18. Govea, C., y Aguilera, H., 1980. Geología de la cuenca del Putumayo. *Boletín de Geología*, No. 14, pp.45 – 71.
19. Guerrero, A., 1985. *La Geología de Colombia*. Avante, No. 12.
20. Ibañez, M., Pullen, A., Arenstein, J., Gehrels, G., Valley, J., Ducea, M., Mora, A., Pecha, M., Ruiz, J. 2015. Unraveling crustal growth and reworking processes in complex zircons from orogenic lower-crust: The Proterozoic Putumayo Orogen of Amazonia. *Precambrian Research*, Vol. 267, pp. 285 – 310.
21. Ibañez, M., 2020. The Putumayo Orogen of Amazonia: A Synthesis. *The Geology of Colombia*, Ch. 6, Vol. 1, pp. 101 – 131.

22. Ibañez, M., Ruiz, J., Valencia, V., Cardona, A., Gehrels, G., Mora, A., 2011. The Putumayo Orogen of Amazonia and its implications for Rodinia reconstructions: New U–Pb geochronological insights into the Proterozoic tectonic evolution of northwestern South America. *Precambrian Research*, Vol. 191, pp. 58 – 77.
23. Ibañez, M., y Cordani, U., 2020. Zircon U–Pb Geochronology and Hf–Nd–O Isotope Geochemistry of the Paleo – to Mesoproterozoic Basement in the Westernmost Guiana Shield. *The Geology of Colombia*, Ch. 4, Vol. 1, pp. 65 – 90.
24. Klein, C., y Cornelius Jr, S., 2018. *Manual de mineralogía*, Vol. 2, IV edición. Editorial Reverté S.A. España.
25. Kroonenberg, S., y Roeber, E., 2010. Geological Evolution of the Amazonian Craton. *Amazonia: Landscape and Species Evolution: A look into the past*, pp.7 – 28.
26. Kroonenberg, S., 2019. The Proterozoic Basement of the Western Guiana Shield and the Northern Andes. *Geology and Tectonics of Northwestern South America*, Ch 3, pp. 115 – 192.
27. López, J., Khurama, S., Bernal, L., Cuéllar, M., 2007. El Complejo Mitú: una nueva perspectiva. XI Congreso Colombiano de Geología. Bucaramanga.
28. López, J., Mora, B., Jiménez, D., Khurama, S., Marín, E., Obando, G., Páez, T., Carrillo, L., Bernal, V., Celada, C., 2010. Cartografía geológica y muestreo geoquímico de las planchas 297 – Puerto Inírida, 297 bis – Merey y 277 bis – Amanaven, departamento del Guainía. INGEOMINAS. Bogotá.
29. Rincón, D., y Concha, A., 2018. Petrografía y geoquímica de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare en cercanías de El Capricho. *Geología Colombiana*, Vol. 41, pp. 27 – 42.
30. Rodríguez, G., Sepúlveda, J., Ramírez, C., Ortiz, F., Ramos, K., Bermúdez, J., Sierra, M., 2011. Unidades, petrografía y composición química del Complejo Migmatítico de Mitú en los alrededores de Mitú. *Boletín de Geología*, Vol. 33, No. 1, pp. 27 – 42.
31. Rodríguez, G., Bermúdez, J., Ramírez, C., Ramos, K., Ortiz, F., Sepúlveda, J., Sierra, M., 2013. Hierro oolítico en el área del municipio de Mitú (departamento de Vaupés, Amazonía Colombiana). *Boletín Ciencias de la Tierra*, No. 34, pp. 5 – 14.
32. Rodríguez, G., Sepúlveda, J., Ramírez, C., Ortiz, F., Ramos, K., Bermúdez, J., Sierra, M., 2011. Cartografía geológica y exploración geoquímica de la plancha 443 Mitú. INGEOMINAS. Medellín.

33. Rubio, A., González, H., Millán, A., Hernández, D., Ceballos, G., Cortés, M., Cárdenas, M., Benavidez, M., 2014. Estudio de cartografía geológica a escala 1:100.000 del bloque 6 en el Vichada. SGC. Bogotá.
34. Schneider, J., Hartmann, L., Gaudette, H., Groves, D., Mcnaughton, N., Fletcher, I., 2000. A New Understanding of the Provinces of the Amazon Craton Based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. *Gondwana Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 453 – 488.
35. Snelling, N., 1995. Book Review: The Geology of the Guiana Shield. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 8, No. 1, pp. 123 – 125.
36. Tassinari, C., Cordani, U., Nutman, A., Van Schmus, W., Bettencourt, J., Taylor, P., 1996. Geochronological Systematics on Basement Rocks from the Río Negro-Juruena Province (Amazonian Craton) and Tectonic Implications. *International Geology Review*, Vol. 38, pp. 161 – 175.
37. Tassinari, C., Macambira, J., 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. Episodes – Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences, Vol. 22, No. 3, pp. 174 – 182.
38. Vassallo, L., 2008. Yacimientos minerales metálicos. UNAM. México.
39. Vergara, J., y Perilla, C., 2001. Aspectos geológicos del nordeste del departamento del Vichada. INGEOMINAS. Bogotá.
40. Victoria, J., Cramer, T., de Oliveira, A., Horn, H., Poujol, M., 2021. Geochronology of monazite related to REE, Nb-Ta and U-Th bearing minerals from Mesoproterozoic anorogenic magmatism in the E-Colombian Amazonian Craton: links to mantle plume activity in the Columbia (Nuna) supercontinent. *Journal of South American Earth Sciences*, No. 109, pp.103 – 228.

Unidad	Descripción	Minerales principales	Minerales Alteración	Minerales Accesorios	
Complejo Mitú	Anfibolita	Hbl + And + Bt	Ep + Chl + Carb + Sausurita	Ill + Ap + Esf	
	Neises del Atabapo – Rio Negro	Neises anfibólicos	Src + Ep + Bt	Esf + Zr + Py	
		Cuarcitas	Qz + Ep + Bt + Pl + Msv + Oligisto	Aln + Piamontita	Zr + Mnz
		Neises cuarzofeldespáticos	And + Oli + Qz + Mc + Bt ± Msv	Src	Ill + Esf + Rut
		Neises aluminicos	Qz + Pl + Mc + Bt		Sill + And
	Granitos migmatíticos	Granitos	Pl + Anf	Mc + Bt	
Neises Araracuara	Neises	Mc + Qz + Pl + Bt + Msv	Src + Chl + Msv	Rut + Mag + Zr + Ill + All + Ep	
	Metaconglomerados	Qz + Mc + Pl + Bt + Msv	Src + Chl	Ap + Fluo + Zr + Esf	
Fm Tunuí	Cuarcitas sericíticas	Qz + Src			
	Cuarcitas de sericita-andalucita	Qz + Src + And			
	Cuarcitas ferruginosas				
	Metapelitas grafitosas M.Org				
	Metaconglomerados			(Au)	
Granito de Parguaza	Granitos biotíticos hornbléndicos	Mc + Qz + Pl + Bt + Hbl		Op + Zr + Fluo + Ap + Ep	
	Granitos de anfíbol sódico y de feldespato alcalino	Mc + Qz + Pl + Bt + Hbl		Zr + Op + Fluo + Ap + Ti	
Complejo Guaviare	Neis de Termales	Mc + Pl + Qz + Bt	Chl + Src	Ti + Cal + Zr + Ill + Msv(Tr)	
	Anfibolitas de Unilla	Pl + Hbl + Qz	Sausurita + Chl + Ep + Zoi	Ti + Bt + Ap + Ill + Mag	
	Cuarcitas de La Rompida	Qz + Pl + Mc + Msv	Src + Ep	Tur + Zr + Ti + Ap + Op	
Formación Piraparaná	Riodacitas	Mc + Oli + Qz		Rut + Mag + Ill + Zr + Ap	
	Comglomerados	Qz + Mc + clastos (granito, rocas volcánicas, areniscas, cuarcitas), matriz ferruginosa silícea/pelítica ± cemento de Carb			
	Areniscas	Qz + Mc		Tur + Zr	
Sienita Nefelínica de San José del Guaviare	La Pizarra, El Jordán	Mc + Nef + Pl + Bt + Arfv	Src + Ccn + Cao	Fluo + Esf + Grt + Zr + Ep + Cal + Op	
	El Capricho	Mc + Or + Nef + Ccn + Sdl		Bt + Arfv + Esf + Cal + Pirocloro + Op + Fluo + Zr + Ap	
	Las Delicias	Mc + Nef + Pl + Arfv	Src + Ccn	Fluo + Grt + Esf	

<b>Complejo Mitú</b>					
<b>Referencia</b>	<b>Roca</b>	<b>Edad (Ma)</b>	<b>± (Ma)</b>	<b>Método U-Pb</b>	<b>Autor</b>
UAH-1216	Monzogranito	1574	10		Ibañez et al. (2011)
AF-151	Granito de 2 micas	1521	32		Almeida et al. (1997)
8697-8679	Migmatita	1859			Gaudette and Olszewski (1985)
8699	Neis augen	1823			Gaudette and Olszewski (1985)
PRA-4	Granito	1552	34		Priem et al. (1982)
PRA-21	Granito	1480	70		Priem et al. (1982)
<b>Basamento Aracuara</b>					
EP-2	Neis biotítico	1721	9.6	SHRIMP	Cordani et al. (2016)
PR-3228	Paraneis	1800 - 1300		LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
11MIAr-18	Sienogranito	1539	20	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
11MIAr-22	Sienogranito	1716	16	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
11MIAr-07	Ortoneis	1721	16	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
J-263	Sienogranito	1732	17	LA-ICP-MS	Ibáñez et al. (2011)
PR-3215	Sienogranito	1756	8	LA-ICP-MS	Ibáñez et al. (2011)
<b>Departamento Vaupés - Río Apaporis</b>					
MA44	Diatexita	1788	11	LA-ICP-MS	Veras et al. (2018)
MA29	Diatexita	1798	11	LA-ICP-MS	Veras et al. (2018)
MA21A	Metagranito	1813	19	LA-ICP-MS	Veras et al. (2018)
AH-1213A	Ortoneis	1736	19	LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
PR-3001	Neis	1769	33	SHRIMP	Cordani et al. (2016)
HB-667	Monzogranito	1778.8	5.9	SHRIMP	Cordani et al. (2016)
AH-1231	Monzogranito	1510	26	LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
J-42	Paraneis	700 - 1900		LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
		2094	17	LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
J-36	Paraneis	2089	16	LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
		1800 - 1000		LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
AH-1419	Monzogranito	1530	21	LA-ICP-MS	Ibáñez et al. (2011)
AH-1216	Monzogranito	1574	10	LA-ICP-MS	Ibáñez et al. (2011)
PR-3092	Sienogranito	1578	27	LA-ICP-MS	Ibáñez et al. (2011)
CJR-19	Sienogranito	1593	6	LA-ICP-MS	Ibáñez et al. (2011)
AF-1	Granito con titanita	1518	25	ID-TIMS	Santos et al. (2000)
MS-63	Monzogranito	1810	9	ID-TIMS	Santos et al. (2000)
PA-22	Granito	1521	13	SHRIMP	Tassinari et al. (1996)
UA-39	Cuarzo diorita	1703	7	ID-TIMS	Tassinari et al. (1996)
<b>Departamento Guanía</b>					
J-199	Ortoneis	1796.1	3.7	SHRIMP	Cordani et al. (2016)
J-98	Monzogranito	1752	21	LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
J-159	Tonalita	1770	40	LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
J-127	Ortoneis tonalítico	1775.3	7.7	SHRIMP	Cordani et al. (2016)
PR-3141	Neis biotítico	1501	9.5	SHRIMP	Cordani et al. (2016)
J-84	Monzogranito	1507	22	SHRIMP	Cordani et al. (2016)
AH-1248	Paraneis	1120 - 1250		LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
		650		LA-ICP-MS	Cordani et al. (2016)
10MIGU-27	Monzogranito	1500	15	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-23	Monzogranito	1504	20	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-26	Sienogranito	1509	14	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-33	Granito	1516	16	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-30	Granito	1795	15	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-31	Granito	1795	18	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-32	Granito	1797	17	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-29	Monzogranito	1806	17	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-28	Sienogranito	1810	16	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
6580-6085	Tonalita	1834	18	SHRIMP	Tassinari et al. (1996)
<b>Departamento Vichada - Río Orinoco</b>					
10MIGU-10	Leucogranito	1984	18	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-11	Granito	1424	21	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)
10MIGU-12	Monzogranito	1989	21	LA-ICP-MS	Ibáñez (2014)

<b>Formación Tunuí</b>			
<b>Edad (Ma)</b>	<b>± (Ma)</b>	<b>Método U-Pb</b>	<b>Autor</b>
1800-2000		LA-ICP-MS	Bonilla et al. (2021)
1778	19	LA-ICP-MS	Bonilla et al. (2021)
1694	21	LA-ICP-MS	Bonilla et al. (2021)
1720	11	SHRIMP	Santos (2003)
1520	32	SHRIMP	Santos (2003)
1916	57	SHRIMP	Santos et al. (2000)

<b>Granito Rapakivi de Parguaza</b>			
<b>Referencia</b>	<b>Edad (Ma)</b>	<b>± (Ma)</b>	<b>Autor</b>
10MIGU-03	1388	13	Ibáñez (2014)
10MIGU-06	1401	14	Ibáñez (2014)
10MIGU-05	1402	13	Ibáñez (2014)
10MIGU-01	1405	12	Ibáñez (2014)
10MIGU-02	1408	14	Ibáñez (2014)
JMH0039	1299	90	Rubio et al. (2014)
AMV0068	1441	14	Rubio et al. (2014)
JMH0011	1437	61	Rubio et al. (2014)
CAM0076	1458	25	Rubio et al. (2014)
Col-21	1392	5	Bonilla et al. (2013)
Col 16	1401	2	Bonilla et al. (2013)
Granito Parguaza	1545	20	Gaudette et al. (1978)

<b>Complejo Guaviare</b>				
<b>Unidad</b>	<b>Roca</b>	<b>Edad (Ma)</b>	<b>± (Ma)</b>	<b>Método U-Pb</b>
Neis de Termales	Neis de feldespató y cuarzo con biotita	1312	11	LA-ICP-MS
Anfibolita de Unilla	Anfibolita	1313	12	LA-ICP-MS

<b>Sienita Nefelínica de San José del Guaviare</b>				
<b>Referencia</b>	<b>Edad (Ma)</b>	<b>± (Ma)</b>	<b>Método U-Pb</b>	<b>Autor</b>
JDB-0001R	604	7	LA-ICP-MS	Maya et al. (2018)
OPP-0074R	621	7	LA-ICP-MS	Maya et al. (2018)
-	608	1	LA-ICP-MS	Franco et al. (2018)
Zircon_14_023	575.7	6.1	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_28_040	555.7	10.6	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_5_012	571.1	9.3	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_10_018	633.1	18.7	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_11_020	606.8	21.4	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_12_021	624.7	13.1	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_15_024	682.7	22.7	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_16_026	598.2	20.6	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_18_028	602.6	17.8	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_19_029	595.6	14.8	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_2_009	595.2	11.4	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_20_030	649.2	6.2	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_24_035	617.5	10	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_25_036	660.1	15.1	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_29_041	601.1	9.8	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_31_044	596.3	8	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_33_046	670.5	14	ICP-MS	Arango et al. (2012)
Zircon_8_016	592.1	13.6	ICP-MS	Arango et al. (2012)

Ambiente	Referencia
<b>Complejo Mitú</b>	
Magmatismo y metasomatismo. Granitoides tipo S, calcoalcalinos, metaluminosos, sin colisionales a post orogénicos, magmas juveniles del manto	Bonilla et al. (2019)
Orogenia Querarí	Kroonenberg (2018)
Metamorfismo, subcalcalino, rico en K, metaluminoso-peraluminoso, ferroso, granitos tipo A	Rodríguez et al. (2011)
Metamorfismo, facies anfibolita hasta granulita, anatexis, granitos intraplaca tipo A oxidados, series magnetita	Rodríguez et al. (2011)
Subducción, acreción cinturón orogénico, episodios magmáticos, formación supercontinete Columbia.	López et al. (2007)
Corteza juvenil de magmas manto derivados y reciclamiento de la corteza continental.	
Sedimentación, plutonismo, metamorfismo HT y LP, facies anfibolita, metasomatismo	Galvis et al. (1979)
<b>Formación Tunuí</b>	
Sedimentación fluvial y deformación de bajo grado	Veras et al. (2018)
Sedimentación fluvio-deltaica,	Kroonenberg (2018)
Deposición continental, aluvial	Galvis-Vergara (1993)
Fluvial, abanicos aluviales, deltaico	Renzone (1989)
<b>Granito de Parguaza</b>	
Postcolisional, pulsos magmáticos, fusión por descompresión y enfriamiento lento	Bonilla et al. (2021)
Rifting, anorogénico	Kroonenberg (2018)
Pulsos sucesivos magmáticos anorogénicos, granito tipo A	Bonilla et al. (2013, 2016)
Granito intraplaca	Rubio et al. (2014)
Extensión, rifting intraplaca	Gaudette et al. (1978)
Magmatismo intraplaca, extensa cristalización fraccionada de un magma toleítico, rico en alúmina	Mendoza (1972, 1977)
<b>Complejo Guaviare</b>	
Neis de Termale: Metamorfismo regional en facies anfibolita, protolito igneo, monzogranito, magmatismo Maya et al. (2018)	
anorogénico, rifting	
Anfibolita de Unilla: Metamorfismo regional de medio a alto grano en facies anfibolita, protolito máfico, rifting	Maya et al. (2018)
Cuarcita de La Rompida: Metamorfismo regional en facies anfibolita baja o esquistos verde, Protolito pelítico, cuarzoareniscas y arcosas	Maya et al. (2018)
Cornubianas: Metamorfismo regional en facies anfibolita y posterior metamorfismo de contacto por la SNSJG	Maya et al. (2018)
<b>Órógeno Putumayo</b>	
Cinturón orogénico colisional, arco de islas, ensamblaje final de Rodinia	Ibáñez et al. (2011, 2015, 2020)
<b>Formación Piraparaná</b>	
Sedimentación continental	Kroonenberg (2018)
Volcanismo	Rodríguez et al. (2011)
Cuenca foreland, orógeno Putumayo	Ibáñez (2010)
Sedimentación y volcanismo syn - rift, graben del Guejar - Apaporis, colapso orógeno Putumayo	Ibáñez (2010)
Magma básico alcalino	Huguett et al. (1979)
Volcanismo y sedimentación fluvial	Galvis et al. (1979)
<b>Sienita Nefelínica de San José del Guaviare</b>	
Anorogénico, manto derivado, alcalino, rifting	Maya et al. (2018)
Magmatismo intraplaca, peralcalino, ferroso, extensión, fuente con alta interacción con la corteza continental	Rincón y Concha (2018)
Magmatismo alcalino y máfico	Kroonenberg (2018)
Magmatismo alcalino de intraplaca, orogenia Panafricana	Franco et al. (2018)
Magmatismo alcalino de intraplaca, orogenia Panafricana	Arango et al. (2012)
Granito tipo A, intraplaca, alcalino, ferroso; formado por Anatexis - ultrametamorfismo en rocas metamórficas (¿Restitas?)	Arango et al. (2011)
Peralcalino, última etapa de magmatismo por fusión parcial y extensión bajo la cuenca de los Llanos Orientales	Toussaint (1993)