



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Petrografía y Geoquímica de la Granodiorita de Ipapure y su relación con las rocas encajantes en la Alta Guajira - Colombia

Paula Andrea Ríos Blandón

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias
Bogotá, Colombia
2016

Petrografía y Geoquímica de la Granodiorita de Ipapure y su relación con las rocas encajantes en la Alta Guajira - Colombia

Paula Andrea Ríos Blandón

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias - Geología

Director:

Ph.D., Carlos Augusto Zuluaga Castrillón

Línea de Investigación:

Rocas metamórficas y tectónica

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias
Bogotá, Colombia

2016

Dedicatoria

*A mis padres, y a mi familia Adrián y Noah
Matthias*

Agradecimientos

La autora desea expresar su sentida gratitud a:

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, sede Bogotá y al Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS, entidades que en uso del Acuerdo Específico 030 de 2006 hicieron posible la consecución de recursos financieros, logísticos, técnico-científicos y educativos para la ejecución de este proyecto, enmarcado dentro de un proyecto de investigación colaborativa mayor denominado **Cartografía e Historia Geológica de la Alta Guajira, implicaciones en la búsqueda de Recursos Minerales**.

Asimismo a la comunidad Wayú de la Alta Guajira por su colaboración en todas las actividades de campo.

Resumen

En el sector sureste de la Alta Guajira colombiana, cerca de la frontera venezolana, aflora la Granodiorita de Ipapure en los cerros de Maluwayán, Palaceo, Patajash, al este de la Laguna de Kosichi y en pequeños remanentes aislados que sobresalen en la planicie aluvial en los alrededores de la Ranchería Maruayán. Esta unidad está compuesta por tonalita, diorita, granodiorita y monzodiorita, afectadas por diques de tonalita, diorita y dacíticos, algunos de ellos con textura aplítica y enclaves máficos finogranulares de granodiorita y tonalita.

La interpretación de los análisis geoquímicos para las 19 muestras, evidencian una tendencia lineal, lo que se interpreta aquí como proveniencia a partir de un solo magma. Los diagramas de discriminación muestran que las litologías tienen afinidad con la serie Calcoalcalina y que el ambiente tectónico puede estar relacionado con pre colisión de placas o con un arco volcánico (VAG, diagrama Pearce et al., 1984). Las proporciones Sm/Nd de la Granodiorita de Ipapure respecto a los principales reservorios geoquímicos de la corteza y el manto apuntan a que la unidad hace parte de la zona de basaltos continentales enriquecidos dentro de la corteza continental. Las relaciones de campo con la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta indican una edad muy cercana a la que se reporta para la riodacita (ca.180 M.a., Zuluaga et al., 2015).

Palabras clave: Granodiorita de Ipapure, variedad composicional, ambiente de Arco Volcánico.

Abstract

In the southeastern sector of the Alta Guajira (Colombia,) near the Venezuelan border, the "granodiorite Ipapure" crops out in the hills of Maluwayán, Palaceo, Patajash, east of Laguna Kosichi and small isolated remnants protruding on the alluvial plain around "Rancheria de Maruayán". This unit is composed of tonalite, diorite, granodiorite and monzodiorita, affected by tonalite, diorite and dacitic dikes, some with aplitic textures and fine-grained mafic and tonalite-granodiorite enclaves.

Geochemical analysis of 19 samples show a linear trend indicating a single magma origin for the unit. Discrimination diagrams show a calc-alkaline affinity and two probable tectonic settings: pre- plate collision and volcanic arc granitoids (VAG, diagram of Pearce et al., 1984). Sm / Nd proportions point to continental basalts enriched in the continental crust origin. Field relations indicate that the age of the granodiorite is close to the age of the Ipapure Rhyodacite (ca. 180 M.a., Zuluaga et al., 2015).

Keywords: Ipapure granodiorite, compositional variety, environment Volcanic Arc.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras.....	XI
Lista de tablas	XVI
Introducción.....	1
1. Objetivos.....	3
1.1 Objetivo General.....	3
1.1.1 Objetivos Específicos.....	3
2. Justificación	5
3. Localización.....	7
4. Metodología de Trabajo	9
4.1 Fase pre-campo.....	9
4.1.1 Recopilación Bibliográfica	9
4.1.2 Sensores Remotos.....	10
4.2 Fase de campo.....	11
4.3 Fase post-campo	12
5. Antecedentes Bibliográficos	17
6. Marco Geológico Regional	19
6.1 Litologías	19
6.1.1 Rocas metamórficas	19
6.1.2 Rocas Ígneas.....	22
6.1.3 Rocas Sedimentarias	24
6.2 Estructuras	31
7. Geología de la Granodiorita de Ipapure.....	35
7.1 Afloramientos.....	35
7.2 Geomorfología.....	37
7.3 Descripción.....	38
7.3.1 Granodiorita	39
7.3.2 Monzodiorita	41
7.3.3 Diorita	44
7.3.4 Tonalita	46

7.3.5	Enclaves.....	50
7.3.6	Diques.....	52
7.4	Contactos.....	54
7.5	Edad.....	61
8.	Geoquímica.....	63
8.1	Elementos Mayores.....	63
8.1.1	Diagramas de discriminación de series magmáticas.....	66
8.1.2	Diagramas de clasificación químico . mineralógica y de asociación magmática.....	71
8.2	Ambiente tectónico y condiciones de emplazamiento de la Granodiorita de Ipapure.....	75
9.	Isotopía.....	79
9.1	Métodos analíticos.....	79
9.1.1	Análisis Rb/Sr.....	79
9.1.2	Análisis Sm/Nd.....	80
9.2	Nd vs $87\text{Sr}/86\text{Sr}$	82
10.	Discusión.....	85
11.	Conclusiones.....	91
A.	Anexo: Análisis Petrográfico.....	93
	Bibliografía.....	95

Lista de figuras

	Pág.
Figura 3-1: Mapa de localización de la zona de estudio, la cual se encuentra ubicada en el sector sureste de la Península de La Guajira, en límites con la República Bolivariana de Venezuela.....	8
Figura 6-1: Mapa de localización de las unidades metamórficas aflorantes en La Alta Guajira. (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).....	20
Figura 6-2: Mapa de localización de las unidades ígneas aflorantes en La Alta Guajira. (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).....	22
Figura 6-3: Mapa de Localización de las unidades Triásico-Jurásicas de La Alta Guajira (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).....	24
Figura 6-4: Mapa de distribución de las unidades Cretácicas de La Alta Guajira (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).....	26
Figura 6-5: Mapa de localización de las unidades Terciarias de edad Paleógeno y Neógeno de La Alta Guajira (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).....	28
Figura 6-6: Mapa de localización de las unidades Cuaternarias de La Alta Guajira (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).....	30
Figura 6-7: Mapa de localización de las principales fallas aflorantes en La Alta Guajira (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).....	32

Figura 7-1: Mapa de localización de la unidad Granodiorita de Ipapure, localizada al SW de la Península de la Guajira, donde se observan los mejores afloramientos de la unidad Granodiorita de Ipapure. 36

Figura 7-2: Se observa el contraste morfológico entre la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta, la cual se caracteriza por cerros puntiagudos con pendientes medias a altas, mientras que la Granodiorita de Ipapure, se dispone en el cambio de pendiente en el Cerro Patajash, caracterizado por la acumulación a media ladera de montículos formado por bloques métricos de granodiorita y sobre la planicie aluvial del Arroyo Maulualu. 37

Figura 7-3: En esta fotografía se observa la geomorfología que montículos bajos (co alturas de aproximadamente 2m., de altura), con formas alargadas, dispuestos aleatoriamente sobre la planicie aluvial en los alrededores de la Ranchería Maruayán. La característica principal de estas geoforma es que se encuentra conformado por bloques métricos (tamaño Boulder) de la Granodiorita de Ipapure. 38

Figura 7-4: Triangulo QAP de Streckeisen (1976) para clasificar rocas ígneas intrusivas. Muestras de tonalitas (PAR179, PAR001C, PAR211B, PCPR 088, PAR 024B), diorita (PAR016), monzodiorita (PAR 024A), granito (PAR208X3, PAR208X5, PAR 091), granodiorita (PAR 013) y diques de granitoides ricos en cuarzo (PAR262, PAR 210, PAR207R)..... 39

Figura 7-5: Fotografías de sección delgada de la muestra PAR 091, donde se observa una roca con textura fanerítica, compuesta por cristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato altamente alterado a sericitizada y saururita y biotitas cloritizadas. Aumento 4X. A. PPL. B. PPX..... 40

Figura 7-6: Fotografías de sección delgada de la muestra PR024A, correspondiente a Monzodioritas dentro de la unidad Granodiorita de Ipapure, en las cuales se observa una roca con textura holocristalina fanerítica. Qz: Cuarzo, Ep: Epidota. A. PPL. B. PPX. Aumento 4X. A. PPL. B. PPX..... 42

Figura 7-7: Fotografías de secciones delgadas de las muestras PAR013, correspondientes a Dioritas con textura fanerítica, compuesta por cristales de cuarzo (Qtz), plagioclasa (Pl) con alto grado de alteración a sericita (Ser) y cristales de clorita (Chl) y epidota (Ep). Aumento 4X. A. PPL, B. PPX. 44

Figura 7-8: Fotografías de secciones delgadas de las muestras PAR149 (A y B) y PAR088 (C), correspondientes a Tonalitas con textura holocristalina fanerítica, compuesta por Cuarzo (Qtz), Sericita (Ser), Clorita (Chl), Plagioclasa (Pl). Aumento 4X. A y C. PPX, B. PPL. 48

Figura 7-9: Fotografías de sección delgada de la muestra PAR208X5, correspondiente a un enclave con textura fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica, finogranular de color gris

oscuro, cuya superficie presenta una textura rugosa y opaca y alto grado de alteración, compuesto por cristales de cuarzo, andesina, biotita, hornblenda, minerales opacos (Op), epidota (Ep), sericita (Ser), sausruta y clorita (Chl) con aumento de 4X. A. PPL. B. PPX
õ ..51

Figura 7-10: Fotografías de sección delgada de la muestra PAR024B, correspondiente a un dique con textura aplítica, fanerítica, holocristalina, tamaño de grano fino, compuesto por cuarzo (Qtz), Biotita (Bt), epidota (Ep), clorita (Chl) y minerales opacos (Op) con aumento de 4X. A. PPL. B. PPX.....õ õ õ õ õ ...õ 53

Figura 7-11: Fotografías de sección delgada de la muestra PR10ID006A, correspondientes a diques de textura porfídica con matriz microcristalina, afanítica con fenocristales de cuarzo (Qtz), plagioclasa sericitizada (Ser), clorita, minerales opacos y óxidos de hierro, muscovita y carbonatos con aumento de 4X. A. PPL. B. PPXõ õ õ õ õ 54

Figura 7-12: El contacto entre la Granodiorita de Ipapure y el Cerro La Teta en el sector de los cerros de Maluwayan y Patajash va por el cambio de pendiente que se observa a media ladera y se extiende hacia la planicie aluvial de los afluentes del Arroyo Maulualu, dispuesto en montículos conformados por bloques métricos de granodioritaõ õ õ õ õ ...56

Figura 7-13: Se observa el alto grado de diaclasamiento, meteorización y fracturamiento de los afloramientos donde se encuentra la zona de contacto entre la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita de Ipapure - Cerro La Teta en los alrededores del Arroyo Maluwayan, en la parte media del Cerro Maluwayan (Estación PCPR 080)õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ 56

Figura 7-14: Macroscópicamente las rocas asociadas al contacto entre la Granodiorita de Ipapure . Cerro La Teta, muestra una textura porfirítica, compuesta por una matriz microcristalina con tamaño de grano fino y presencia de fenocristales como se observa en la muestra de la estación PCPR 080 en el Cerro Maluwayan con alto grado de meteorizaciónõ .57

Figura 7-15: Fotografías de sección delgada de la muestra PCPR080, correspondientes enclaves con textura porfídica, tamaño de grano fino que embebe cristales de cuarzo (Qtz), Plagioclasa (Pl) con macla de periclina y alterada a sericita; Biotita, epidota (Ep), clorita (Chl), circones y minerales opacos. Aumento de 4X. A. PPL. B. PPX.....59

Figura 7-16: Fotografías de sección delgada de la muestra PAR 002, correspondiente a las rocas del contacto, localizadas en la parte baja del Cerro Patajash, la cual presenta una textura holocristalina con relación matriz:fenocristales 60:40. La matriz presenta un tamaño de grano muy fino, compuesta por cristales de cuarzo (Qtz) y plagioclasa sericitizada (Ser), mientras que los fenocristales presentan un tamaño de grano variable desde finos hasta gruesos con una distribución inequigranular seriada, formas subhedrales a euhedrales, generando una textura hipidiomórfica con aumento de 4X. A. PPL. B. PPXõ õ õ õ õ õ ..60

Figura 8-1: Variación de los elementos mayores respecto al contenido de SiO_2 (en base anhidra) para las 19 muestra de la %Granodiorita de Ipapure+...65

Figura 8-2: Diagramas TAS (*Total Alkali Silica*) para las muestras de la granodiorita de Ipapure **A.** Middlemost (1985), **B.** Diagrama de Cox et al (1979)...67

Figura 8-3: Diagrama multicatiónico de Debon & Le Fort PQ (1983) para la Granodiorita de Ipapure, en el cual se correlaciona el contenido de cuarzo (parámetro Q) con el contenido de feldespato potásico (parámetro P)...68

Figura 8-4: Diagramas de discriminación de series magmáticas de la unidad Granodiorita de Ipapure. **A.** Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971). **B.** Diagrama, $\text{Fe}^*/\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ de Miyashiro (1974) y **C.** Diagrama $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ de Peccerillo & Taylor (1976). Nótese que la unidad presenta afinidad a la serie calco . alcalina...69

Figura 8-5: Diagrama multicatiónico de Debon & Le Fort BA (1983) aplicado en las 19 muestra de la %Granodiorita de Ipapure+...71

Figura 8-6: Diagrama B-A plot de Villaseca et. al (1998), aplicado a las 19 muestra de la %Granodiorita de Ipapure+. Dentro de este diagrama tenemos que una muestra (PAR045) queda en el campo h-P del dominio Peraluminoso, tres muestras en el campo I-P (PAR195A, PAR002 y PAR101) dentro del dominio Peraluminoso y el resto de las muestras quedan contenidas en el campo de los granitoides Metaaluminosos...73

Figura 8-7: Diagrama A/CNK . A/NK plot de Shand (1953), en el cual se observa que la mayoría de las muestras pertenecen al campo de los granitoides metaaluminosos, mientras que las muestras (PAR045, PAR195A, PAR 101 y PAR002) pertenecen a los granitoides peraluminosos...74

Figura 8-8: Diagrama de discriminación geotectónica de Batchelor & Bowden (1985), corresponde a un diagrama binario en milcaciones en el que se relacionan algunos de los

elementos mayores representados en R1: $4Si-11(Na+K) - 2(Fe+Ti)$ y R2: $6Ca+2Mg+Al$. 74

Figura 8-9: Diagramas binarios para granitoides, propuestos por Maniar & Piccoli (1989), en los cuales se relacionan diferentes elementos como: SiO_2 Vs K_2O , SiO_2 Vs Al_2O_3 y SiO_2 Vs $FeOt/(FeOt+MgO)$ y otros diagramas que relacionan MgO Vs $FeOt$, CaO Vs $FeOt+MgO$ y A/CNK Vs A/NK . 75

Figura 8-10: Diagramas binarios de Pearce et al. (1984) en los que se relacionan elementos trazas para la clasificación geotectónica de granitoides, en los cuales se relacionan los siguientes elementos $\log(Y+Nb)$ vs. $\log Rb$, $\log Y$ vs. $\log Nb$, $\log(Ta+Yb)$ vs. $\log Rb$, $\log Yb$ vs. $\log Ta$ para las 19 muestras de la Granodiorita de Ipapure+, las cuales caen en el campo de los granitoides de arcos volcánicos (VAG). 78

Figura 9-1: Proporciones de Sr y Nd de la Granodiorita de Ipapure, respecto a los principales reservorios geoquímicos de la corteza y el manto, donde la composición isotópica de la mayoría de la Tierra cae en la intersección de la línea horizontal $Nd = 0$ y la línea vertical segmentada en $87Sr/86Sr = 0.705$ (La línea es segmentada porque la proporción $87Sr/86Sr$ de la mayoría de la Tierra es un tanto incierta) y las flechas con los etiquetas ϵ_{Sr} enriquecido+ y ϵ_{Nd} empobrecido+ muestran donde se encuentran los reservorios enriquecidos y empobrecido en elementos incompatibles. 81

Lista de tablas

Pág.

Tabla 3-1: Coordenadas planas que enmarcan la zona de estudio a escala 1:25.000, pertenecientes a las planchas 10IB, 10ID, 10IIA y 10IIC
 .. 7

Tabla 6-1: Descripción general de las unidades de rocas metamórficas aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
 .. 21

Tabla 6-2: Descripción general de las rocas ígneas aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
 .. 23

Tabla 6-3: Descripción general de las rocas sedimentarias de edad Triásica . Jurásica, aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
 .. 25

Tabla 6-4: Descripción general de las rocas sedimentarias de edad Cretácica, aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
 .. 27

Tabla 6-5: Descripción general de las rocas sedimentarias de edad Paleógeno y Neógeno, aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
 .. 29

Tabla 6-6: Fallas que pertenecen al sistema N-NE, que se observan en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
 .. 33

Tabla 6-7: Fallas que pertenecen al sistema NW-SE, que se observan en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
 .. 34

Tabla 6-8: Fallas que pertenecen al sistema E-W, el cual incluye la falla de Cuisa y el Boque de deformación Iruán (BDI) que se observan en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
 .. 34

Tabla 7-1: Tabla que muestra la distribución de los componentes presentes a partir del análisis de la sección delgada perteneciente a las Granodioritas, que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure
 .. 41

Tabla 7-2: Tabla que muestra la distribución de los componentes presentes a partir del análisis de la sección delgada perteneciente a las Monzodioritas, que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure 43

Tabla 7-3: Tabla que muestra la distribución de los componentes a partir del análisis de las secciones delgadas pertenecientes a la Diorita, que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure 45

Tabla 7-4: Tabla que muestra la distribución de los componentes a partir del análisis de las secciones delgadas pertenecientes a las Tonalitas, que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure..... 49

Tabla 7-5: Tabla que muestra la distribución de los componentes presentes a partir del análisis de la sección delgada perteneciente a los enclaves que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure 51

Tabla 7-6: Tabla que muestra la distribución de los componentes presentes a partir del análisis de la sección delgada perteneciente a los diques que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure..... 53

Tabla 7-7: Listado de muestras con cálculo cuantitativos barométricos y termométricos para la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita de Ipapure, a través del geobarómetro de Al en Hornblenda y los geotermómetros Anfíbol+Plagioclasa+Titanio en Biotita (SGC & UNAL, 2013)..... 55

Tabla 8-1: Tabla Resumen de los datos brutos obtenidos de 19 muestras de la Granodiorita de Ipapure. La tabla corresponde a los datos de óxidos mayores.....64

Tabla 9-1: Resultados de los análisis Rb-Sr para la Granodiorita de Ipapure..... 80

Tabla 9-2: Datos isotópicos de Sm/Nd de la Granodiorita de Ipapure.....81

Tabla 9-3: Resultados de los valores de Nd y la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para la Granodiorita de Ipapure.....82

Introducción

Este documento presenta una redefinición de la unidad Granodiorita de Ipapure a partir de las observaciones detalladas en campo, del muestreo sistemático de las rocas que conforman la unidad, de los análisis petrográficos de secciones delgadas, y de análisis químicos e isotópicos. La metodología empleada permitió mejorar el conocimiento de las relaciones espaciales y genéticas de la granodiorita de Ipapure y su relación con las rocas encajantes.

La Granodiorita de Ipapure es un cuerpo ígneo, el cual intruye al norte de la zona de Ipapure, la secuencia de lavas riodacíticas de La Teta . Ipapure. Las rocas son de color gris claro a ligeramente verdoso, y están constituida por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita, anfíbol y como accesorios, apatito, circón y óxidos de hierro. Hasta el momento no se tienen claras las características del magma que originó la unidad, sus particularidades petrográficas, geoquímicas y su posible ambiente tectónico; estas características han sido referidas de manera indirecta en trabajos de orden regional (Radelli, 1960; Rodríguez y Londoño 2002; Muñoz, 2005).

La importancia de caracterizar esta unidad radica en que este es un cuerpo magmático que puede aportar claves importantes acerca de la tectónica durante el Jurásico - Cretácico. Los nuevos datos presentados aquí, aportan elementos de discusión acerca del ambiente tectónico del magmatismo Jurásico en Colombia y en particular en la Alta Guajira.

Es clave entender, por ejemplo, si su origen está relacionado tectónicamente con la formación de un rift continental o está asociado a un arco magmático. Asimismo, no se tiene claridad sobre la composición química del cuerpo con el fin de realizar comparaciones con otros cuerpos en Colombia de tal forma que se pueda relacionar con cuerpos de la misma edad a lo largo de los Andes de Colombia.

Los datos mostrados en este trabajo provienen del trabajo de campo, análisis petrográficos y estudios geoquímicos e isotópicos. En el trabajo de campo se determinaron las características mesoscópicas y macroscópicas de la unidad, y su composición mineralógica,

además se delimitó espacialmente y se determinó su relación con las rocas circundantes. El análisis petrográfico de secciones delgadas permitió relacionar la mineralogía, la composición, y las microestructuras en la Granodiorita de Ipapure con las rocas encajantes. El estudio geoquímico (elementos mayores, trazas, e isotopos) permitió discriminar a través de una serie de diagramas las series magmáticas a la cual pertenece la unidad, su clasificación químico mineralógica y de asociación magmática y proponer el ambiente tectónico y las condiciones de emplazamiento de la Granodiorita de Ipapure y por otra parte ubicar la unidad dentro de los principales reservorios geoquímicos de la corteza y el manto.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Analizar los Aspectos Petrográficos y Geoquímicos de la Granodiorita de Ipapure y su relación con las rocas encajantes en la Alta Guajira, Colombia.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analizar la información petrográfica y geoquímica de la unidad Granodiorita de Ipapure.
- Determinar los efectos generados por la Granodiorita de Ipapure en las rocas encajantes.

2. Justificación

La Granodiorita de Ipapure es una roca ígnea intrusiva, generada a partir del ascenso e intrusión de un magma posiblemente de composición variable entre básico e intermedio, rico en cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato, biotita, anfíbol y minerales accesorios.

Esta unidad ígnea cobra importancia dentro de la evolución geológica de la Alta Guajira, dado que este tipo de rocas en algunas ocasiones se asocian a zonas con debilidades estructurales que permiten el ascenso y emplazamiento de este tipo de rocas y el ascenso de fluidos enriquecidos que pueden transportar minerales económicamente rentables. Otro de los aspectos importantes de esta unidad está relacionado con la confusión existente acerca de la edad exacta de estas rocas, ya que Radelli (1960), le asigna una edad Paleozoico Superior relacionada con la Orogenia Hercíniana, posteriormente MacDonald & Opdyke (1972) reportan para ella una edad de 120 ± 4 M.a., obtenida a través del método de datación K/Ar en roca total, otorgándole una edad Cretácica.

A partir de las apreciaciones anteriores, los estudios petrográficos y geoquímicos se enfocarán en dilucidar la composición química de estas rocas, complementado con datos cuantitativos de óxidos mayores, elementos traza e isotopos. Lo anterior permitirá discriminar las posibles diferentes unidades litológicas dentro de la Granodiorita de Ipapure y establecer su señal geoquímica. Al mismo tiempo se busca entender cuál es la relación geoquímica con las rocas encajantes, i.e., si se presentan similitudes en los magmas que generaron la Granodiorita de Ipapure y las rocas volcánicas representadas por la unidad Riodacita de Ipapure - Cerro La Teta.

Uno de los fines es identificar las variaciones composicionales dentro del cuerpo, además se busca establecer si los diques o venas que lo afectan causan cambios texturales o composicionales en la granodiorita. Esto permitirá plantear un modelo de ambiente tectónico y de emplazamiento de esta unidad, constituyéndose en un aporte significativo

en la evolución geológica de la Alta Guajira y por ende de la tectónica del norte del Caribe suramericano.

El tener claro las relaciones espaciales de la Granodiorita de Ipapure con las rocas encajantes y un modelo de ambiente tectónico para este sector de la Alta Guajira, redundará en el conocimiento de la comunidad científica interesada en estudios particulares relacionados con la geología de este sector y para aquellos que trabajan en la proposición de modelos de evolución geodinámica y específicamente en la determinación de yacimientos minerales con fines económicos, asociados a este ambiente tectónico.

3. Localización

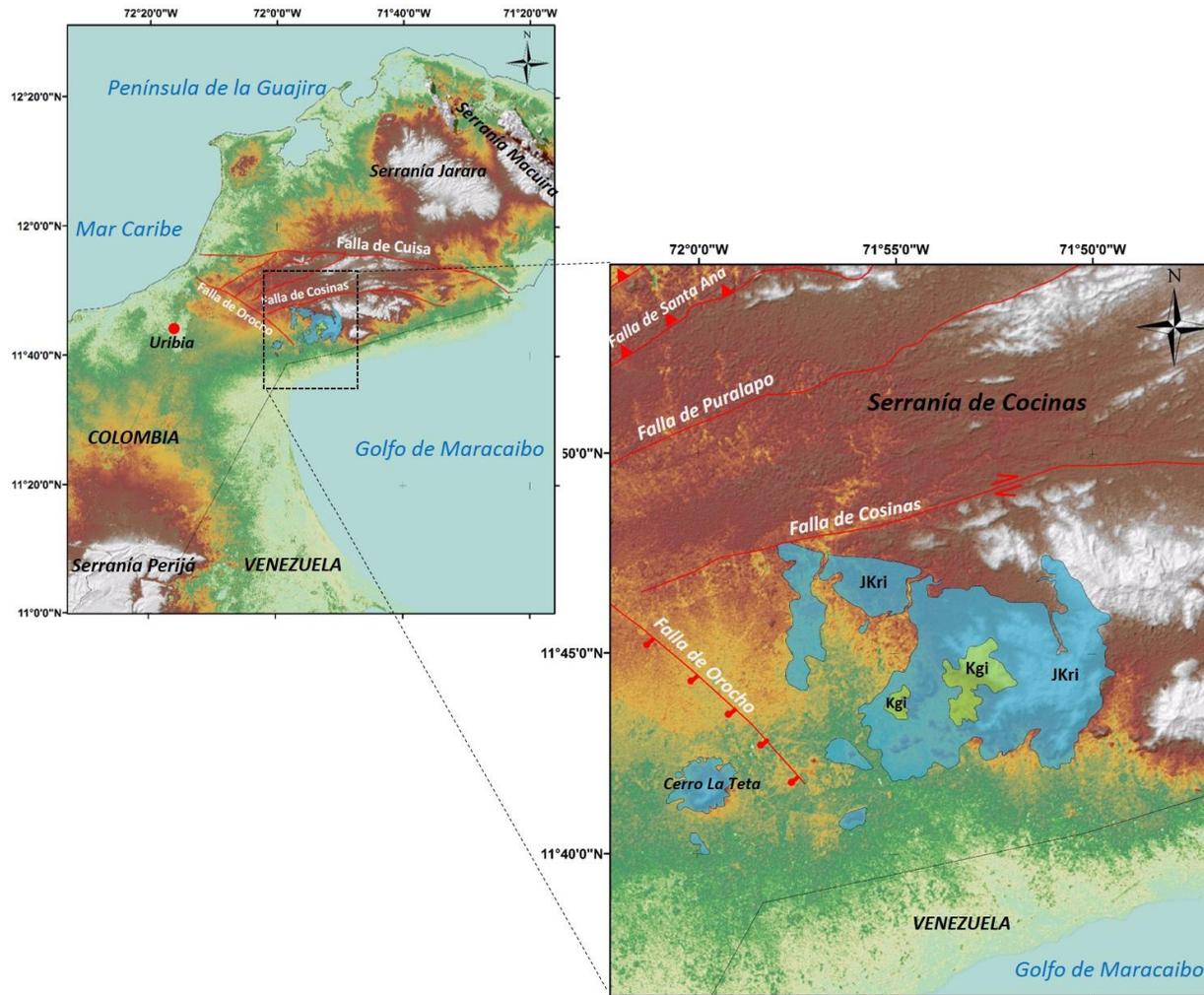
La zona de estudio, se encuentra localizada en el extremo sureste de la Península de La Guajira, en límites con la República Bolivariana de Venezuela (Figura 3-1), rodeada por algunas serranías como el Cerro La Teta, Loma Ipapure, Loma Maruayán y cerro Uitpana, las cuales no superan los 400 msnm, haciendo parte de la región natural de la Alta Guajira, perteneciente al municipio de Uribia.

Por otra parte, la zona de interés, presenta características propias como que es una región semidesértica y de poca vegetación, enmarcada dentro de las planchas 10IB, 10ID, 10IIA y 10IIC, cuyas coordenadas planas se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3-1: Coordenadas planas que enmarcan la zona de estudio a escala 1:25.000 con Datum Magna y origen en la zona este, pertenecientes a las planchas 10IB, 10ID, 10IIA y 10IIC.

SECTOR	NORTE	ESTE
Superior Izquierda	1792000	908000
Superior Derecha	1792000	914500
Inferior Derecha	1786500	914500
Inferior Izquierda	1786500	918000

Figura 3-1: Mapa de localización de la zona de estudio, la cual se encuentra ubicada en el sector sureste de la Península de La Guajira, en límites con la República Bolivariana de Venezuela.



4. Metodología de Trabajo

Las características geográficas y climáticas que predomina en la región natural de la Alta Guajira permitió el uso extensivo de herramientas de sensores remotos. Esta información sirvió como base para la etapa de campo, donde se hizo una cartografía de detalle de las unidades litológicas aflorantes en las planchas 10IB, 10ID 10IIA y 10IIC a escala 1:25.000.

De igual forma, para desarrollar los objetivos planteados dentro del proyecto, se llevaron a cabo una serie de fases organizadas de manera sistemática y coherente, las cuales se describen a continuación:

4.1 Fase pre-campo

Esta etapa consiste en una serie de actividades relacionadas con la adquisición, búsqueda, recopilación y análisis de información e insumos que se utilizarán en las fases de recopilación bibliográfica y sensores remotos que permitan el buen desarrollo de las etapas de campo en fases posteriores.

4.1.1 Recopilación Bibliográfica

Durante esta etapa se realizaron actividades relacionadas con la búsqueda, adquisición, compilación y análisis de la información existente relacionada con la unidad Granodiorita de Ipapure y las rocas circundantes, tanto en formato análogo como digital. Para ello se utilizó la información que reposa en entidades públicas, privadas y en la Web, referente a la zona de interés como las bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, INGEOMINAS, IGAC, ANH, portales de Internet de relevancia científica (por ejemplo ScienceDirect), donde se investigaron aspectos como: Características mineralógicas, geoquímicas, espacio-temporales de la unidad Granodiorita de Ipapure, características de las rocas encajantes e información en artículos científicos a nivel

nacional e internacional concernientes con el tema de trabajo.

Esta fase se ejecuta durante todo el tiempo del desarrollo del proyecto, previo y posterior al trabajo de campo con el fin de mantener actualizada la información adquirida.

4.1.2 Sensores Remotos

Durante esta fase se desarrollaron actividades relacionadas con la búsqueda, adquisición, análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite y radar a escala 1:50.000 y 1:100.000, con el fin de elaborar mapas fotogeológicos, considerados como insumos primarios para la fase de campo. La mayoría de estos insumos fueron proporcionados por el proyecto "Cartografía e Historia Geológica de la Alta Guajira, Implicaciones en la búsqueda de recursos minerales", siendo el proyecto macro del cual se desprende esta investigación. Durante esta fase se procesó información tanto de fotografías aéreas como de imágenes de satélite.

En primer lugar, se seleccionaron las mejores fotografías aéreas relacionadas con la zona de estudio, existentes en el IGAC, a partir de los índices aerofoto-geográficos entre los años 1985 a 2005. Se seleccionaron como adecuadas las fotografías del vuelo C-2689 (fotos no. 19 a 30 y 103 a 120) a escala 1:40.000, que cubren el área de la Serranía de Cocinas y el sector de Rancho Grade que hace parte de la zona de interés.

Las imágenes de satélite fueron adquiridas a través del portal de Internet de la Universidad de Maryland, disponibles en formato BSQ, TM, ETM+ ortocorregidas, pertenecientes al Path-Row 7-52 del 2001, las cuales se manipularon a través del software Erdas®, con el fin de realizar un realce espectral y espacial. Este proceso permitió obtener una imagen con elementos claves del terreno con la mejor resolución posible. Posteriormente las imágenes fueron referenciadas y procesadas en Arc Gis 9.2® para integrarle los elementos morfológicos y así generar un mapa geomorfológico a escala 1:50.000 como herramienta en la planificación de los recorridos de campo, la identificación de unidades litológicas y rasgos estructurales dentro de la zona de estudio.

4.2 Fase de campo

Se considera una de las etapas más importantes dentro del desarrollo de la cartografía geológica, ya que consiste en la captura de información primaria de la zona de estudio.

Esta fase consta de diferentes actividades como son: (i) recolección de la información, donde se realiza la selección de las estaciones (puntos clave para dilucidar dudas geológicas, estratigráficas o estructurales) y (ii) muestreo, actividad relacionada con los criterios de selección y recolección de muestras de roca, representativas de la unidad de interés y de las rocas circundantes, las cuales posteriormente serán enviadas a análisis de laboratorio.

A partir de la información recolectada de la zona dentro del desarrollo del proyecto macro "Cartografía e Historia Geológica de la Alta Guajira, Implicaciones en la búsqueda de recursos minerales" y la obtenida de manera específica en la fase anterior se realizó el planeamiento de dos comisiones de campo a la zona de estudio, con una duración de 22 y 18 días respectivamente y en la última de ellas se realizó el acompañamiento por parte del Director del proyecto durante 5 días con el fin de resolver dudas del estudiante.

Las principales actividades realizadas durante las dos comisiones de campo consistieron en la recolección de la información para llevar a cabo el mapeo geológico-estructural de la unidad de interés aflorante en las planchas 10IB, 10ID 10IIA y 10IIC a escala 1:25.000, sustentada en las estaciones de campo cada 250 m, 500 m o de acuerdo a la disponibilidad de acceso al área donde aflora la unidad, ya sea por caminos, cerros o arroyos. Durante estas actividades se hace una identificación de las características morfológicas, geométricas y estructurales del área, posteriormente se hace una descripción general de la estructura y disposición de los cuerpos de roca (Granodiorita de Ipapure y rocas circundantes) en el afloramiento, los rasgos texturales, características composicionales, toma de fotografías tanto de la morfología como de la roca, complementado con características como el color, alteraciones, entre otras.

Asimismo dentro de las actividades del mapeo geológico-estructural de la unidad, se efectuó la adquisición de los datos estructurales (rumbo y buzamiento), los cuales fueron tomados en azimut de buzamiento, para facilitar la introducción de los datos en el momento de alimentar el software graficador de los datos estructurales.

Para la ubicación de las estaciones, se utilizó un GPS, calibrado al sistema de coordenadas de origen Colombia Este Central, proyección Tránsversa de Mercator con Elipsoide Internacional 1909 con Datum Bogotá, con el fin de poder plasmar en las planchas a escala 1:25.000 la información relacionada con los contactos de la unidad con las rocas circundantes, las variaciones composicionales que se observan en el cuerpo y los rasgos estructurales que exhibe la unidad.

En la fase de muestreo, se llevó a cabo la recolección de las muestras de la granodiorita de Ipapure y de las rocas circundantes en los sitios más representativos, una de los requerimientos del muestreo es que la roca presentara poca o ninguna alteración y que exhiban aspectos representativos de la unidad. A estas muestras posteriormente se les van a realizar análisis petrográficos y geoquímicos.

Dentro de la metodología empleada en esta fase, se utilizó la propuesta por Passchier & Trouw (1996) para la orientación de las muestras. La cantidad de muestras recolectadas de la Granodiorita de Ipapure, venas, diques y rocas del contacto, dependen de la abundancia, distribución de los afloramientos, estado de alteración de la roca y de los cambios en la mineralogía y la fábrica de la misma, pero en ningún caso fue inferior al tamaño del puño de la mano.

4.3 Fase post-campo

Esta etapa consiste en el procesamiento, integración, análisis y elaboración del informe final del proyecto **Identificación de los Aspectos Petrográficos y Geoquímicos de la Granodiorita de Ipapure y su relación con las rocas encajantes**.

Durante el periodo de procesamiento e integración, se ejecutan actividades concernientes a la organización de la información capturada durante el levantamiento geológico-estructural a escala 1:25.000 y la elaboración del mapa geológico preliminar permitiendo integrar la información adquirida con la obtenida durante el desarrollo del proyecto **Cartografía e Historia Geológica de La Alta Guajira, Implicaciones en la búsqueda de Recursos Minerales**.

Posteriormente, se realizó la selección de las muestras más representativas de la unidad para la elaboración de secciones delgadas y análisis geoquímicos. En este proyecto se analizaron 28 secciones delgadas, a las cuales se les estudió sus características macroscópicas, microscópicas y texturales, además se realizó un conteo de 300 puntos, equivalentes a un conteo cada milímetro dentro de la sección delgada, cuyos datos obtenidos se normalizaron y diagramaron en el triángulo QAP de Streckeisen (1976), para clasificar rocas ígneas intrusivas. Esto permitió separar diferentes composiciones dentro de la unidad. Adicionalmente se compiló un registro fotográfico de las características mineralógicas y/o texturales de las muestras. El equipo empleado para este análisis fue un microscopio de luz transmitida Olympus BH 2, del laboratorio de petrografía del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, de la sede Bogotá.

Por otra parte se llevó a cabo la escogencia de 19 muestras, las cuales fueron trituradas y posteriormente enviadas al laboratorio ACME Laboratorios, en Vancouver, Canadá, con el fin de realizar el análisis químico de elementos mayores y traza de estas muestras, a través del método Espectrometría de Emisión de Masas y de Plasma, los cuales representan las variedades composicionales observadas en la unidad Granodiorita de Ipapure.

Por otra parte, los resultados obtenidos arrojan información de: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃, Ni, Sc, Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl, Se.

Es necesario aclarar que los valores umbrales de detección del equipo para algunos de los elementos son: Cr₂O₃: <0.002%, Ni: <0.01%, MgO: <1%, MnO: <1%, Be: <1ppm, Sn: <1ppm, V: <8 ppm, Co: <0.2 ppm, Cs: <0.1 ppm, W: <0.5 ppm, Cu: <0.1 ppm, Zn: <1 ppm, As: <0.5 ppm, Cd: <0.1 ppm, Sb: <0.1 ppm, Bi: <0.1 ppm, Ag: <0.1 ppm, Au: <0.5 ppm, Hg: <0.001 ppm, Tl: <0.1 ppm, Se: <0.5 ppm por lo que valores iguales o menores a esas cantidades en los elementos anteriormente enlistados deben ser descartado.

Es importante tener en cuenta que los valores de LOI (%LossOnIgnition) no deben superar el 3.5% (Morata y Aguirre, 2003) para que los análisis no presenten modificaciones

significativas a la hora de hacer los recálculos. Esta condición la cumplen las 19 muestras analizadas y sólo una la PAR 045 presenta un LOI de 3.5%.

Los análisis anteriores fueron complementados con los análisis de microsonda electrónica en cinco secciones delgadas en las cuales se analizó plagioclasa y la hornblenda, a través del análisis por Microscopía Electrónica de Barrido FEI QUANTA 200. Finalmente se escogieron dos muestras de la unidad para ser enviadas al laboratorio de Pesquisas Geocronológicas de la Universidad de Sao Paulo, Brasil, con el fin de hacerles análisis isotópicos Sm/Nd y Rb/Sr en roca total.

En la fase de análisis de la información, se utilizan los datos de los análisis químicos obtenidos para las 19 muestras con el fin de determinar a partir de los diagramas de variación Harker, con SiO₂, los recomendados por Cox et al. (1995), Rollinson (1998), el diagrama TAS de Middlemost, (1994), Cox et al. (1979), su clasificación y composición química; diagramas para discriminar entre las rocas con afinidad a la serie Calco-alcalina . Toleítica (Irvine & Baragar, 1971 y Miyashiro, 1974) y entre las series Toleítica . Calco-alcalina . Calco-alcalina rica en potasio y shoshonite (Peccerillo & Taylor, 1976), diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971) para rocas plutónicas en la cual se puede discriminar la serie Calcoalcalina de la serie Toleítica, diagramas multicationicos de la Roche et. al., 1980, de Debon & Le Fort PQ, 1983 y Debon & Le Fort BA, 1983 aplicados a granitoides, diagrama multicationico R1-R2 en De la Roche et al. (1980), diagramas para la clasificación químico . mineralógica propuestos por Villaseca et al. (1998) y de shand (1943), los cuales se realizan con base en parámetros multielementales a partir de los datos químicos de elementos mayores, este tipo de diagramas permiten una mejor correlación entre la química de las rocas y su mineralogía.

Para determinar el ambiente tectónico de emplazamiento de la Granodiorita de Ipapure, se utilizaron los diagramas propuestos por Batchelor & Bowden (1985) y Maniar & Piccoli (1989) para granitoides, y el de Pearce (1984) para rocas volcánicas básicas, que se puede usar para rocas ígneas plutónicas con un contenido mayor de 5% de cuarzo modal.

Cuando se tuvo toda la información anteriormente procesada, se elaboró el manuscrito final del proyecto, que contiene toda la información obtenida en cada una de las fases

metodológicas plateadas anteriormente, complementado con el mapa geológico a escala 1:25.000 de la Granodiorita de Ipapure, dentro de las planchas 10IB, 10ID, 10IIA y 10IIC.

5. Antecedentes Bibliográficos

Los trabajos con enfoque técnico referentes a la Granodiorita de Ipapure son de carácter regional, de ahí que no se encuentren estudios con enfoque específico que describan de manera puntual las características de esta unidad y mucho menos que se pueden usar para realizar comparaciones que conduzcan al entendimiento de los procesos que le dieron origen y de cómo es su relación con las rocas encajantes.

A continuación se presentan las ideas más destacadas de las investigaciones realizadas a la unidad Granodiorita de Ipapure.

Radelli (1960) denomina Granodiorita de Ipapure a las rocas granodioríticas que afloran al norte de la zona de Ipapure y que intruyen la secuencia de lavas riódacíticas de La Teta - Ipapure. Esta unidad corresponde a una granodiorita de color gris claro a ligeramente verdoso, de estructura hipidiomórfica granular, holocristalina, de grano medio, constituida por cuarzo, plagioclasa, ortosa, biotita, anfíbol y como accesorios, clorita, apatito, circón y óxidos de hierro. Además hacia los bordes del cuerpo las rocas pasan gradualmente a microdioritas porfídicas constituidas por fenocristales idiomórficos de plagioclasa y anfíbol en una matriz microcristalina y en ambas vertientes del valle constituido por la Granodiorita de Ipapure se observan algunos diques aplíticos de granito rosado rico en turmalina, constituidos por cuarzo, ortosa y plagioclasa. Este autor le asignó una edad relacionada con la Orogenia Hercínica (Paleozoico superior).

MacDonald & Opdyke (1972) denominan este cuerpo como Diorita de Maruayán y le asignan una edad cretácica a partir de una datación realizada por el método K/Ar en roca total de 120 ± 4 Ma. Este cuerpo intruye las rocas volcánicas de La Teta para las cuales se había obtenido una edad de 143 ± 7 Ma (MacDonald & Opdyke, 1984).

Rodríguez & Londoño (2002) considera esta unidad al menos del Cretácico Inferior a partir de las dataciones realizadas por otros autores y por las relaciones espacio-temporales de las unidades circundantes en el área de estudio.

Algunos cuerpos que pueden estar relacionados con la Granodiorita de Ipapure son la Granodiorita de Siapana y la Tonalita de Cosinas. La Granodiorita de Siapana aflora en la Serranía de Macuira, compuesta por plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico micropertítico, escasa biotita, prehnita, moscovita y clorita como mineral de alteración (MacDonald, 1964) con una edad de enfriamiento de 195 ± 4 Ma (K/Ar en moscovita para las pegmatitas; MacDonald, 1964). Radelli (1960) la considera del Paleozoico inferior y Rodríguez y Londoño (2002) del Jurásico Temprano, atendiendo a una correlación cronológica entre las unidades aflorantes en La Guajira y los grandes batolitos del núcleo de la Sierra Nevada de Santa Marta. Cardona et al. (2006) reportan una edad Jurásico medio de 167 ± 9.4 M.a (SHRIMP 206Pb/238U en 10 circones prismáticos). La Tonalita de Cocinas aflora en el sector oriental de la Serranía de Cosinas; está conformada por cuarzo, plagioclasa, biotita, feldespato potásico en proporciones bajas como constituyentes principales; sericita y clorita como minerales de alteración y otros como circón, turmalina, esfena y calcita. Esta unidad muestra variaciones composicionales entre tonalita, cuarzodiorita y monzodiorita y se encuentra afectada por intenso fracturamiento que le otorga una textura cataclástica. En cuanto a su edad, INGEOMINAS y UNAL (2009) proponen una edad Jurásica a partir de las relaciones de campo que indican que es anterior a la depositación de las formaciones Palanz y Moina. Irving (1972) le asigna una edad Pre-Mesozoico . Paleozoico Tardío. La Riodacita de Ipapure Cerro . La Teta es un conjunto de elementos litológicos de origen volcánico aflorante al norte de Ipapure y en el Cerro La Teta, compuesta por andesitas, dacitas, riolitas y tobas, con una edad U-Pb en circones de 180 M.a. (Zuluaga et al., 2015). Radelli (1962) reporta entre la Granodiorita de Ipapure y las riodacitas una corona algo irregular de microgranodioritas y localmente suprayacida de manera discordante por depósitos Aluviales.

6. Marco Geológico Regional

6.1 Litologías

A continuación se hará un resumen breve, a partir de la descripción Litoestratigráfica de las unidades aflorantes en la Alta Guajira, pertenecientes a la Memoria de las planchas 2, 3, 5, y 6 (con parte de las planchas 4, 10 y 10bis) (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

6.1.1 Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas aflorantes en la Alta Guajira, se localizan principalmente en la Serranía de Simarúa, Jarara, Macuira y en el Cabo de La Vela, presentando edades que van desde el Precámbrico hasta el Mesozoico (Figura 6-1 y Tabla 6-1).

Figura 6-1: Mapa de localización de las unidades metamórficas aflorantes en La Alta Guajira. (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009)

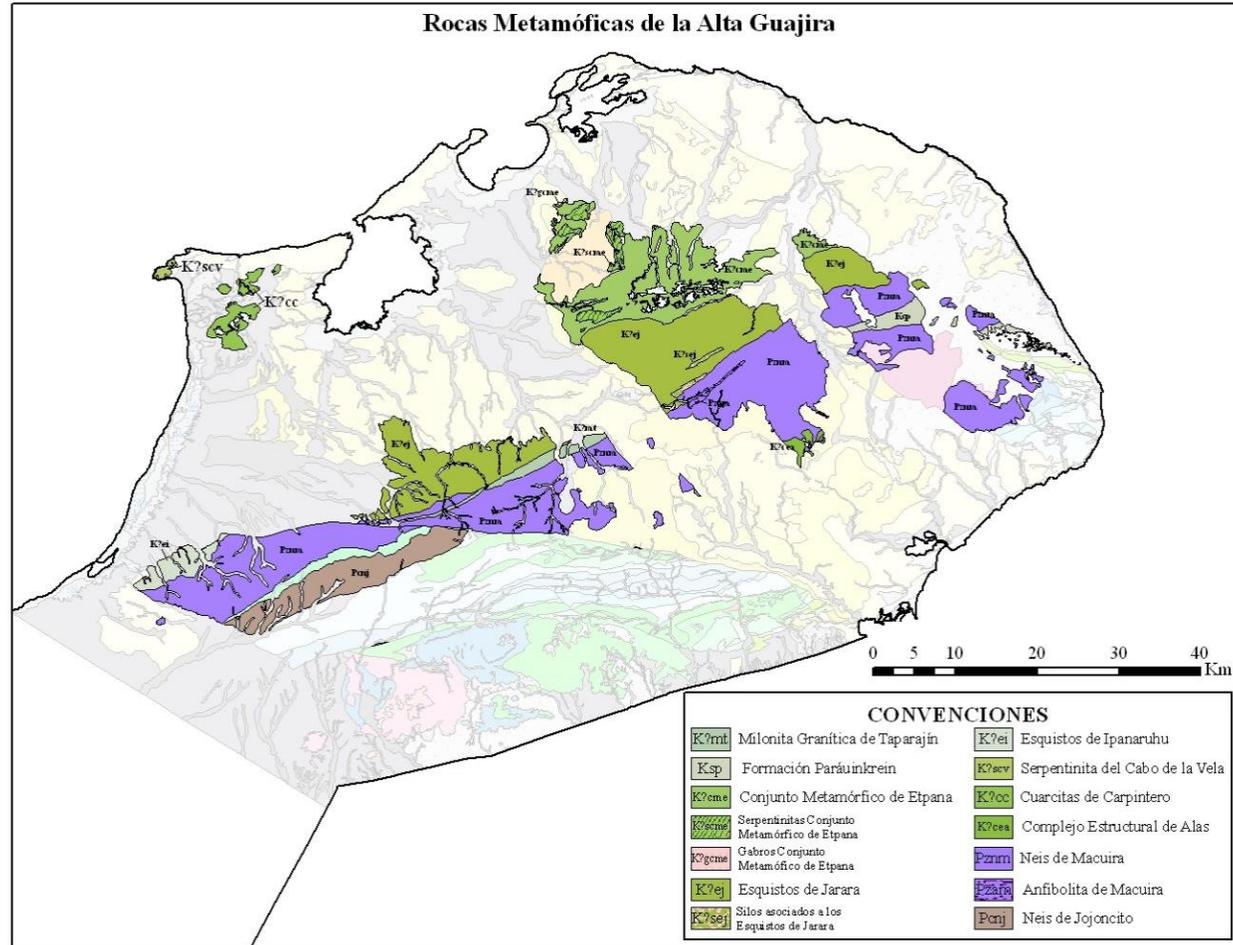


Tabla 6-1: Descripción general de las unidades de rocas metamórficas aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	EDAD
Neis de Jojoncito (Pcnj)	Granulitas, neises, pegmatitas, mármoles y venas de origen hidrotermal.	1.55 y 1.25 G.a. (MacDonald en Irving, 1971) y 1165 y 916 M.a. U/Pb en sobrecrecimientos metamórficos (Cordani et.al. 2005)
Neis de Macuira (Pznm)	Neises con intercalaciones de esquistos y anfibolitas, además de migmatitas, pegmatitas y mármoles.	Pre-Jurásica a partir de las relaciones de campo; 172 ± 10 M.a. K/Ar en Hornblenda (Serranía de Jarara) y de 56 ± 6 M.a. K/Ar en Hornblenda (Serranía de Simarúa), 195 ± 8 M.a. K/Ar en moscovita en un dique pegmatítico que corta la parte superior de la unidad (MacDonald, 1964) y una edad paleozoica según Lockwood (1965) e Irving (1971)
Complejo estructural de Alas (K?cea)	Bloques de milonitas, mármoles y esquistos y en menor proporción por meta-arenitas y brechas de falla	Ausencia de datos geocronológicos de restos fósiles
Esquistos de Jarara (K?ej)	Esquistos cuarzosos, micáceos y de tremolita, filitas, metagabros e intercalaciones de cuarcitas negras	Cretácica a Paleocena? Renz (1960) Según MacDonald (1964), presenta una edad incierta como Pre-Mesozoica la cual es avalada por otros autores como: Bürgl, 1960; Radelli, 1962, MacDonald, 1964 y Rollins, 1965.
Silos Graníticos de Jarara (K?sgj)	Cuerpos ígneos emplazados a manera de silos (Dirección NE-SW)	Se propone que el emplazamiento de esta unidad es posterior a la depositación de la secuencia que dio origen a los esquistos
Conjunto Metamórfico de Etpana (K?cme)	Cuarcitas, esquistos de origen sedimentario e ígneos, filitas, milonitas y bloques de peridotitas serpentinizadas y metagabros	Según Lockwood (1965) a partir de las relaciones estratigráficas con la Cuarzodiorita de Parashi, le han asignado una edad del Cretácico superior. Además ha sido correlacionada con la Formación Parauinkrein del Turoniano (MacDonald, 1964)
Cuarcitas de Carpintero (K?cc)	Cuarcitas y metarenitas; metaconglomerados e intercalaciones de esquistos y serpentinitas	Stutzer et. al. (1934), la considera Pre-Cretácica, Bürgl (1958), la considera Pre-Devónica, Renz (1960) considera estas rocas y a los esquistos de Jarara una edad Cretácica, Radelli (1962), la considera Paleozoica Temprana o Precámbrica y Álvarez (1967), le otorga una edad Cretácica Superior por su similitud con el conjunto metamórfico de Etpana.
Serpentinitas del Cabo de La Vela (K?scv)	Serpentinitas, rodingitas, metagabros, diques basálticos y esquistos de glaucofana	Según Paniagua et. al. (2005), considera a las Serpentinitas del Cabo de La Vela con corteza oceánica Proto-caribe, registrando la separación entre norte y Suramérica en el Jurásico
Formación Parauinkrein ((Ksp)	Metalodolitas, metarenitas milonitizadas, metaconglomerados, micritas cizalladas, biomicritas y chert diagenético	Posiblemente esta unidad sea correlacionada con la secuencia de lodolitas laminadas del Cretácico Superior en la Cuenca de Maracaibo (MacDonald, 1964)
Esquistos de Ipanaruhu (K?ei)	Filitas y esquistos cuarzosos con intercalaciones de cuarcitas, metarenitas y mármoles	Pre-Neógena, ya que infrayacen la Formación Castilletes. La edad del metamorfismo se encuentra en el rango Cretácico superior - Paleoceno
Milonita Granítica de Taparajin(K?mt)	Silos pegmatíticos, neises anfibólicos, xenolitos dispersos de filitas de los Esquistos de Jarara y de Esquistos del Neis de Macuira. Además de milonitas, granodioritas deformadas, metagranodioritas, y cataclasitas	Se le asigna una edad Cretácico superior . Paleoceno, a partir de las relaciones de corte con las unidades circundantes

6.1.2 Rocas Ígneas

Las rocas ígneas aflorantes en la Alta Guajira, se encuentran de manera dispersa sobre toda la Península de la Guajira (Figura 6-2), las cuales describen edades que van desde el Jurásico, Cretácico hasta el Eoceno, cuyas características más generales serán descritas en la (Tabla 6-2).

Figura 6-2: Mapa de localización de las unidades ígneas aflorantes en La Alta Guajira. (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).

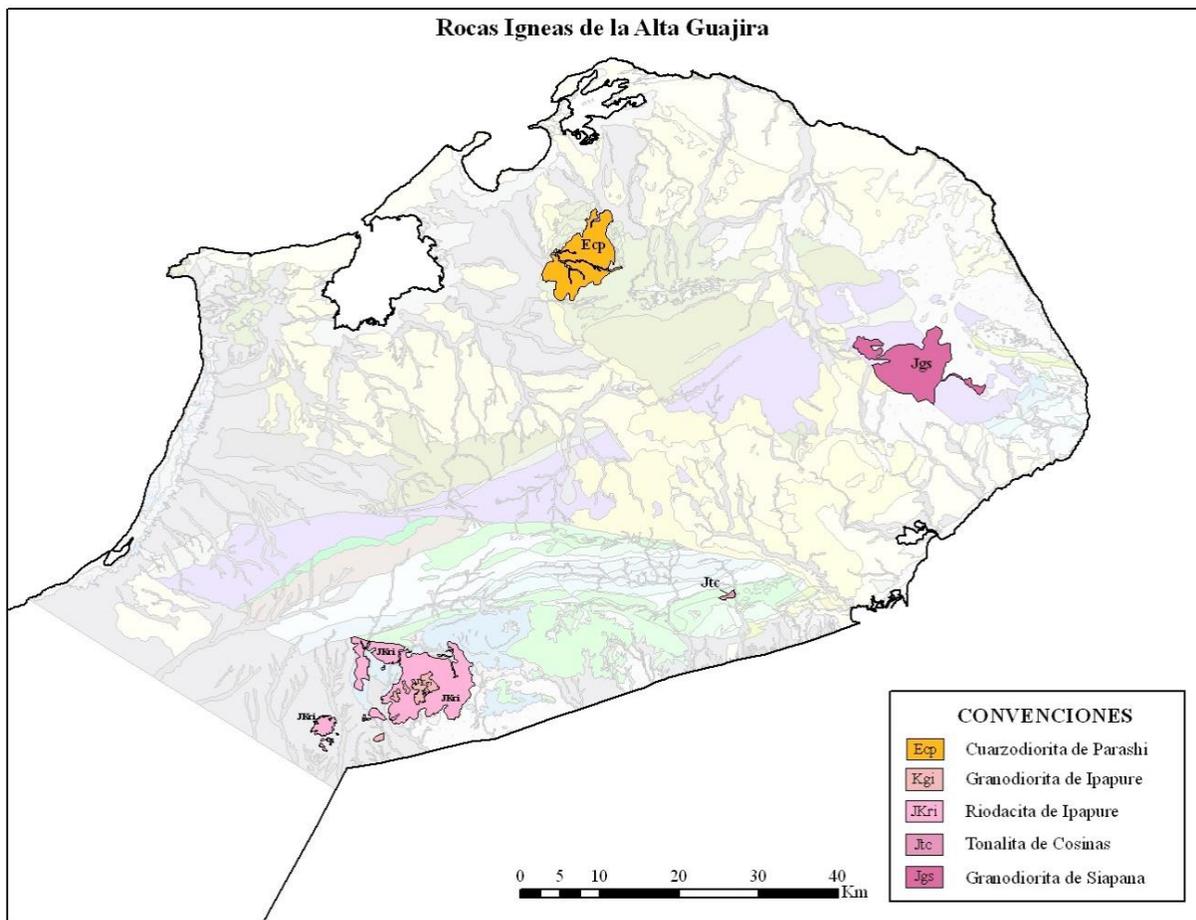


Tabla 6-2: Descripción general de las rocas ígneas aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	EDAD
Granodiorita de Siapana (Jgs)	Granodiorita aflorante en la Serranía de Macuira.	167 ± 9.4 M.a. Shrimp ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (Cardona et.al. 2006).
Tonalita de Cosinas (Jtc)	Tonalitas, cuarzodiorita y cuarzomonzodiorita, localizado en el sector oriental de la Serranía de Cosinas,	Edad Pre-mesozoico . Paleozoico Tardío (Irving, 1971) y Jurásica, a partir de las relaciones de campo que indican que es anterior a la depositación de las formaciones Palanz y Moina (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta (JKri)	Corresponde a lavas riodacíticas que afloran al norte de Ipapure y en el Cerro La Teta	125 M.a y 95 M.a K/Ar, recalculado a 143 ± 7 M.a. (MacDonald & Opdyke, 1984), una edad isocrónica Rb/Sr en roca total de 172 ± 17 M.a Jurásico medio (Pinilla, 2013) y 180 M.a. Datación U/Pb en zircones, asignándole una edad Jurásico Inferior (Zuluaga et al. 2015)
Granodiorita de Ipapure (Kgi)	Tonalitas y dioritas, acompañada por cuarzo-andesitas y granodioritas.	Pre-Jurásica (Renz, 1960) y 120 ± 4 M.a, K/Ar en roca Total (MacDonald & Opdyke, 1972)
Cuarzodiorita de Parashi (Ecp)	Rocas ígneas félsicas, representadas en granodioritas y ocasionalmente tonalitas.	48 ± 4 M.a. K/Ar en Hornblenda (Lockwood, 1965), la cual puede indicar una edad de enfriamiento.

6.1.3 Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias aflorantes en La Alta Guajira, se encuentran dispersas por toda la península de La Guajira, sus edades oscilan desde el Jurásico, Cretácico, Terciario y los Depósitos Cuaternarios.

Las unidades Triásico . Jurásicas, se encuentran distribuidas principalmente en la Serranía de Cosinas y en el sector de Punta Espada (Figura 6-3), las cuales serán enumeradas en la Tabla 6-3.

Figura 6-3: Mapa de Localización de las unidades Triásico-Jurásicas de La Alta Guajira (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).

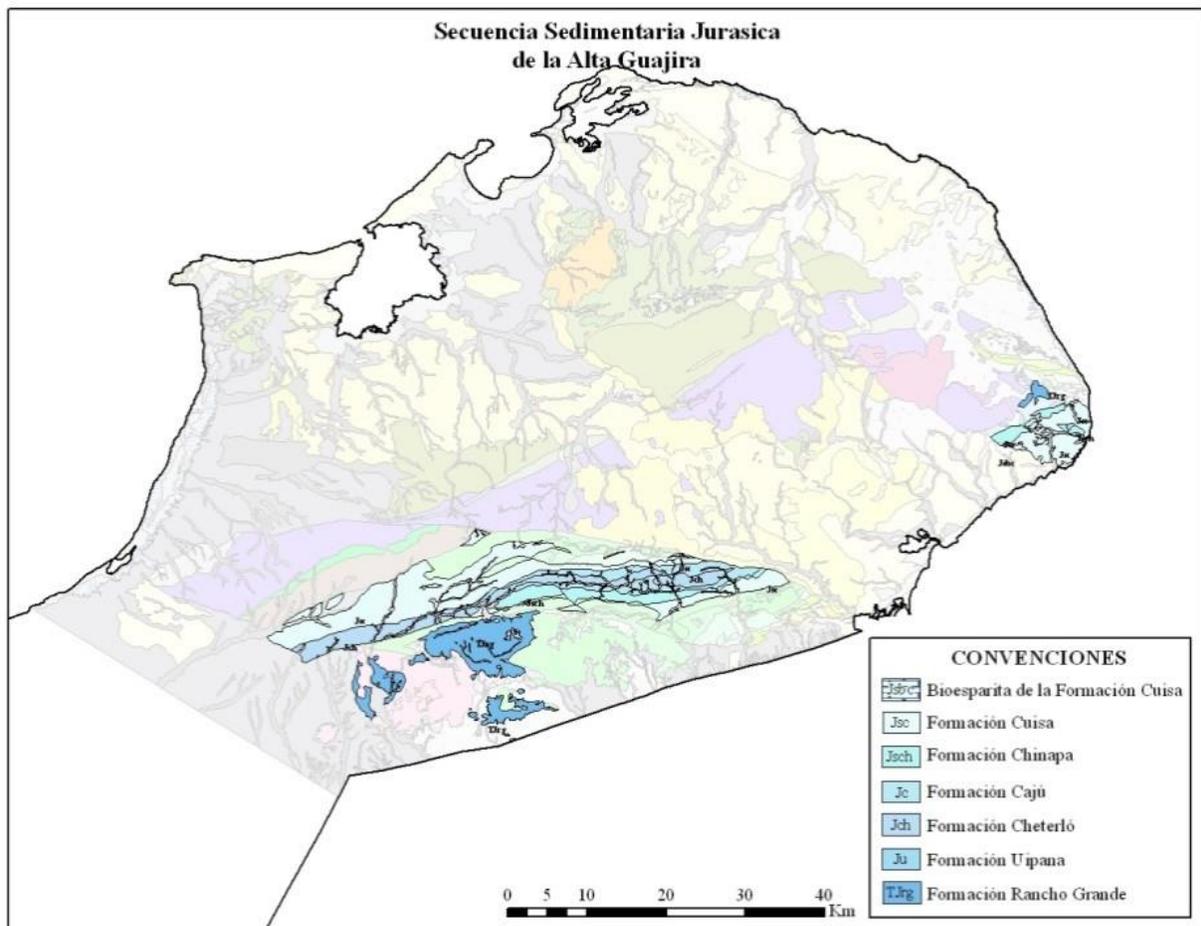


Tabla 6-3: Descripción general de las rocas sedimentarias de edad Triásica . Jurásica, aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	EDAD
Formación Rancho Grande (TJrg)	Arenitas de grano fino a medio con niveles conglomeráticos, lodolitas de color morado a negro, biomicritas y niveles de tobas	Triásica (Rollins, 1965) por correlación con la Formación La Quinta; Jurásico Inferior (Rodríguez y Londoño, 2002) y Triásico Superior . Jurásico Inferior, a partir de las relaciones de campo (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
Formación Uipana (TJu)	Intercalaciones de arenitas, arenitas conglomeráticas, conglomerados calcáreos y lodolitas y limolitas silíceas. Además fósiles de caracoles y gastrópodos	Triásica (Renz, 1960), Jurásica Temprana a Triásica Tardía (Rollins, 1965) y Jurásico Medio a partir de las relaciones de campo (INGEOMINAS & UNAL, 2009)
Grupo Cosinas	Agrupa las formaciones Cheterló, Cajú, Chinapa y Cuisa aflorantes en la Serranía de Cosinas y en la zona SE de la Serranía de Macuira	Jurásico medio a superior Renz, 1956)

En el caso de las unidades Cretácicas aflorantes en La Alta Guajira, estas se hallan distribuidas principalmente en la Serranía de Simarúa, Cosinas, Cerro Uitpana, Cerro Yuruma, al W de Punta Espada y al SE de la Serranía de Macuira (Figura 6-4), además las características generales de la unidad, serán descritas en la Tabla 6-4.

Figura 6-4: Mapa de distribución de las unidades Cretácicas de La Alta Guajira (Tomado de INGEOMINAS & UNAL, 2009).

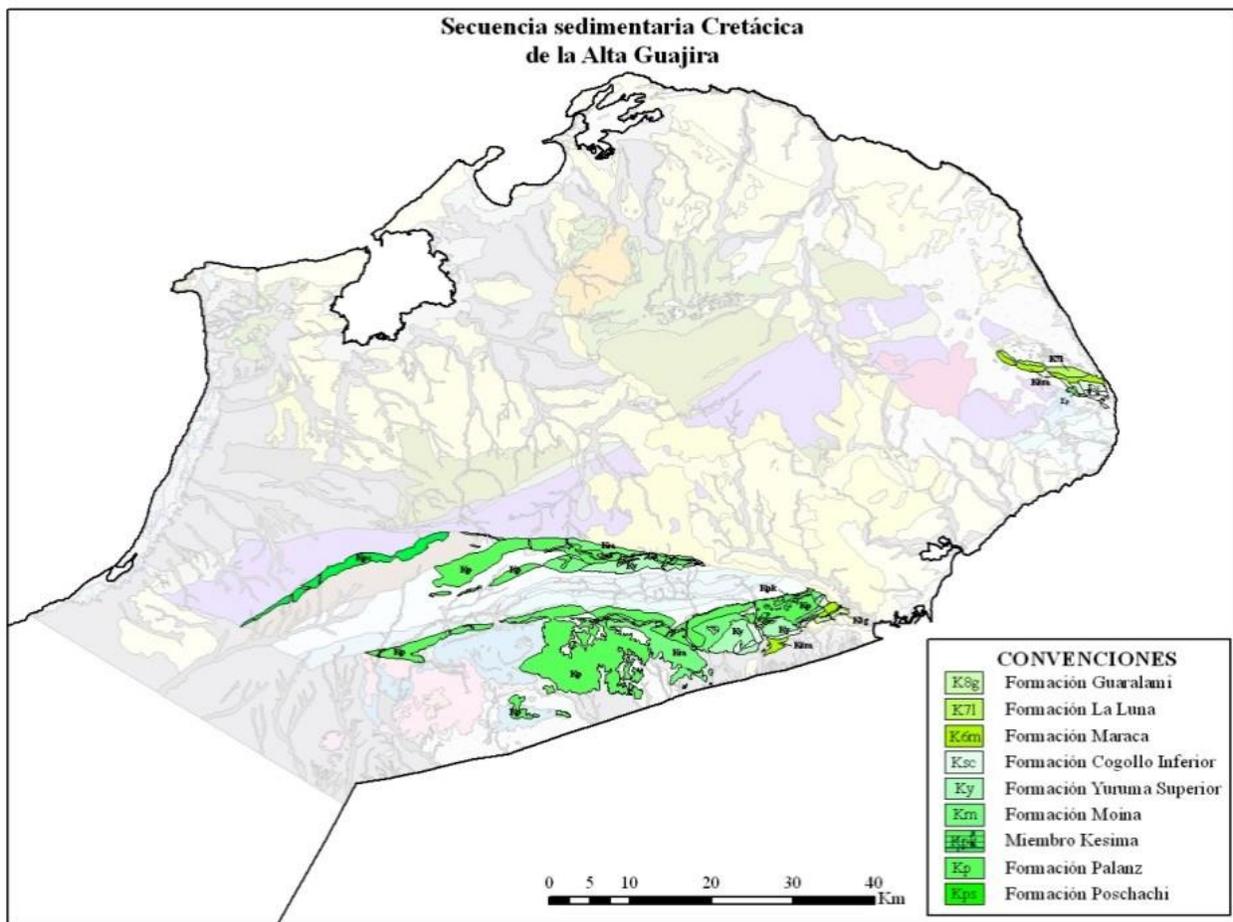


Tabla 6-4: Descripción general de las rocas sedimentarias de edad Cretácica, aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	EDAD
Formación Poschachi (Kps)	Conglomerados, arenitas y lodolitas foliadas en contactos gradacionales, además se identificó un segmento calcáreo.	Cretácico inferior (Renz,1960)
Formación Palanz (Kp)	Areniscas, calizas y margas (miembro Kesima), suprayacida por areniscas arcósicas rojizas de grano grueso y conglomeráticas.	Tithoniano - Valanginiano
Formación Moina (Km)	Calizas y shales margosos, margas y calizas margosas y calizas masivas	Valanginiano - Hauteriviano
Formación Yuruma Superior (Kys)	Lodolitas calcáreas arenosas fosilíferas, biomicritas, biomicritas packstone y micritas masivas	Berremiano
Unidad Cretácica 5 (K5c) equivalente a Formación Cogollo Inferior	Shales, limolitas arcillosas y calizas limoarenosas interestratificadas	Aptiano inferior
Unidad Cretácica 6 (K6m) equivalente a Formación Maraca	Bioesparitas de rudistas con textura rudstone, esparitas y bioesparitas arenosas y acumulaciones de intraclastosparíticos con aspecto brechoso	Albiano
Formación La Luna (K7l)	Calizas con foraminíferos, chert negros y hacia el tope una delgada capa de conglomerado, además de micrita y biomicritas de foraminíferos intercaladas con margas de color lila en Punta Espada	Turoniano - Santoniano
Unidad Cretácica 8 (K8g), equivalente a la Formación Guaralamai	Intercalaciones margosas, calizas glauconíticas con foraminíferos planctónicos y fragmentos de ostras. (Renz, 1960), además K8g, exhibe bioesparitas, de Ostreidos y bivalvos, suprayacidas por limolitas y arenitas cuarzosas varicoloreadas	Campaniano - Maastrichtiano

Las unidades Terciarias aflorantes en la Alta Guajira, describen edades Eoceno y Neógeno, las cuales están representadas por las formaciones Macarao, Uitpa, Siamaná, Jimol y Castilletes (Figura 6-5) y sus principales características serán enumeradas en la Tabla 6-5.

Figura 6-5: Mapa de localización de las unidades Terciarias de edad Paleógeno y Neógeno de La Alta Guajira.

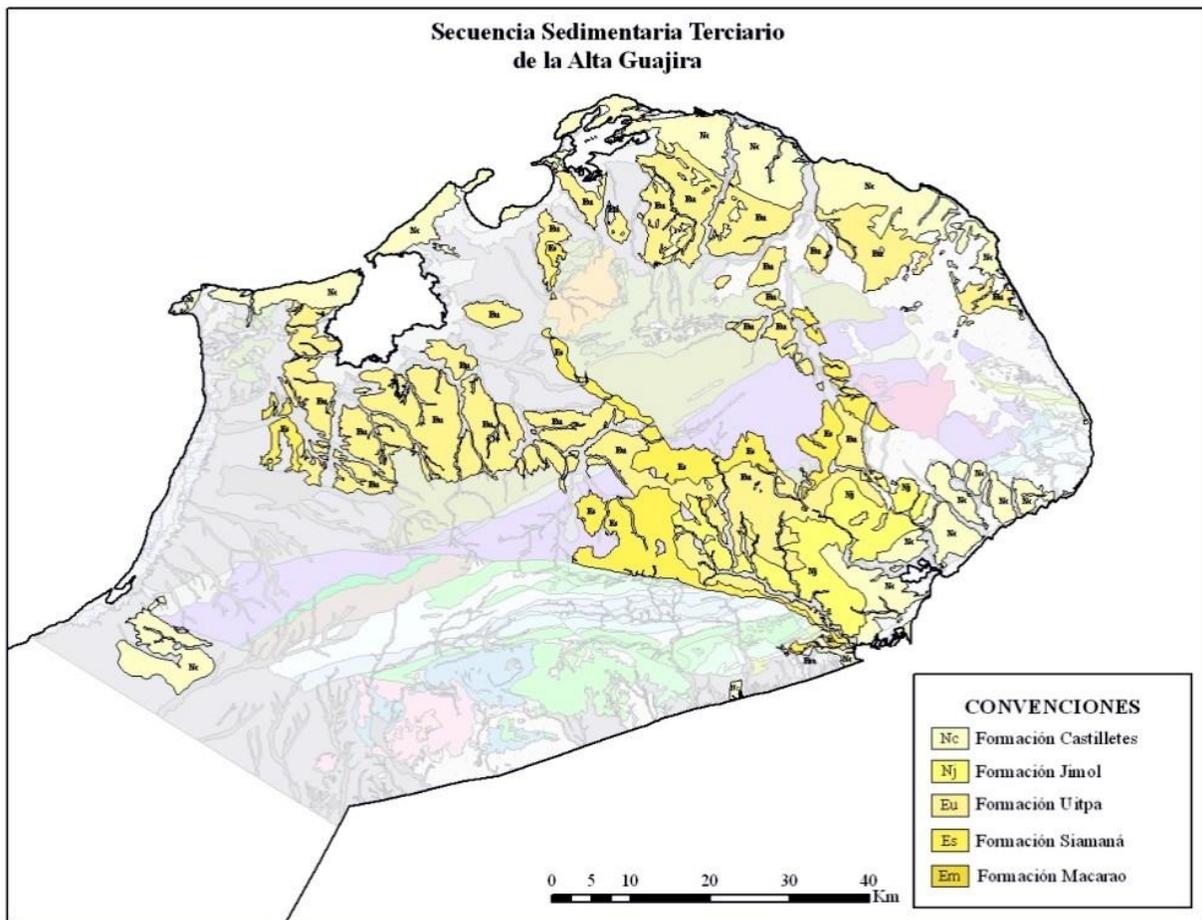
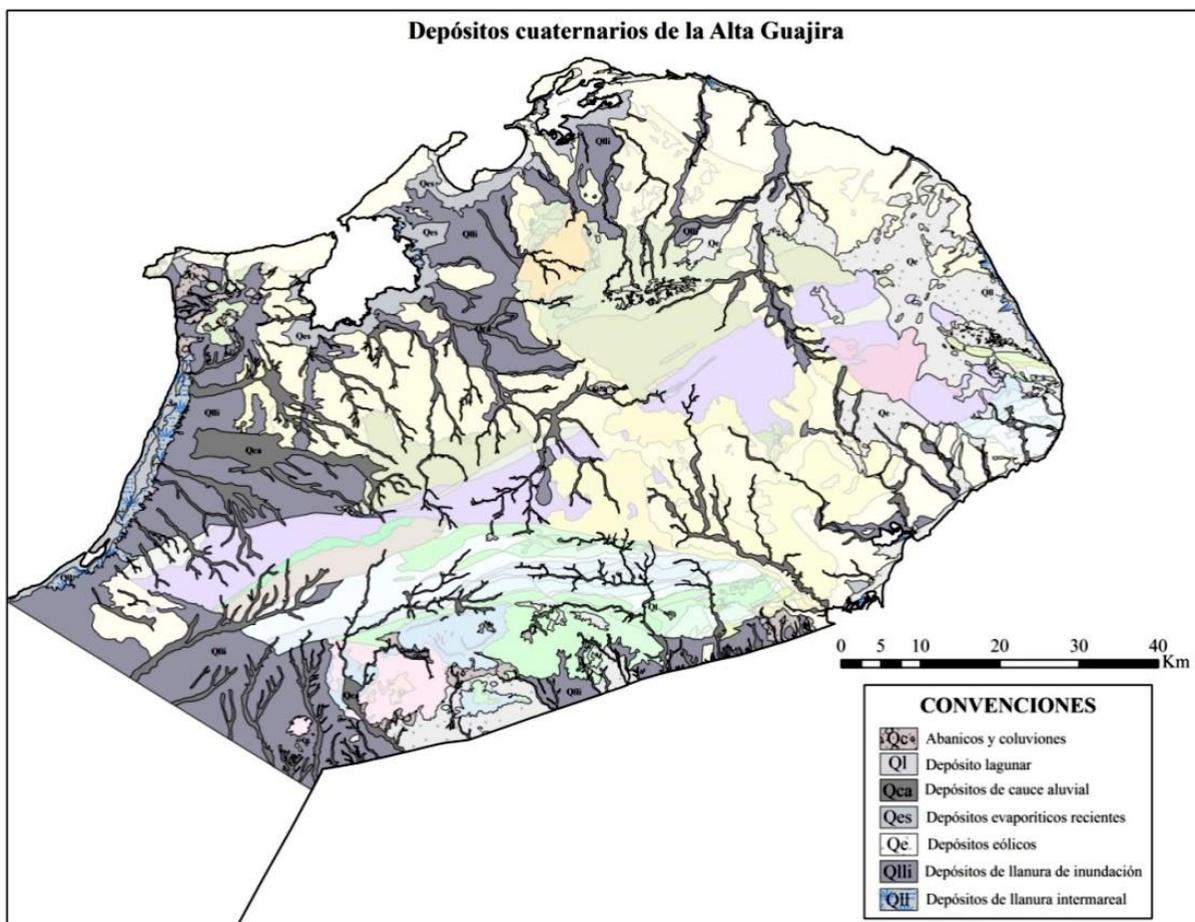


Tabla 6-5: Descripción general de las rocas sedimentarias de edad Paleógeno y Neógeno, aflorantes en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	EDAD
Formación Macarao (Em)	Arenitas con intercalaciones de limolitas y capas delgadas de biomicrita	Eoceno Medio
Formación Siamaná (Es)	Rocas terrígenas y calcáreas de arenitas calcáreas, bioesparitas y limolitas calcáreas	Oligoceno
Formación Uitpa (Eu)	Arenitas muy finas y limolitas en su mitad inferior y lodolitas en su parte superior	Oligoceno - Mioceno
Formación Jimol (Nj)	Arenitas calcáreas, bioesparitas y limolitas	Mioceno Medio
Formación Castilletes (Nc)	Bioesparitas, arenitas calcáreas y lodolitas calcáreas	Mioceno - Plioceno

En el caso de los Depósitos Cuaternarios, corresponden a cuerpos semiconsolidados e inconsolidados con gran distribución areal (Figura 6-6), los cuales cubren la superficie desarrollada por las rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias preexistentes, además algunos de ellos se encuentran en formación actualmente. Los Depósitos Cuaternarios presentes en la Alta guajira corresponden a Abanicos y Coluviones (Qc), Depósito Lagunar (Ql), Depósitos de Cauce Aluvial (Qca), Depósitos Evaporíticos recientes (Qes), Depósitos Eólicos (Qe) y Depósitos de Llanura de Inundación (QII) (INGEOMINAS & UNAL, 200909).

Figura 6-6: Mapa de localización de las unidades Cuaternarias de La Alta Guajira



6.2 Estructuras

La localización geográfica de la Alta Guajira en el extremo noroccidental de Colombia, contribuye a que su configuración tectónica sea compleja, debido a que se halla cerca de la zona de contacto de las placas Cocos, Caribe y Suramericana, lo cual conlleva a que su disposición sea el resultado del efecto de convergencia y desplazamientos relativos de estas placas (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

La zona hace parte del bloque estructural localizado al norte de la Falla de Oca (el cual integra las subregiones de la Alta y Media Guajira), que junto con el bloque localizado entre la Falla Oca y la Falla Santa Marta . Bucaramanga y el bloque formado por la Serranía de Perijá y el valle de los ríos Cesar y Ranchería (Maya y González, 1998), generan los tres bloques estructurales en el Noreste de Colombia.

Las principales fallas presentes en la región de La Alta Guajira (Figura 6-7), se encuentran agrupadas en tres sistemas principales de fallas: Un primer sistema de fallas N-NE, el cual exhibe direcciones que varía entre N30° a N80°E, siendo N60°E la dirección más común. Un segundo sistema NW-SE, caracterizado por presentar fallas de alto ángulo e importantes movimientos verticales y movimientos de rumbo dextrales. Por último tenemos el sistema E-W, localizado en el sector este de la Serranía de Cosinas, conformado por fallas subparalelas con tendencia hacia el E y NE. Estos sistemas de fallas serán nombrados a continuación en las Tablas 6-6, 6-7 y 6-8.

Figura 6-7: Mapa de localización de las principales fallas aflorantes en La Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

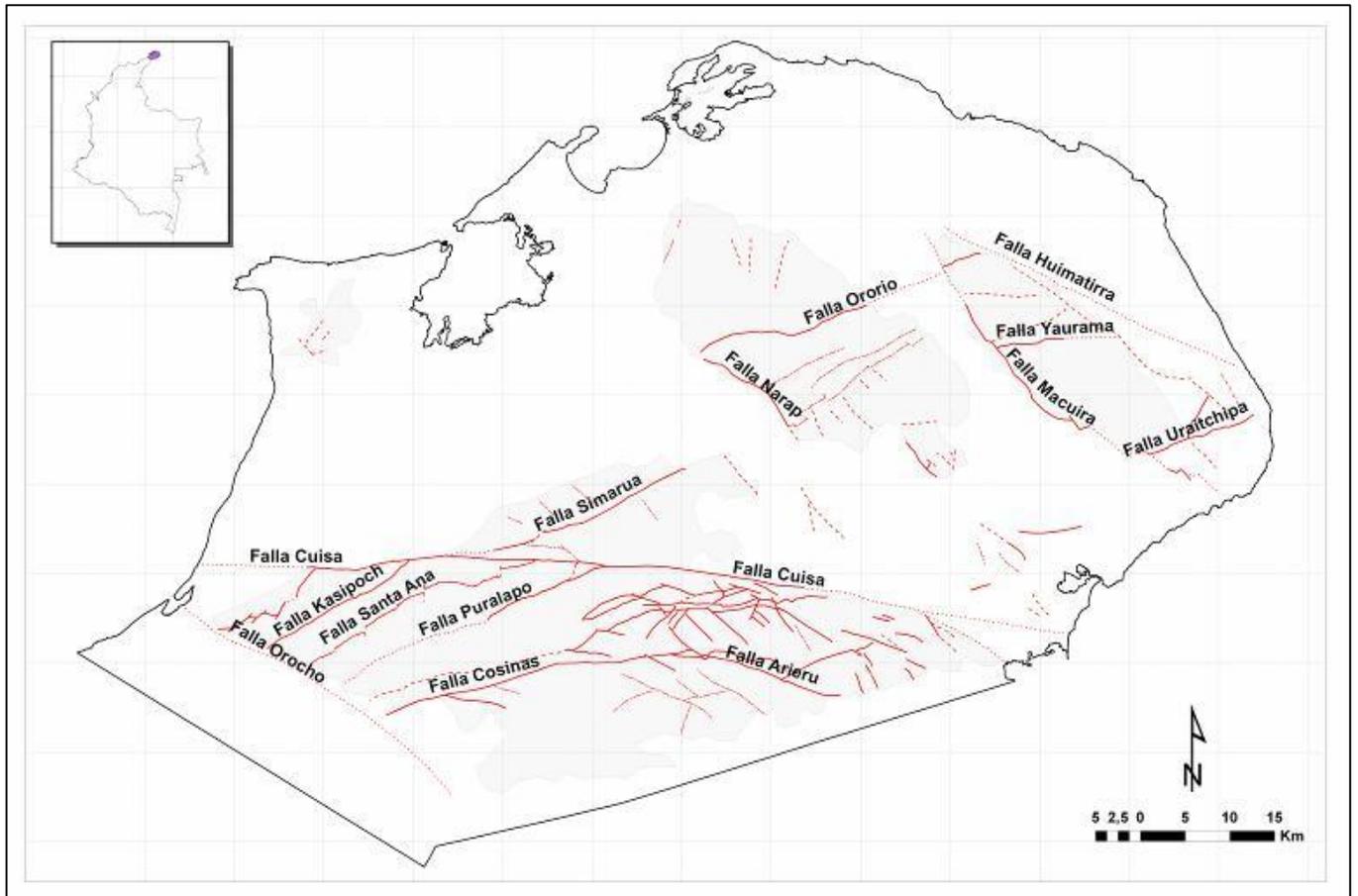


Tabla 6-6: Fallas que pertenecen al sistema N-NE, que se observan en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

SISTEMA DE FALLA N-NE		
FALLA	DESCRIPCIÓN	TIPO DE FALLA
Falla de Ororio	Separa el Conjunto Metamórfico de Etpana al norte con los Esquistos de Jarara al sur tanto en la Serranía de Jarara como en la Serranía de Macuira	Falla de cabalgamiento con dirección N65°E e inclinación de 40° a 50°
Falla Litujuru	Pone en contacto rocas de la Formación Paráuinkrein de edad Cretácica tardía con rocas del Neis de Macuira (edad Paleozoico)	Falla de cabalgamiento con dirección N80°E e inclinación de 25° hacia el N
Falla Uraitchipa	Pone en contacto las formaciones Triásico-Jurásicas en Punta Espada con el Neis de Macuira, además se haya truncada por el sistema de falla NW-SE	Falla de cabalgamiento con dirección N30°-40°E e inclinación de 30° a 40° hacia el SE
Sistema de fallas de Alas	Genera el cabalgamiento del Neis de Macuira sobre el Complejo estructural de Alas	Sistema de fallas de cabalgamiento subparalelas con dirección N70°E e inclinación 10° y 45° al W
Falla Kasipoch	Corresponde a una zona de deformación irregular al SW de la Serranía de Macuira	Falla inversa con movimientos dextrales con dirección N60°E e inclinación hacia el NE
Falla de Puralapo	Pone en contacto rocas del Neis de Macuira y el Neis de Jojoncito con rocas de la Formación Cuisa y la Formación Palanz	Falla de rumbo dextral con una dirección N60°E
Falla de Simarúa	Separa el Neis de Macuira y la Milonita granítica de Taparajín al sur con los Esquistos de Jarara al norte	Falla de rumbo dextral con una dirección N60°E
Falla Santa Ana	Pone en contacto rocas del Neis de Macuira con rocas de la formación Poschachi	Falla de cabalgamiento con tendencia compresiva y un buzamiento de 15° al NW

Tabla 6-7: Fallas que pertenecen al sistema NW-SE, que se observan en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

SISTEMA DE FALLA NW-SE		
FALLA	DESCRIPCIÓN	TIPO DE FALLA
Falla Macuira	Afecta las unidades sedimentarias del Oligoceno y el Mioceno, además se encuentra cubierta por depósitos Cuaternarios	Falla de buzamiento con una componente de desplazamiento sinextral con una dirección N40° a 60°W
Falla de Nazareth	Separa las unidades metamórficas e ígneas en el borde surde las rocas sedimentarias del Cretácico en el bloque norte	Falla de rumbo dextral con dirección N45°W
Falla Huimatirra	Afecta las rocas del basamento y se encuentra cubierta por arenas eólicas	Conforma el bloque NE de la Serranía de Macuira, evidenciada a través de la línea sísmica 78G-BH-17
Falla Narap	Afecta los Esquistos de Jarara	Falla con dirección N60°W con desplazamientos en el sentido del buzamiento
Falla Orocho	Al parecer afecta los Esquistos de Ipanaruhú, Neis de Macuira, Neis de Jojoncito, Formación Cuisa y Formación Cheterló, a partir del corte rectilíneo que muestra estas unidades	Falla de tipo normal con dirección NWW-SEE con buzamiento hacia el sur

Tabla 6-8: Fallas que pertenecen al sistema E-W, el cual incluye la Falla de Cuisa y el Boque de deformación Iruán (BDI) que se observan en la Alta Guajira (INGEOMINAS & UNAL, 2009).

SISTEMA DE FALLA E-W		
FALLA	DESCRIPCIÓN	TIPO DE FALLA
Falla Cuisa	La falla presenta un trazo bien definido, formando un escarpe de línea de falla de rumbo dextral	Falla de rumbo dextral la cual buza hacia el sur, aunque autores como Rollins (1965) y Álvarez (1967), sugieren que también presenta una componente vertical
Bloque de deformación Iruán (BDI)	Incluye el Bloque de Cosinas (BC), limitado al N por la Falla Cuisa, al W por la Falla Puralapo y la Falla Cosinas, pone en contacto rocas sedimentarias Cretácicas al sur con rocas sedimentarias Terciarias al norte, mientras que el Bloque Orocho (BO), limita al norte con la Falla Cuisa, al E por la Falla de Puralapo y al S por la Falla Orocho, conteniendo rocas metamórficas del Paleozoico y Cretácico	El Bloque Orocho, describe una dirección N45°E y un movimiento lateral dextral. El Bloque Cosinas, describe una dirección EW

7. Geología de la Granodiorita de Ipapure

Esta unidad fue definida por Radelli (1960) quien las describe como un conjunto de rocas granodioríticas aflorantes al norte de Ipapure y que intruyen la unidad de lavas Riodacíticas de La Teta . Ipapure. MacDonald & Opdyke (1972) denominan este cuerpo como Diorita de Maruayán; sin embargo Rodríguez & Londoño (2002) mantienen la definición original de Radelli (1960).

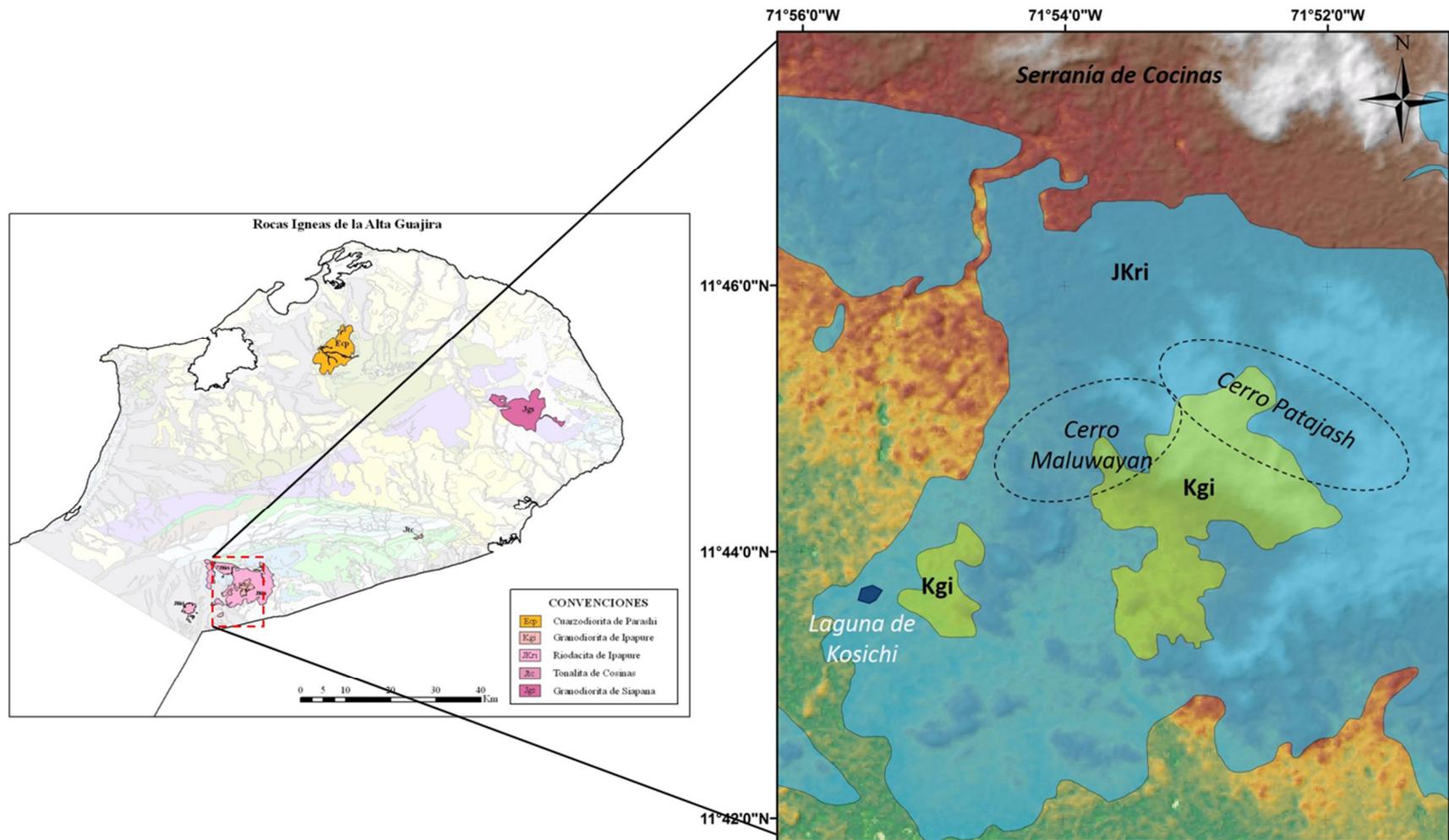
A partir del trabajo desarrollado por INGEOMINAS y UNAL (2009) y en este estudio se determinó que la unidad presenta un color predominantemente gris medio a oscuro, con alto grado de meteorización y diaclasamiento y su principal característica es su disposición en bloques que forman una serie de montículos, los cuales sobresalen sobre la planicie aluvial que se encuentra en los alrededores de la Ranchería de Maruayán y en algunos cerros cercanos. Esta unidad muestra variaciones composicionales entre tonalitas, dioritas, cuarzo-andesitas y granodioritas. Además, se observan numerosos enclaves y diques. En general la unidad exhibe poca extensión cartográfica (Figura 7-1).

7.1 Afloramientos

La Granodiorita de Ipapure aflora en el sector SW de la Península de La Guajira entre el Cerro La Teta, la Serranía de Cosinas y el Cerro Cojoro (Venezuela) y ocupa la parte baja de los valles al NE de Ipapure (Renz, 1960).

Los mejores exposiciones de esta unidad, en la zona de estudio, se observan en pequeños cerros al este de la Laguna de Kosichi, al sur del Cerro Patajash, Cerro Maluwayán y sobre el valle aluvial que se encuentra entre los cerros antes mencionados y el Cerro Palaceo al sureste, más específicamente en los alrededores de la Ranchería Maruayán. En la Figura 7-1 se registran las localidades donde se observó.

Figura 7-1: Mapa de localización de la unidad Granodiorita de Ipapure, localizada al SW de la Península de la Guajira, donde se observan los mejores afloramientos de la unidad Granodiorita de Ipapure.



7.2 Geomorfología

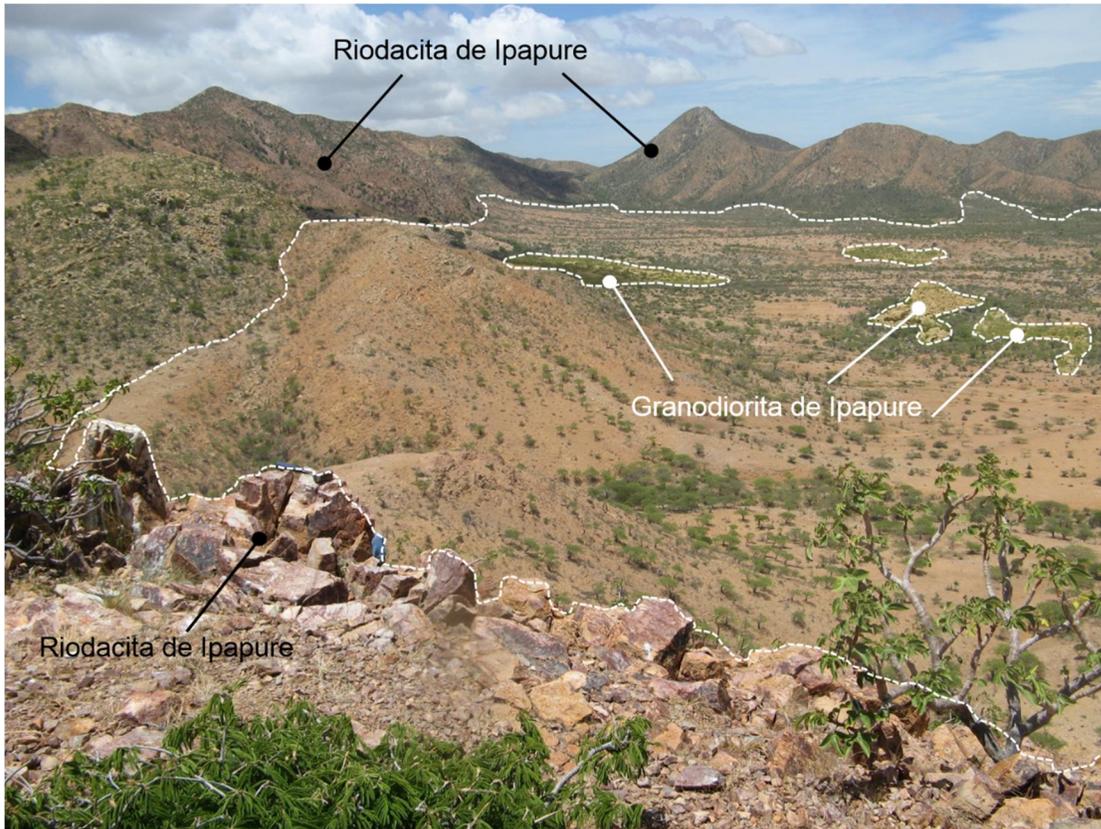
A la unidad Granodiorita de Ipapure se asocian dos tipos de morfologías, una de ellas está relacionada con los afloramientos encontrados en los Cerros Patajash y Maluwayán, los cuales corresponden a cerros puntiagudos con pendientes que varían de medias a altas, cimas irregulares y alto grado de diaclasamiento (Figura 7-2).

Figura 7-2: Se observa el contraste morfológico entre la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta, la cual se caracteriza por cerros puntiagudos con pendientes medias a altas, mientras que la Granodiorita de Ipapure, se dispone en el cambio de pendiente en el Cerro Patajash, caracterizado por la acumulación a media ladera de montículos formado por bloques métricos de granodiorita y sobre la planicie aluvial del Arroyo Maulualu.



En el segundo tipo de morfología, predominan los montículos dispersos, con formas alargadas, dispuestos de manera aleatoria sobre la planicie aluvial formada por los afluentes de arroyos Maluwayan, Moulualu o Palaceo, donde la roca se encuentra altamente diaclasada y fracturada (Figura 7-3). De manera general los montículos son de baja altura, aunque algunos de ellos pueden elevarse por encima de la superficie en más de 2 m generando acumulaciones de bloques que semejan montículos con cimas redondeadas.

Figura 7-3: En esta fotografía se observa la geomorfología que montículos bajos (con alturas de aproximadamente 2 m, de altura), con formas alargadas, dispuestos aleatoriamente sobre la planicie aluvial en los alrededores de la Ranchería Maruayán. La característica principal de estas geofoma es que se encuentra conformado por bloques métricos (tamaño Boulder) de la Granodiorita de Ipapure.

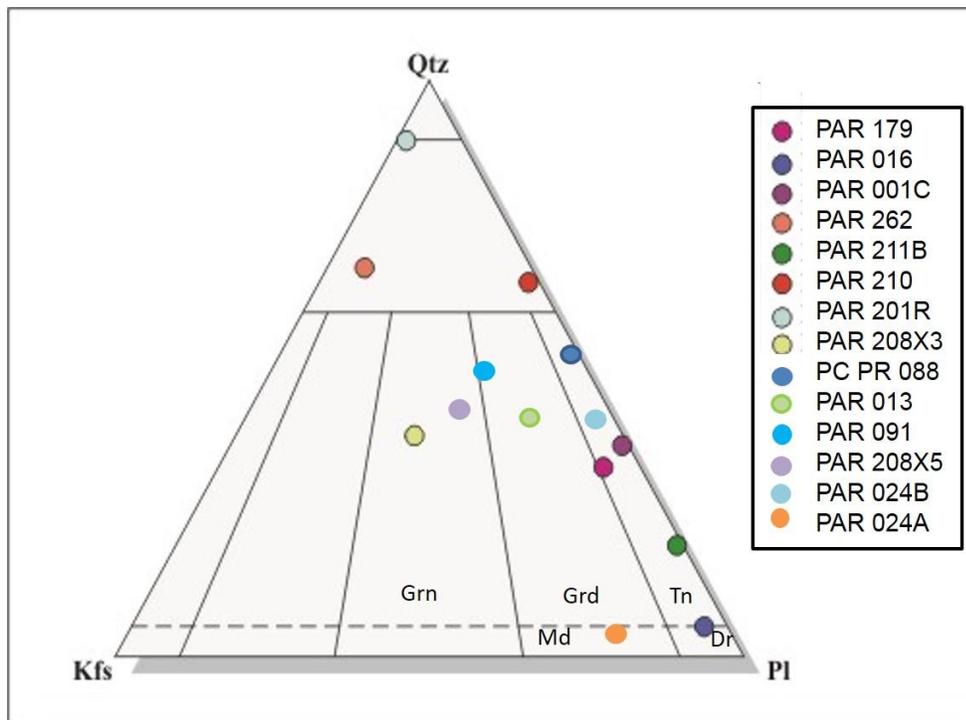


7.3 Descripción

Microscópicamente la unidad Granodiorita de Ipapure corresponde a una roca holocristalina fanerítica, inequigranular modal, compuesta por cristales de cuarzo, plagioclasa (labradorita y ocasionalmente andesinas) y esporádicamente feldespato potásico como minerales esenciales; acompañados por biotita, hornblenda y minerales de alteración como epidota, clorita, sausrita, sericita y carbonatos, asociados a la alteración de plagioclasa y feldespato, además de circón y minerales opacos, exhibiendo formas subhedrales a anhedrales que describen una textura hipidiomórfica.

La unidad muestra variaciones composicionales (Figura 7-4), evidenciadas en la presencia predominante de granodiorita, monzodiorita, diorita y tonalita. Asimismo, se encuentra afectada por enclaves de tonalita y granodiorita y diques de tonalita, diorita y aplitas.

Figura 7-4: Triangulo QAP de Streckeisen (1976) para clasificar rocas ígneas intrusivas. Muestras de tonalitas (PAR179, PAR001C, PAR211B, PCPR 088, PAR 024B), diorita (PAR016), monzodiorita (PAR 024A), granito (PAR208X3, PAR208X5, PAR 091), granodiorita (PAR 013) y diques de granitoides ricos en cuarzo (PAR262, PAR 210, PAR207R).



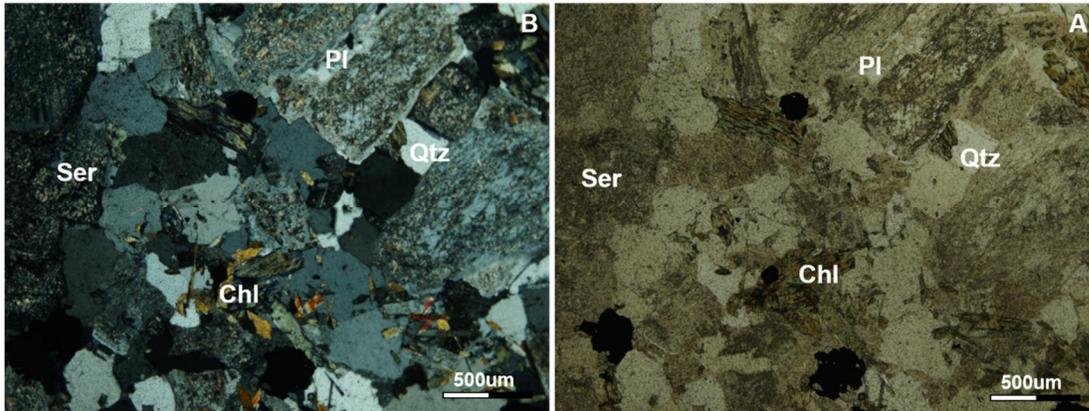
7.3.1 Granodiorita

La granodiorita aflora al suroeste y oeste del Cerro Maluwayan y el Arroyo Maluwayan, donde la unidad se dispone en pequeños montículos alargados que sobresalen sobre la planicie aluvial, conformada por bloques subangulares con alto grado de diaclasamiento y meteorización esferoidal.

Esta roca presenta una textura fanerítica, color gris claro con presencia de enclaves y tamaño de grano medio a grueso granular.

Microscópicamente exhibe textura fanerítica, holocristalina con cristales subhedrales a euhedrales que generan una textura hipidiomórfica, conformada por cristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico totalmente alterado, acompañados por cristales de hornblenda, mica moscovita, biotita, minerales opacos, clorita, sericita y caolín, estos últimos como producto de alteración de algunos de los minerales esenciales (Figura 7-5) y (Tabla 7-1).

Figura 7-5: Fotografías de sección delgada de la muestra PAR 091, donde se observa una roca con textura fanerítica, compuesta por cristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato altamente alterado a sericitizada y sausruta y biotitas cloritizadas. Aumento 4X. A. PPL. B. PPX.



Los cristales de cuarzo son subhedrales y presenta extinción ondulante. La plagioclasa presenta formas subhedrales con extinción ondulante, zonamiento discontinuo concéntrico con presencia de lamelas de deformación y textura antipertítica (feldespato potásico en plagioclasa) o en parches. Los cristales de feldespato potásico tienen formas subhedrales, alto grado de alteración, que le otorgan a la roca un color café amarillento.

Tabla 7-1: Tabla que muestra la distribución de los componentes presentes a partir del análisis de la sección delgada perteneciente a las Granodioritas, que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure.

MUESTRA	MINERALES ESENCIALES			MINERALES ACCESORIOS			MINERALES DE ALTERACIÓN				
	Qz	Pl	Kf	Hb	Bt	Min. Opacos	Ep	Chl	Sausurita	Sericita	Carbonato
PAR 091	34.8%	3.2 %	—	1.6%	3.2%	3.22 %	2.5 %	7.41 %	9.03 %	34.8 %	—

Los minerales accesorios están representados por hornblenda, biotita, y opacos. La hornblenda tiene formas subhedrales a anhedrales y extinción ondulante, puntualmente exhibe textura esquelética y alto grado de alteración. La biotita es tabular con formas subhedrales a anhedrales, generalmente forman agregados cristalinos, zonación y alteración a clorita.

Los minerales opacos, exhiben formas subhedrales a anhedrales, corresponden a cristales de óxidos de hierro, posiblemente hematita. Los minerales de alteración son mica moscovita en cristales subhedrales, la sericita y la caolinita como producto de alteración de la plagioclasa y los feldespatos potásicos.

7.3.2 Monzodiorita

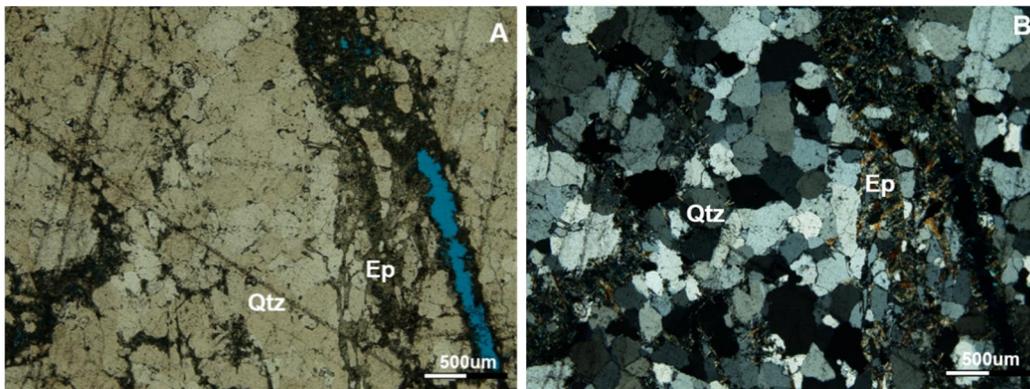
Los afloramientos asociados a las monzodioritas, se encuentran al SE del Cerro Maluwayan, más exactamente en la parte baja del Cerro Patajash. En este sector se observa al parecer la zona de contacto entre las monzodioritas de la Granodiorita de Ipapure y las rocas volcánicas de la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta; allí se observa una roca silíceo finogranular de color blanco acompañada por fenocristales de cuarzo (recristalización de los minerales silíceos?) y en los planos de diaclasas se observa el crecimiento de minerales máficos con tamaño de grano fino, color negro y brillo iridiscente.

Geomorfológicamente esta litología está caracterizada por montículos bajos en los cuales afloran las rocas faneríticas de color gris claro sobre una morfología plana asociada a los depósitos aluviales recientes (Qal). Esta litología también está afectada comúnmente por

meteorización esferoidal y alto grado de diaclasamiento. Así mismo se observan diques aplíticos que estarían hacia el borde del cuerpo intrusivo.

Macroscópicamente las monzodioritas muestran una textura holocristalina, fanerítica con tamaño de grano medio a grueso, hipidiomórfica, con formas predominantemente subhedrales (Figura 7-6).

Figura 7-6: Fotografías de sección delgada de la muestra PR024A, correspondiente a Monzodioritas dentro de la unidad Granodiorita de Ipapure, en las cuales se observa una roca con textura holocristalina fanerítica. Qtz: Cuarzo, Ep: Epidota. A. PPL. B. PPX. Aumento 4X. A. PPL. B. PPX.



Los minerales esenciales de las monzodioritas son fenocristales de cuarzo, labradorita y feldespato potásico (Tabla 7-2). El cuarzo tiene formas subhedrales, bordes corroídos e irregulares con contacto puntual entre granos, que le otorgan una textura fanerítica, pero algunas veces exhibe textura en mosaico, debido a que se forman agregados cristalinos de cuarzo. En las venas, los cristales de cuarzo presentan formas subhedrales a anhedrales, dispuestos en agregados con tamaño de grano fino a medio. La plagioclasa es de tipo labradorita (9%), tabular, con formas subhedrales, cubiertos por una pátina de color café, altamente alterada a sericita, otorgándole un aspecto sucio a la superficie de los cristales. Los cristales de feldespato potásico (4%) son tabulares con formas subhedrales a anhedrales, altamente alterados a caolín.

La muestra PAR 024A, cae en el campo 9 del triángulo de Streckeisen (1976), el cual corresponde a Monzogabro/Monzodiorita. La diferencia entre el gabro y la diorita está dada por la composición de la plagioclasa presente, de ahí que la presencia de labradorita en la muestra con una relación An entre (50 y 70), la hace más afín a un monzogabro, pero cabe anotar que no se observan clinopiroxenos (augita), como uno de los componentes asociados a un gabro, por lo cual podría estar más asociada a una monzodiorita, teniendo en cuenta la presencia de feldespato alcalino.

Por otro lado los minerales accesorios corresponden a biotita (5%), la cual presenta formas subhedrales, tabulares con alto grado de alteración. Como minerales de alteración se observó clorita (6%), exhibe formas subhedrales con pleocroísmo verde, producto de la alteración de la biotita, de manera puntual. Los minerales opacos, se observan asociados a los cristales de clorita, con formas hexagonales de color café rojizo, relieve alto, subhedral con bordes corroídos, que se puede relacionar con un seudomorfo de minerales opacos, algunos de ellos presentan formas tabulares y pleocroísmo verde café.

Tabla 7-2: Tabla que muestra la distribución de los componentes presentes a partir del análisis de la sección delgada perteneciente a las Monzodioritas, que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure.

MUESTRA	MINERALES ESENCIALES			MINERALES ACCESORIOS			MINERALES DE ALTERACIÓN				
	Qz	Pl	Kf	Hb	Bt	Min. Opacos	Ep	Chl	Sausurita	Sericita	Carbonatos
PAR 024A	10%	9 %	4	_____	5 %	20 %	3%	6 %	_____	41 %	4%

La epidota tiene formas tabulares, es incolora a verdosa, pleocroica con relieve alto y puntualmente se encuentra formando agregados cristalinos. Los minerales opacos exhiben formas anhedrales y bordes irregulares. También se observa de manera esporádica circones con forma prismática, subhedral, relieve alto y color blanco a rosado.

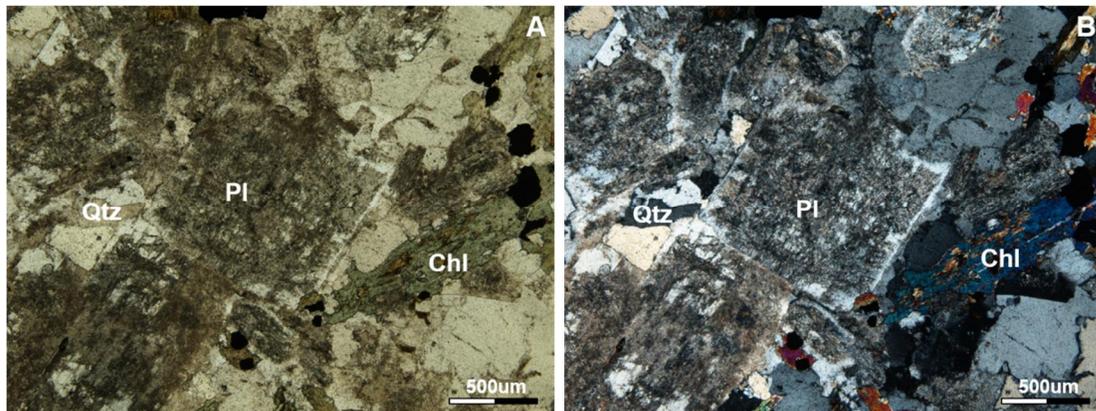
Otros minerales de alteración son la sericita y los carbonatos, en forma de pátinas sobre la superficie de los minerales primarios como la plagioclasa y los feldespatos, proporcionándoles un aspecto sucio.

7.3.3 Diorita

Los afloramientos de dioritas, se observan en la parte baja del Cerro Maluwayan, dispuestos de manera aleatoria sobre la planicie aluvial de un afluente del arroyo Maluwayan a manera de montículos de baja altura, conformados por bloques métricos con formas subredondeados, con alto grado de diaclasamiento y afectados por meteorización esferoidal.

Macroscópicamente la roca exhibe una textura fanerítica de color gris con tamaño de grano variable de fino a medio, conformada por cristales subidiomórficos a xenomórficos de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita alterada y hornblenda (Figura 7-7).

Figura 7-7: Fotografías de secciones delgadas de las muestras PAR013, correspondientes a Dioritas con textura fanerítica, compuesta por cristales de cuarzo (Qtz), plagioclasa (Pl) con alto grado de alteración a sericita (Ser) y cristales de clorita (Chl) y epidota (Ep). Aumento 4X. A. PPL, B. PPX.



Microscópicamente, las dioritas muestran una textura fanerítica, holocristalina, inequigranular, bimodal, donde la mayoría de los cristales muestran formas subhedrales a anhedrales con tamaño de grano variable entre medio a grueso. Los cristales de mayor tamaño corresponden a plagioclasa y feldespatos y los de menor tamaño corresponden a los demás minerales formadores de roca (Tabla 7-3).

Tabla 7E3: Tabla que muestra la distribución de los componentes a partir del análisis de las secciones delgadas pertenecientes a la Diorita, que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure.

MUESTRA	MINERALES ESENCIALES			MINERALES ACCESORIOS			MINERALES DE ALTERACIÓN				
	Qz	Pl	Kf	Hb	Bt	Min. Opacos	Ep	Chl	Sausurita	Sericita	Carbonatos
PAR 013	13%	17%	3%	9%	9%	8%	12%	5%	—	27%	1%

Los cristales de cuarzo (5% a 10%) presentes en la diorita tienen formas subhedrales a anhedrales, tamaño de grano medio, bordes irregulares y corroídos e inclusiones de minerales opacos, extinción ondulante y fracturas. Se observan cristales de plagioclasa (50% a 90%) con formas generalmente tabulares, principalmente subhedrales con tamaño de grano variable de fino a medio. Las plagioclasas exhiben diferentes tipos de maclas: Carlsbad-albita, albita, periclina, Carlsbad-periclina y zonamiento oscilatorio, cambiando gradualmente desde un interior más cálcico hacia unas márgenes más sódicas. La composición de la plagioclasa varía de andesina a labradorita, lo cual nos hace pensar en sí la muestra puede corresponder a un gabro, para ello se debe tener en cuenta que en las dioritas muestran un contenido de An entre 30-50, lo cual es consistente con la presencia de Andesina (An= 30-50), mientras que la labradorita exhibe un An= 50-70, lo cual se sale un poco del rango de las dioritas, pero tampoco cumple estrictamente el contenido de An de un gabro, el cual varía entre An= 70-90, asimismo no se observó en el análisis petrográfico la presencia de piroxenos, es por ello que la muestra se asocia a una diorita y no a un gabro.

Los cristales de feldespato potásico (3%) tienen formas subhedrales a anhedrales, con tamaño de grano medio a grueso comparables con el de las plagioclasas (Figura 7-7). La moscovita se presenta en cristales anhedrales con tamaño de grano fino, incoloro y rodeado por carbonatos y plagioclasa.

Los minerales accesorios están representados por cristales de hornblenda y biotita. La hornblenda se presenta en cristales con tamaño de grano medio, bordes rectos hasta irregulares, subhedrales de color verde-amarillento, pleocroica y algunas de ellas exhiben maclas. La biotita es tabular con bordes rectos, corroídos e irregulares, subhedrales,

tamaño de grano fino, color café y pleocroica. Se observa epidota como producto de la alteración de la hornblenda; este mineral tiene formas tabulares, subhedrales con tamaño de grano medio. La clorita tiene formas subhedrales a anhedrales, con tamaño de grano fino y color verde claro.

La sericita es producto de la alteración de la plagioclasa, tiene forma anedral, es incolora y de tamaño de grano fino. La sausruta se presenta en cristales anhedrales con tamaño de grano fino y se describen como una pátina de color café; asimismo los cristales de carbonatos se presentan como una pátina de color crema . rosado que cubre otros minerales. Los minerales opacos tienen un tamaño de grano fino con formas subhedrales a anhedrales, color negro, isotrópicos y distribuidos de manera aleatoria sobre la roca.

7.3.4 Tonalita

Los principales afloramientos de las tonalitas se observan al norte del Cerro Parrari y al sur de la Loma Patajash, dispuesto en montículos alargados de baja altura, conformado por bloques subangulares con alto grado de diaclasamiento que sobresalen sobre la planicie aluvial actual.

Las tonalitas corresponden a una roca ígnea fanerítica de color gris con tamaño de grano variable de medio a grueso, leucocrática a mesocrática, inequigranular seriada, compuesta por cristales subhedrales a anhedrales de plagioclasa, cuarzo, hornblenda, feldespatos potásico, biotita, minerales máficos y minerales opacos. De manera puntual en algunos afloramientos se observa en la roca la presencia de óxidos de hierro y una coloración amarilla producto del alto grado de meteorización, además la roca se caracteriza por presentar meteorización esferoidal.

Así mismo en esta litología se observa la presencia de enclaves finogranulares máficos que describen formas alargadas con diámetros máximos de 20 cm de largo por 25 cm de ancho.

Microscópicamente las tonalitas corresponden a una roca holocristalina, fanerítica, textura hipidiomórfica con una distribución seriada, tamaño de grano variable desde finogranular

hasta grueso granular, además se encuentra cubierta por una pátina de color café que le otorga un aspecto sucio a la superficie de la roca. Los cristales exhiben formas predominantemente subhedrales a euhedrales pero algunos minerales exhiben formas anhedrales (Figura 7-8).

Las tonalitas se encuentran conformadas por cristales de cuarzo (30% a 46%) con formas subhedrales, tamaño de grano medio a grueso, algunos de ellos con bordes redondeados, y contacto entre granos rectos y suturados, además algunos muestran textura en mosaico. En el caso de la plagioclasa (40% a 60%), se presentan en cristales tabulares, subhedrales, con distribución inequigranular seriada con tamaño de grano medio a grueso. La composición de la plagioclasa es variable entre andesina a labradorita, evidenciada en la presencia de maclas de carsbald, albita, periclina, carsbald-periclina, carsbald-albita con zonamiento oscilatorio y textura mirmequítica. Una de las características de estos minerales es su alto grado de alteración a sericita, sausurita y la presencia de bordes corroídos. El feldespato potásico (6%), está representado por cristales tabulares de microclina, con formas subhedrales a euhedrales. Algunos cristales muestran bordes irregulares o redondeados, alteración a sausurita y acompañada localmente por textura mirmequítica y pertítica (Figura 7. 8).

La biotita, está representada por cristales subhedrales a anhedrales y disposición tabular, sus cristales muestran un tamaño de grano fino a medio, color verde oscuro y pleocroísmo café, café-verdoso y verde. Además estos cristales exhiben alto grado de alteración, evidenciado en la presencia de una textura esqueletal con inclusiones de minerales opacos. La hornblenda (2%) tiene formas subhedrales a anhedrales y puntualmente euhedrales, bordes rectos, tamaño de grano variable de fino a medio, color café-verdoso a verde-amarillento, pleocroico y textura esqueletal de manera puntual en algunos de los cristales. Los minerales opacos se presentan en cristales subhedrales a anhedrales con tamaño de grano fino, isotrópicos, los cuales se encuentran como inclusiones en otros minerales como las biotitas, distribuidos de manera aleatoria sobre la roca, mientras que los óxidos de hierro, exhiben formas anhedrales, color rojizo y dispuestos a manera de patina sobre los minerales primarios.

Los minerales de alteración (Figura 7. 8) son principalmente epidota, clorita, sericita, y sausurita. La epidota tiene formas subhedrales a anhedrales, bordes irregulares, tamaño

de grano fino a medio de color verde oscuro, pleocroico. Además la epidota es el resultado de la alteración de los cristales de biotita y hornblenda. La clorita, tiene formas tabulares, subhedrales, color verde, pleocroico con tamaño de grano fino, asociada como producto de la alteración de la biotita. La sericita es incolora y la sausrita de color café, con formas anhedrales y se dispone a manera de patinas o manchas sobre los cristales, dándoles a estos un aspecto sucio, generalmente están asociadas como producto de alteración de la plagioclasa. Además se observan carbonatos a manera de patinas que cubren las cristales de feldespato como producto de alteración de los mismos (Tabla 7-4).

Figura 7-8: Fotografías de secciones delgadas de las muestras PAR149 (A y B) y PAR088 (C), correspondientes a Tonalitas con textura holocristalina fanerítica, compuesta por Cuarzo (Qtz), Sericita (Ser), Clorita (Chl), Plagioclasa (Pl). Aumento 4X. A y C. PPX, B. PPL.

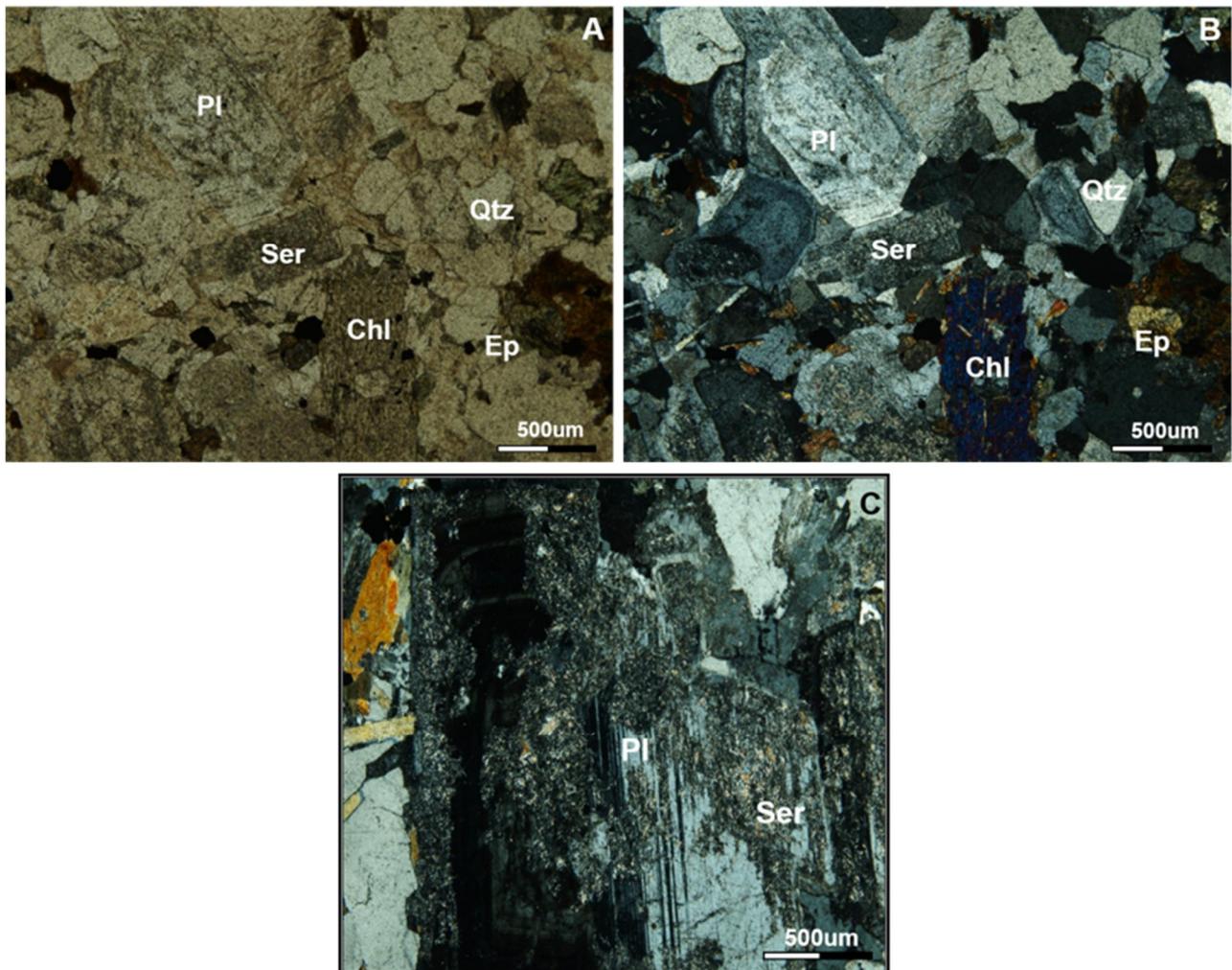


Tabla 7E4: Tabla que muestra la distribución de los componentes a partir del análisis de las secciones delgadas pertenecientes a las Tonalitas, que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure.

MUESTRA	MINERALES ESENCIALES			MINERALES ACCESORIOS			MINERALES DE ALTERACIÓN				
	Qz	Pl	Kf	Hb	Bt	Min. Opacos	Epidota	Clorita	Sausurita	Sericita	Carbonatos
PAR 151	35.9 %	22.5 %	2 %	1.5 %	4 %	1.8 %	0.4 %	0.2 %	20 %	9.4 %	2 %
PAR 179	25.4 %	3.44 %	5.50 %	4.81 %	5.33 %	2.8 %	2.40 %	1.89 %	7.21 %	40.3 %	1.03 %
PAR 088	24 %	3 %	— —	0.3 %	12.3 %	5.7 %	6.3 %	3.7 %	25.7 %	19 %	—
PAR 001 C	28.7 %	16 %	— —	1.3 %	9 %	3.7 %	2%	2.7 %	36.7 %	36.7 %	—
PAR 149	36 %	18.3 %	— —	0.6 %	9.3 %	5.3 %	3.7 %	3.3 %	5.3 %	18 %	—
PC-PR 081B	30.2%		— —	—	25.2 %	17.6%	2%	—	—	23%	—

7.3.5 Enclaves

Los enclaves observados en la Granodiorita de Ipapure, se disponen de manera aleatoria en el área donde aflora la unidad, aunque se observa un predominio en las rocas que hacen parte de los montículos de baja altura con alto grado de fracturamiento y meteorización esferoidal que sobresalen sobre la planicie aluvial al sur de los cerros Maluwayan y Patajash.

Estos muestran una composición similar a la observada en la roca que los contienen, variando de Granodiorita a Tonalita. Se caracterizan por un tamaño de grano más fino y un aumento en la presencia de minerales máficos, presenta formas redondeadas y ovaladas, con tamaño desde 10 cm a 20 cm de largo y 8,5 cm hasta 25 cm de ancho. Además, microscópicamente se observan microestructuras holocristalinas, faneríticas, inequigranular e hipidiomórfica y distribución modal en el tamaño de grano.

Uno de los enclaves analizados petrográficamente (muestra PAR208X5) presenta textura fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica, finogranular de color gris oscuro; la superficie del enclave presenta una textura rugosa y opaca y alto grado de alteración (Figura 7-9 y Tabla 7-5). Está compuesto por cristales subhedrales a anhedrales de cuarzo con tamaño de grano fino, bordes irregulares traslúcido con extinción ondulante. La plagioclasa (andesina), se presenta en cristales tabulares subhedrales, tamaño de grano fino, alterado, con maclas de albita y Carlsbad; el color de los cristales es café, dándole un aspecto sucio a la superficie del mineral y generalmente alteran a sausruta y sericita.

La biotita, se presenta en cristales de tamaño de grano fino, tabulares con clivaje, color café, pleocroico (café a café amarillento). La hornblenda, se exhibe en cristales de tamaño de grano fino un poco mayor a los cristales de cuarzo, color café verdoso, pleocroico y presentan formas esqueléticas. Los minerales opacos, se presentan en cristales anhedrales, color negro, isotrópico con tamaños de grano fino, los cuales se encuentran incluidos en los demás minerales y distribuidos de manera aleatoria en toda la roca, además los óxidos se presentan como pátinas o costras sobre los minerales.

Figura 7-9: Fotografías de sección delgada de la muestra PAR208X5, correspondiente a un enclave con textura fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica, finogranular de color gris oscuro, cuya superficie presenta una textura rugosa y opaca y alto grado de alteración, compuesto por cristales de cuarzo, andesina, biotita, hornblenda, minerales opacos (Op), epidota (Ep), sericita (Ser), sausruta y clorita (Chl) con aumento de 4X. A. PPL. B. PPX.

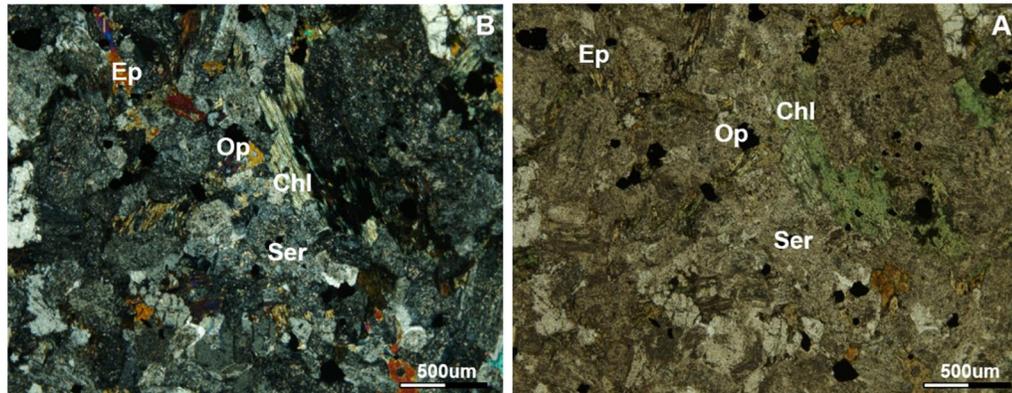


Tabla 7-5: Tabla que muestra la distribución de los componentes presentes a partir del análisis de la sección delgada perteneciente a los enclaves que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure.

MUESTRA	MINERALES ESENCIALES			MINERALES ACCESORIOS			MINERALES DE ALTERACIÓN				
	Qz	Pl	Kf	Hb	Bt	Min. Opacos	Ep	Chl	Sausurita	Ser	Carbonatos
PAR208X5	6.25%	3.75%	–	4.37%	5%	20%	15%	10.9%	29.6%	16.2%	–

Los principales minerales de alteración presentes, corresponden a la epidota, la cual muestra cristales principalmente alargados y tabulares, tamaño de grano fino, color verde, pleocroico (verde claro a amarillo verdoso) y junto con la clorita son el producto de la alteración de las biotitas y las hornblendas, por otra parte tenemos la sericita y sausruta como producto de alteración de la plagioclasa. La sericita, se presenta en forma de pátinas, de color blanco translucido, con colores de birrefringencia amarillo, rosado y azul de tercer orden y la sausruta, muestra un color café claro que le otorga a la superficie del mineral un aspecto sucio.

7.3.6 Diques

La Granodiorita de Ipapure se encuentra afectada por diques de composición variable que la cortan de manera irregular. Los mejores afloramientos se encuentran en los cerros al sureste del Cerro Patajash, en el Cerro Patajash, al sureste del Cerro Maluwayan, al oeste del Cerro Palaceo, en cercanías de un afluyente del Arroyo Palaceo y sobre la planicie aluvial al norte del Cerro Palaceo. Los diques presentan composición variable, tonalíticos y dioríticos y algunos con textura aplítica

Los diques aplíticos (muestra PR024B) son de composición tonalita y textura fanerítica, holocristalina, tamaño de grano medio a grueso, equigranular, hipidiomórfica (Figura 7-10). Están compuestos por cristales de cuarzo euhedrales a anhedrales con contacto puntual entre granos, formando agregados cristalinos que generan una textura en mosaico. La biotita, presenta formas tabulares, subhedrales con tamaño de grano muy fino, color verde-café, pleocroica. La clorita, se da en cristales euhedrales a anhedrales con pleocroísmo verde. La epidota, muestra formas tabulares, alto relieve, pleocroica de verde a incolora y puntualmente forma agregados cristalinos. Los minerales opacos, exponen formas anhedrales de bordes irregulares, asociados a óxidos de hierro (hematita), aunque se presenta un mineral de forma hexagonal de color café rojizo a pardo que podría corresponder con un seudomorfo de mineral opaco, sin identificar (Tabla 7-6).

Los diques de composición dacítica (muestra PR10ID006A) (Figura 7-11) presentan una textura hialocristalina porfídica con una relación matriz:fenocristales de 85:15. La matriz es de color crema oscuro, cubierta por una pátina de color café, alto grado de meteorización, tamaño de grano muy fino, compuesta principalmente por cristales de cuarzo, plagioclasa alterada a sericita y minerales isotrópicos. Los fenocristales exhiben alto grado de alteración, subhedrales e inequigranular bimodal. Los cristales de cuarzo, se presentan en cristales subhedrales con tamaño de grano fino, color blanco, distribuidos de manera aleatoria en toda la sección. Además, se observa rellenando venas o fracturas y también se dispone en agregados finogranulares que describen una textura en mosaico.

Figura 7-10: Fotografías de sección delgada de la muestra PAR024B, correspondiente a un dique con textura aplítica, fanerítica, holocristalina, tamaño de grano fino, compuesto por cuarzo (Qtz), Biotita (Bt), epidota (Ep), clorita (Chl) y minerales opacos (Op) con aumento de 4X. A. PPL. B. PPX.

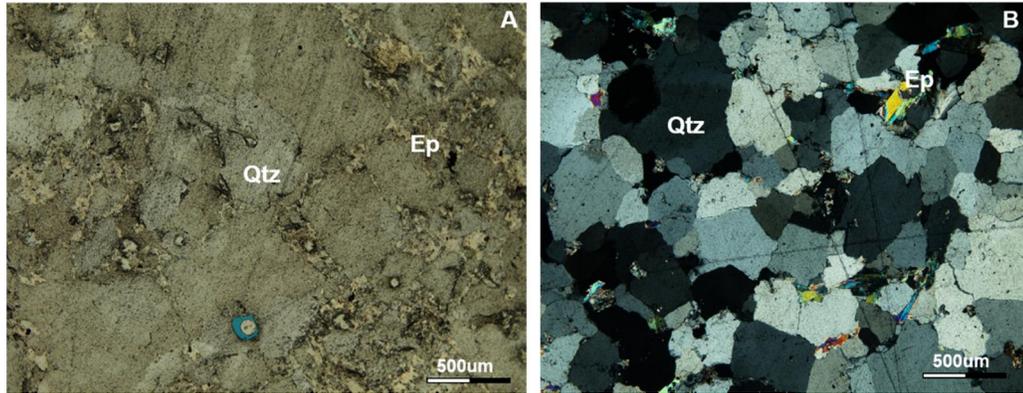


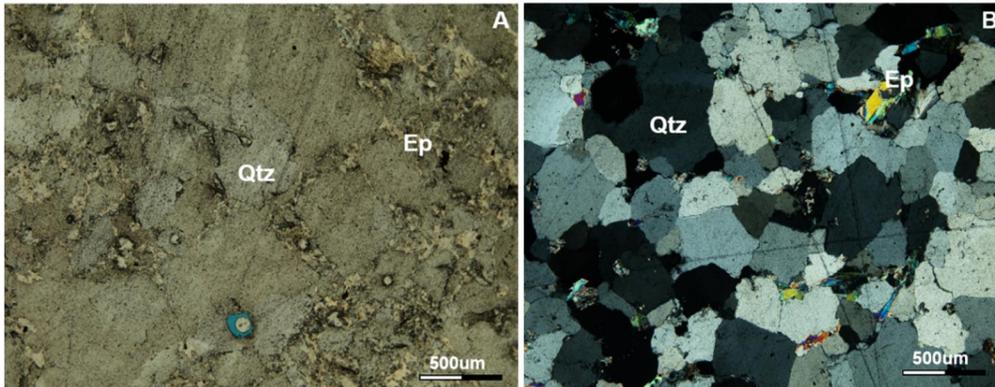
Tabla 7-6: Tabla que muestra la distribución de los componentes presentes a partir del análisis de la sección delgada perteneciente a los diques que hacen parte de la unidad Granodiorita de Ipapure.

MUESTRA	MINERALES ESENCIALES			MINERALES ACCESORIOS			MINERALES DE ALTERACIÓN				
	Qz	Pl	Kf	Hb	Bt	Min. Opacos	Ep	Chl	Sausurita	Ser	Carbonatos
PAR024B	49%	10%	–	–	7%	4%	14%	2%	–	23%	–
PR10ID006A	37.3%	–	–	–	–	14.3%	–	2%	–	31.3%	–

La sericita, corresponde a un producto de alteración de la plagioclasa, se encuentra en cristales anhedrales totalmente reemplazados (como pasa en la muestra PR10ID006A), con tamaño de grano fino. La clorita, exhibe cristales subhedrales a anhedrales con tamaño de grano medio, color verde claro, pleocroico, de verde claro a verde oscuro y en los bordes se observan óxidos de hierro, algunos de estos cristales presentan una especie de corona alrededor de borde la cual está compuesta por cristales tabulares, individuales y como agregados de muscovita. Los minerales opacos y óxidos de hierro, se presentan como patinas o como cristales anhedrales de color café negro y rojizo amarillento, distribuidos de manera aleatoria sobre la roca y se encuentran rellenando venas y fracturas. La muscovita, se presenta en cristales individuales tabulares y como agregados, los cristales

son subhedrales, tamaño de grano fino y algunas veces hacen parte de una posible corona de reacción que se forma alrededor de los cristales de clorita. Los carbonatos, se presentan en patinas con tamaño de grano muy fino.

Figura 7-11: Fotografías de sección delgada de la muestra PR10ID006A, correspondientes a diques de textura porfídica con matriz microcristalina, afanítica con fenocristales de cuarzo (Qtz), plagioclasa sericitizada (Ser), clorita, minerales opacos y óxidos de hierro, muscovita y carbonatos con aumento de 4X. A. PPL. B. PPX.



7.4 Contactos

Geomorfológicamente, el contacto entre la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita de Ipapure Cerro La Teta, se evidencia en el cambio de pendiente observado a media ladera de los Cerros Maruayán y Patajash hacia la planicie aluvial (Figura 7-12), otra de las características importantes del contacto es el alto grado de diaclasamiento, fracturamiento y efectos dinámicos, asociados a fallas. Por otra parte, donde la granodiorita aflora, esta se dispone en bloques métricos a decamétrico (Figura 7-13) con presencia de enclaves y meteorización esferoidal.

La zona de contacto entre la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta, está evidenciada en un cambio en el tamaño de grano de las litologías presentes, pasando de una textura fanerítica a una textura porfírica con tamaño de grano fino, representada por rocas leucocráticas con tamaño de grano muy fino y presencia de fenocristales, afectadas con alto grado de meteorización, diaclasamiento y fracturamiento, asociadas a una microdiorita (Figura 7-13).

Por otra parte, los cálculos cuantitativos barométricos y termométricos obtenidos para cinco muestras de la Granodiorita de Ipapure (PAR 001C, PC PR 081, PAR 099, PAR 088 y PAR 013) y tres muestras para la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta (PAR 225, PAR 16C y AP 10IIA 35), a partir del geobarómetro de Al en Hb y los geotermómetros Anfíbol+Plagioclasa+Titanio en Biotita, se obtuvo que las temperaturas de cristalización de las unidades son muy similares (SGC & UNAL, 2013) (Tabla 7-7), los cuales nos dicen que las dacitas pertenecientes a la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta que rodean la Granodiorita de Ipapure, muestran una temperatura de $591, 00 \pm 28.5 \text{ }^\circ\text{C}$ y una presión de $470 \pm 50 \text{ bar}$, mientras que la granodiorita, oscila entre $618, 5 \pm 24 \text{ }^\circ\text{C}$ y $702, 16 \pm 24 \text{ }^\circ\text{C}$ a una presión entre 0.6Kbar a 1.6 Kbar. Lo anterior ayuda a entender el hecho de no encontrar una aureola de contacto bien desarrollada entre la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita, debido a que la perturbación térmica ocasionada por la intrusión no fue significativa y el nuevo gradiente geotérmico generado, no afectó de manera impactante a las unidades en contacto.

Así mismo, en la zona del contacto es común observar en la Granodiorita de Ipapure un aumento en la presencia de enclaves máficos, finogranulares con textura afanítica, compuestos por abundantes enriquecimientos de óxidos negros, los cuales forman acumulaciones circulares, formando nidos de minerales máficos con brillo iridiscente.

Tabla 7-7: Listado de muestras con cálculo cuantitativos barométricos y termométricos para la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita de Ipapure, a través del geobarómetro de Al en Hornblenda y los geotermómetros Anfíbol+Plagioclasa+Titanio en Biotita (SGC & UNAL, 2013).

CÓDIGO DE LA MUESTRA	UNIDAD LITOLÓGICA	TEMPERATURA
PAR 001C	Granodiorita de Ipapure	$702, 16 \pm 24 \text{ }^\circ\text{C}$
PC PR 081	Granodiorita de Ipapure	$700, 99 \pm 24 \text{ }^\circ\text{C}$
PAR 099	Granodiorita de Ipapure	$618, 5 \pm 24 \text{ }^\circ\text{C}$
PAR 088	Granodiorita de Ipapure	$718, 07 \pm 24 \text{ }^\circ\text{C}$
PAR 013	Granodiorita de Ipapure	$673, 91 \pm 24 \text{ }^\circ\text{C}$
PAR 225	Riodacita de Ipapure - Cerro La Teta	$614, 43 \pm 35 \text{ }^\circ\text{C}$
PAR 16C	Riodacita de Ipapure - Cerro La Teta	$591, 00 \pm 28.5 \text{ }^\circ\text{C}$
AP 10IIA 35	Riodacita de Ipapure - Cerro La Teta	$761, 93 \pm 22 \text{ }^\circ\text{C}$

Figura 7-12: El contacto entre la Granodiorita de Ipapure y el Cerro La Teta en el sector de los cerros de Maluwayan y Patajash va por el cambio de pendiente que se observa a media ladera y se extiende hacia la planicie aluvial de los afluentes del Arroyo Maulualu, dispuesto en montículos conformados por bloques métricos de granodiorita.

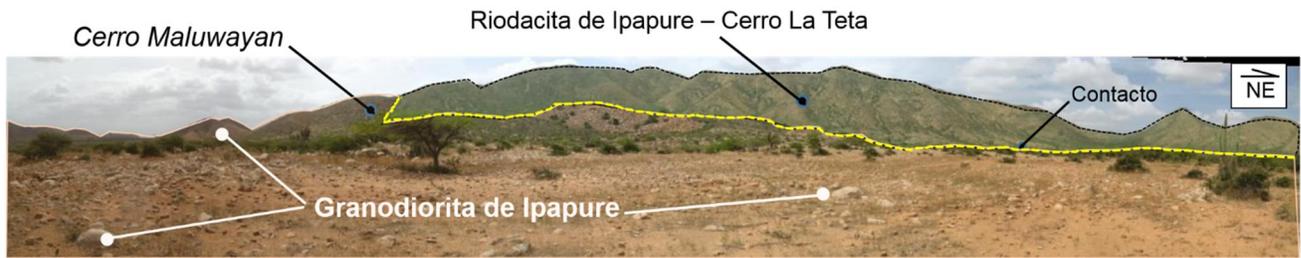
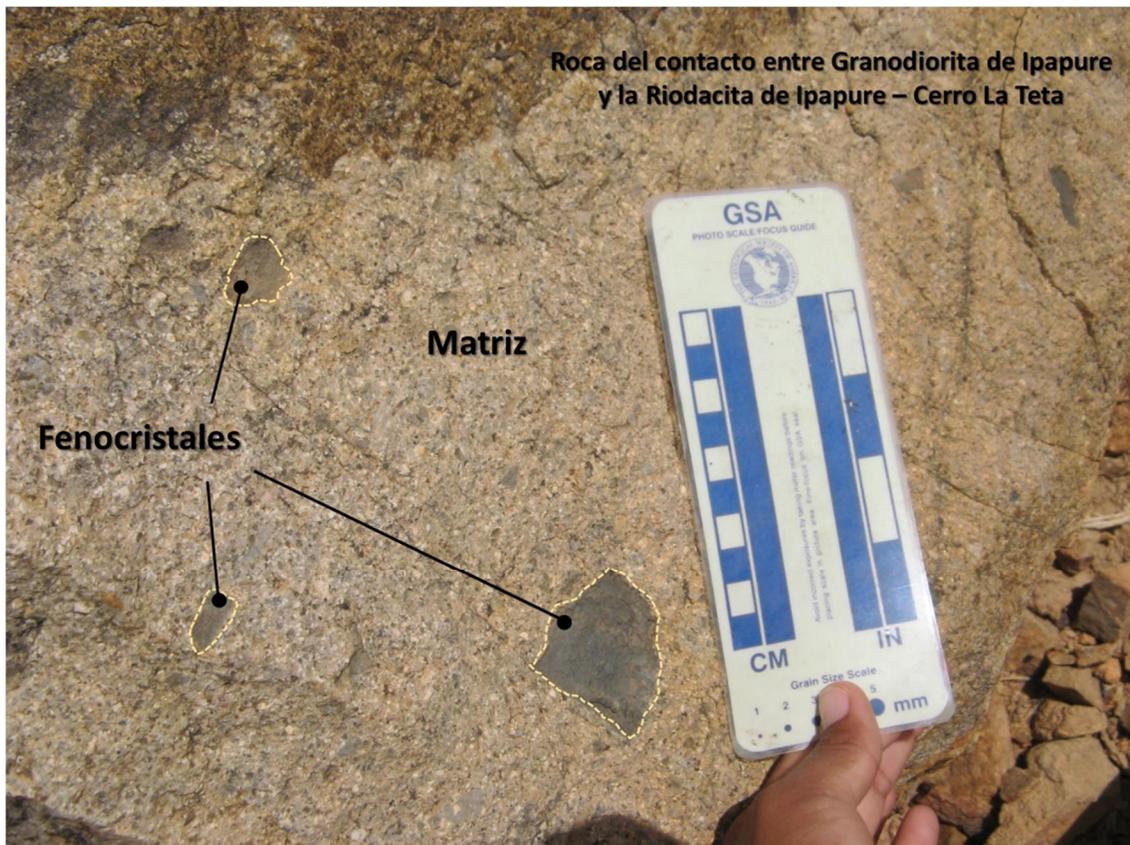


Figura 7-13: Se observa el alto grado de diaclasamiento, meteorización y fracturamiento de los afloramientos donde se encuentra la zona de contacto entre la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita de Ipapure - Cerro La Teta en los alrededores del Arroyo Maluwayan, en la parte media del Cerro Maluwayan (Estación PCPR 080).



Macroscópicamente, la roca asociada al contacto exhibe superficialmente una textura fanerítica, aunque el tamaño de grano disminuye, generando una textura porfídica con matriz microcristalina sílicea, de color gris verdoso claro y fenocristales. La composición predominante corresponde a cristales de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, mica biotita alterada, hornblenda con procesos de epidotización sobrepuestos (Figura 7-14).

Figura 7-14: Macroscópicamente las rocas asociadas al contacto entre la Granodiorita de Ipapure . Cerro La Teta, muestra una textura porfirítica, compuesta por una matriz microcristalina con tamaño de grano fino y presencia de fenocristales como se observa en la muestra de la estación PCPR 080 en el Cerro Maluwayan con alto grado de meteorización.



Microscópicamente, las rocas del contacto presentan tamaño de grano variable con textura porfídica, inequigranular, hipidiomórfica y distribución modal en el tamaño de

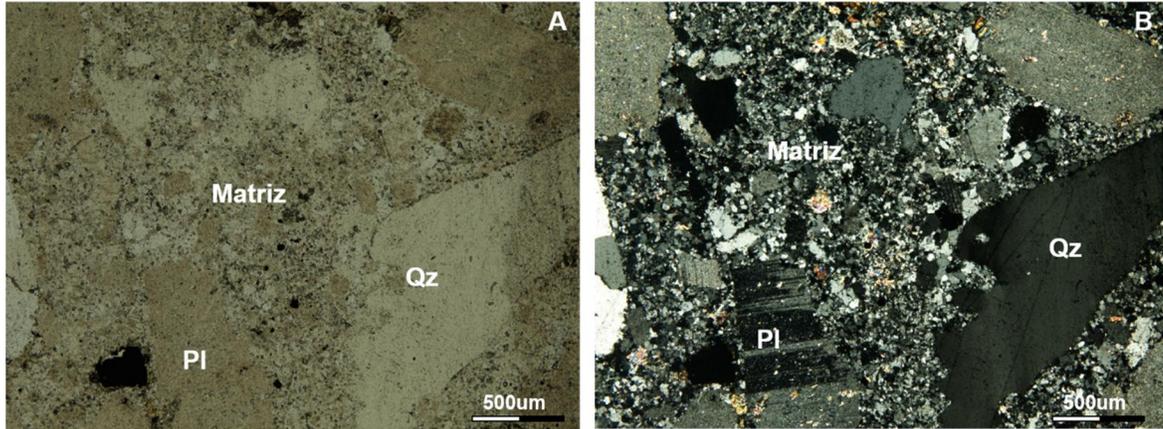
grano. En una muestra tomada cerca al contacto (muestra PCPR 080 Figura 7-15) se observó una composición granodiorítica y una relación matriz: fenocristales de 60%:40%. Otra muestra tomada cerca del contacto entre las unidades (Muestra PAR 002, parte baja del Cerro Patajash) es de color gris con textura porfirítica, tamaño de grano fino, y está compuesta por fenocristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato, embebidos en una matriz afanítica de composición cuarzo-andesita a dacita.

En la muestra PCPR 080, la matriz es fanerítica y está compuesta principalmente por cristales de cuarzo, mientras que los fenocristales corresponden a cristales de cuarzo subhedrales con bordes irregulares, redondeados, tamaño de grano variable, inclusiones minerales y formación de agregados cristalinos de grano fino, formando textura en mosaico. La plagioclasa (labradorita), se presenta en cristales tabulares de bordes irregulares, euhedrales a subhedrales, tamaño de grano medio a grueso (similar a los fenocristales de cuarzo), con maclas de Carlsbad más albita, Carlsbad más periclina, desarrollo incipiente de zonación y altera a sericita. La biotita, se presenta en cristales tabulares con alto grado de alteración, formando textura esqueletal, rellena por minerales opacos.

La epidota, exhibe formas tabulares con tamaño de grano fino. Los minerales opacos, presentan formas anhedrales, tamaño de grano fino, color negro, carácter isotrópico. El circón, corresponde a cristales incoloros de forma prismática y bordes corroídos. La clorita, muestra formas tabulares, color verde oliva claro, pleocroica de verde a café, alto como producto de alteración de Biotita, además desarrollan textura esqueletal e inclusiones de otros minerales tales como cuarzo y opacos. La sericita como producto de alteración de la plagioclasa (labradorita), forma parches dentro del cristal y les da un aspecto sucio a la superficie del mineral.

La muestra PAR 002 presenta un color crema a café claro con textura porfirítica, holocristalina con relación matriz: fenocristales 60:40. La matriz presenta un tamaño de grano muy fino, casi afanítica, compuesto por cristales de cuarzo, plagioclasa sericitizada. Los fenocristales presentan un tamaño de grano variable desde finos hasta gruesos con una distribución inequigranular seriada, formas subhedrales a euhedrales, generando una textura hipidiomórfica (Figura 7-16).

Figura 7-15: Fotografías de sección delgada de la muestra PCPR080, correspondientes enclaves con textura porfídica, tamaño de grano fino que embebe cristales de cuarzo (Qtz), Plagioclasa (Pl) con macla de periclina y alterada a sericita; Biotita, epidota (Ep), clorita (Chl), circones y minerales opacos. Aumento de 4X. A. PPL. B. PPX.



La muestra PAR 002 presenta un color crema a café claro con textura porfirítica, holocristalina con relación matriz: fenocristales 60:40. La matriz presenta un tamaño de grano muy fino, casi afanítica, compuesto por cristales de cuarzo, plagioclasa sericitizada. Los fenocristales presentan un tamaño de grano variable desde finos hasta gruesos con una distribución inequigranular seriada, formas subhedrales a euhedrales, generando una textura hipidiomórfica (Figura 7-17).

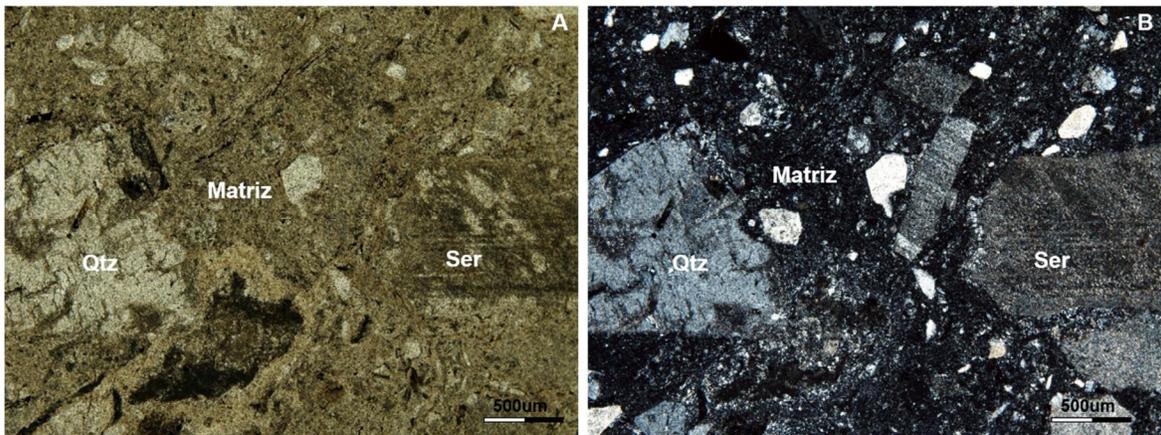
Los cristales de cuarzo se presentan en cristales subhedrales con tamaño de grano medio a grueso con presencia de bahías y en algunos se observan venas rellenas de cuarzo finogranular. Los cristales de plagioclasa (andesina) se presentan como cristales unitarios y como agregados cristalinos, exhiben formas tabulares con bordes rectos, tamaño de grano variable desde finos hasta gruesos con alto grado de alteración otorgándole a la superficie una coloración café, en el caso de los agregados de plagioclasa muestran una textura microcristalina con tamaño de grano fino y presencia de maclas de carsbald y alta alteración a sericita. Los feldespatos muestran cristales con bordes rectos, formas alargadas y fracturadas, principalmente subhedrales, cubiertos por una pátina de color café que le confiere a la roca un aspecto sucio por el alto grado de alteración.

Asimismo, se observan agregados cristalinos con formas anhedrales, generalmente redondeados, tamaño de grano medio a grueso, compuestos por fragmentos con

textura porfírica con una matriz vítrea y fenocristales con tamaño de grano fino de cuarzo y plagioclasa sericitizada, fragmentos de agregados finogranulares de cuarzoesubhedrales, generando una textura en mosaico y por último se observaron fragmentos redondeados microcristalinos compuestos por cuarzo y plagioclasa sericitizada.

Los minerales opacos se presentan en cristales subhedrales a anhedrales de color negro, fracturado y con venas rellenas de cuarzo en agregados microcristalinos. La clorita, muestra cristales subhedrales, pleocroica (verde amarillento), como producto de alteración de biotita, cubierto por una pátina de color café y presencia de inclusiones de minerales opacos. La sericita y la sausruta se dan como producto de alteración de plagioclasa y feldespatos. La sericita es blanca, traslucida. La sausruta se muestra con una pátina de color café que le da un aspecto sucio a la superficie del cristal.

Figura 7-16. Fotografías de sección delgada de la muestra PAR 002, correspondiente a las rocas del contacto, localizadas en la parte baja del Cerro Patajash, la cual presenta una textura holocristalina con relación matriz:fenocristales 60:40. La matriz presenta un tamaño de grano muy fino, compuesta por cristales de cuarzo (Qtz) y plagioclasa sericitizada (Ser), mientras que los fenocristales presentan un tamaño de grano variable desde finos hasta gruesos con una distribución inequigranular seriada, formas subhedrales a euhedrales, generando una textura hipidiomórfica con aumento de 4X. A. PPL. B. PPX.



Por otra parte, las características anteriormente mencionadas de las rocas encontradas en el contacto entre la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta, es coherente con lo descrito por Radelli (1972) en su trabajo sobre las Dos Granitizaciones de la Península de La Guajira, donde dice que %entre las granodioritas y las riodacitas existe una corona bastante irregular de microgranodioritas y en las riodacitas se observa un decrecimiento del grado de cristalinidad hacia la periferia de la masa+.

7.5 Edad

La unidad Granodiorita de Ipapure está estrechamente relacionada en patrones de afloramiento y geoquímicamente con la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta, la cual tiene una edad de 180 Ma (U-Pb en circones; Zuluaga et al., 2015). La relación intrusiva de la Granodiorita de Ipapure con la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta sugiere una edad posterior a los 180 Ma. No obstante, las relaciones de campo y petrográficas, indican la presencia de una aureola de contacto (microdiorita), que sin grandes cambios composicionales y texturales, ubican la intrusión casi simultánea con la Riodacita de Ipapure.

8. Geoquímica

La composición (mineralógica, geoquímica e isotópica) y distribución de las rocas ígneas depende de las características de la fuente (corteza y/o el manto), así como de los procesos posteriores de evolución magmática (diferenciación y/o contaminación, etc.) y del ambiente geológico en el cual fueron formadas (Pearce et al. 1982, Pearce, 1996, Faure, 2001, Whalen et al. 2006).

A continuación se presentan los resultados de los análisis químicos de elementos mayores y traza realizados a diecinueve (19) muestras recolectadas de la unidad Granodiorita de Ipapure (Tabla 8-1).

8.1 Elementos Mayores

Composicionalmente se observó un alto contenido de SiO_2 en las rocas que componen la unidad, con una variación entre el 54.39% a 73.34%, situación que refleja una composición principalmente intermedia a ácida. Según el diagrama TAS (Ver Fig. 8.2) la unidad varía entre monzodiorita, granodiorita y granito, confirmado también por el diagrama multielemental de Debon & Le Fort (1983), que indica una composición afín, distribuida en los campos de granodiorita, adamelita ($\text{SiO}_2 > 65\%$) y cuarzomonzodiorita.

A partir de los diagramas de Harker (fig. 8.1) se observó una correlación negativa para los óxidos de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , MnO , N_2O , TiO_2 y P_2O_5 , mientras que, el óxido de potasio (K_2O) presenta una correlación positiva. La tendencia lineal observada se asocia a rocas que generalmente provienen de un solo magma.

Tabla 8-1: Listado de los datos brutos obtenidos para 19 muestras de la Granodiorita de Ipapure, relacionados con los óxidos mayores.

MUESTRA	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
PAR-099	68.07	0.44	14.55	4.06	0.07	1.32	3.31	3.33	3.26	0.12
PC-PR-081	64.59	0.57	15.58	5.18	0.11	1.94	4.40	3.50	2.60	0.16
PR-011B	62.35	0.67	16.11	6.12	0.12	2.43	4.35	3.60	2.30	0.18
PAR-101	54.38	0.96	17.26	8.77	0.20	3.94	5.87	3.96	2.02	0.23
PAR-045	71.20	0.27	13.69	2.41	0.07	1.25	2.12	1.50	3.73	0.08
PAR-013	63.88	0.57	16.09	4.81	0.11	2.03	4.38	3.57	2.75	0.18
PAR-088	63.72	0.58	16.25	5.04	0.12	2.03	4.34	3.86	2.73	0.18
PAR-179	65.11	0.54	15.73	4.74	0.09	1.88	4.12	3.52	2.99	0.17
PAR-001C	64.84	0.55	15.64	5.34	0.10	1.84	4.24	3.53	2.71	0.15
PAR-151	68.04	0.45	14.54	4.32	0.09	1.43	3.19	3.39	3.48	0.10
PAR-149	65.78	0.52	15.32	4.76	0.09	1.78	3.90	3.42	3.17	0.16
PAR-251	63.43	0.59	15.66	5.28	0.13	1.90	3.57	4.09	2.67	0.18
PAR-246	62.50	0.64	15.75	5.68	0.11	2.14	4.24	3.75	2.83	0.19
PAR-002	72.42	0.26	13.69	2.64	0.10	0.54	1.43	3.58	4.30	0.07
PAR-195A	73.34	0.27	13.36	2.65	0.08	0.64	1.51	3.40	3.97	0.09
RE PAR-251	63.49	0.58	15.67	5.27	0.13	1.90	3.56	4.07	2.69	0.18
PAR-208X5	56.41	0.95	16.70	8.02	0.19	3.33	5.35	4.91	1.35	0.38
PAR-192	69.53	0.41	13.55	4.06	0.09	1.70	2.12	3.02	3.79	0.09
PAR-195B	68.65	0.35	15.64	3.73	0.13	0.63	2.08	4.74	2.37	0.19

Figura 8-1. Variación de los elementos mayores respecto al contenido de SiO₂ (en base anhidra) para las 19 muestra analizadas geoquímicamente de la Granodiorita de Ipapure+.

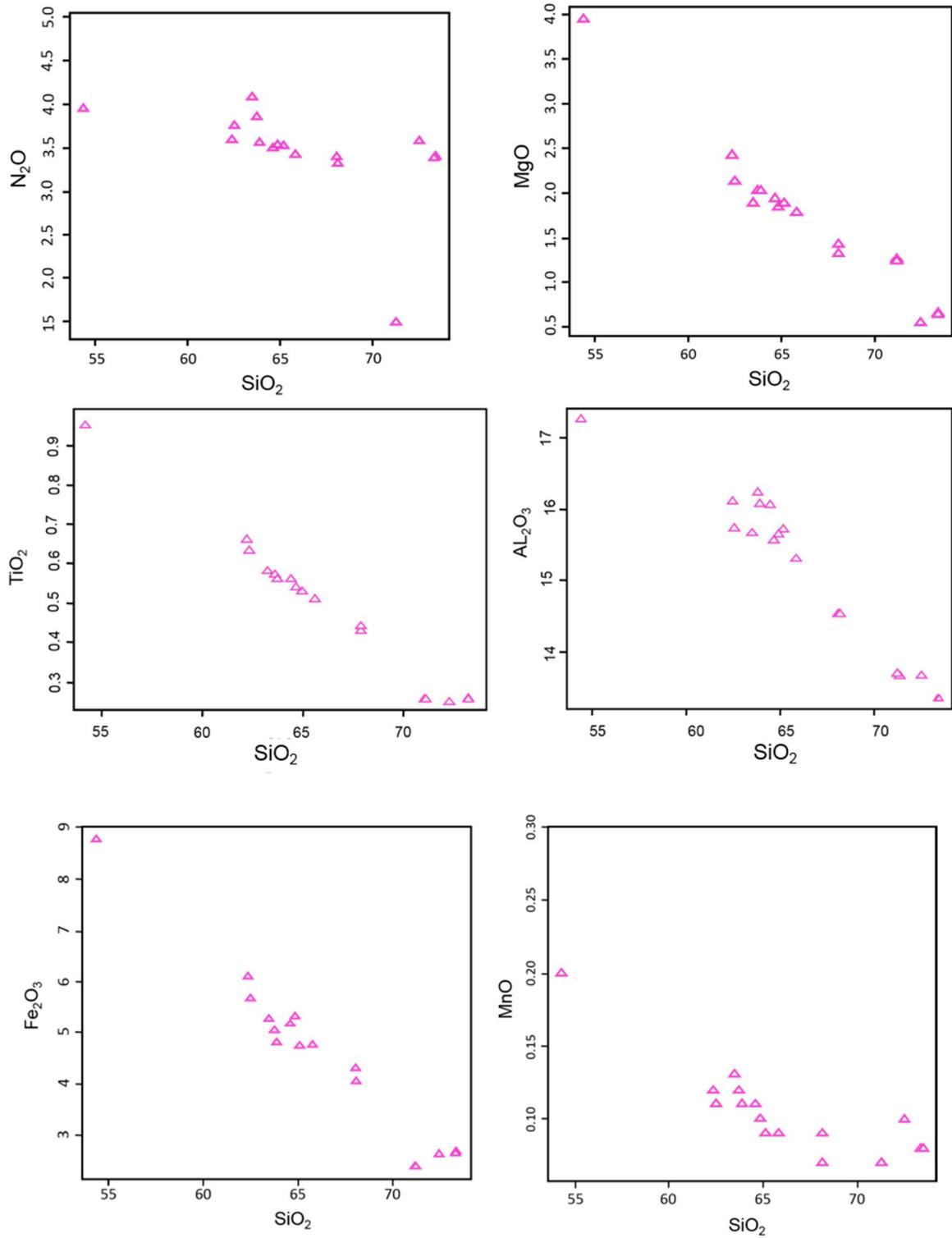
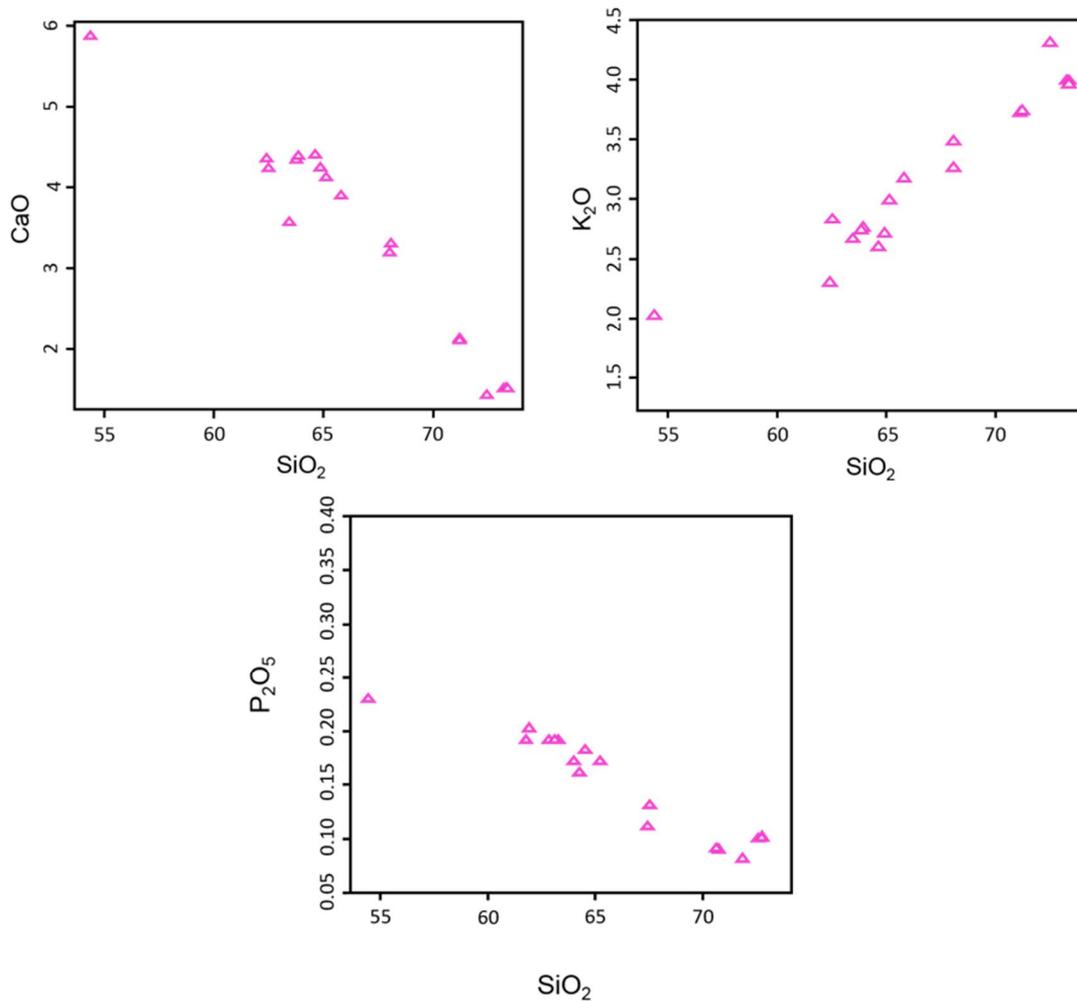


Figura 8-1. Continuación.



Por otra parte, se encontró una muestra (PAR - 101) que al ser graficada presenta una desviación respecto a la tendencia general. Esta muestra es la correspondiente a un porcentaje de SiO₂ de 54.38%, asociada a un enclave máfico dentro de la granodiorita de Ipapure.

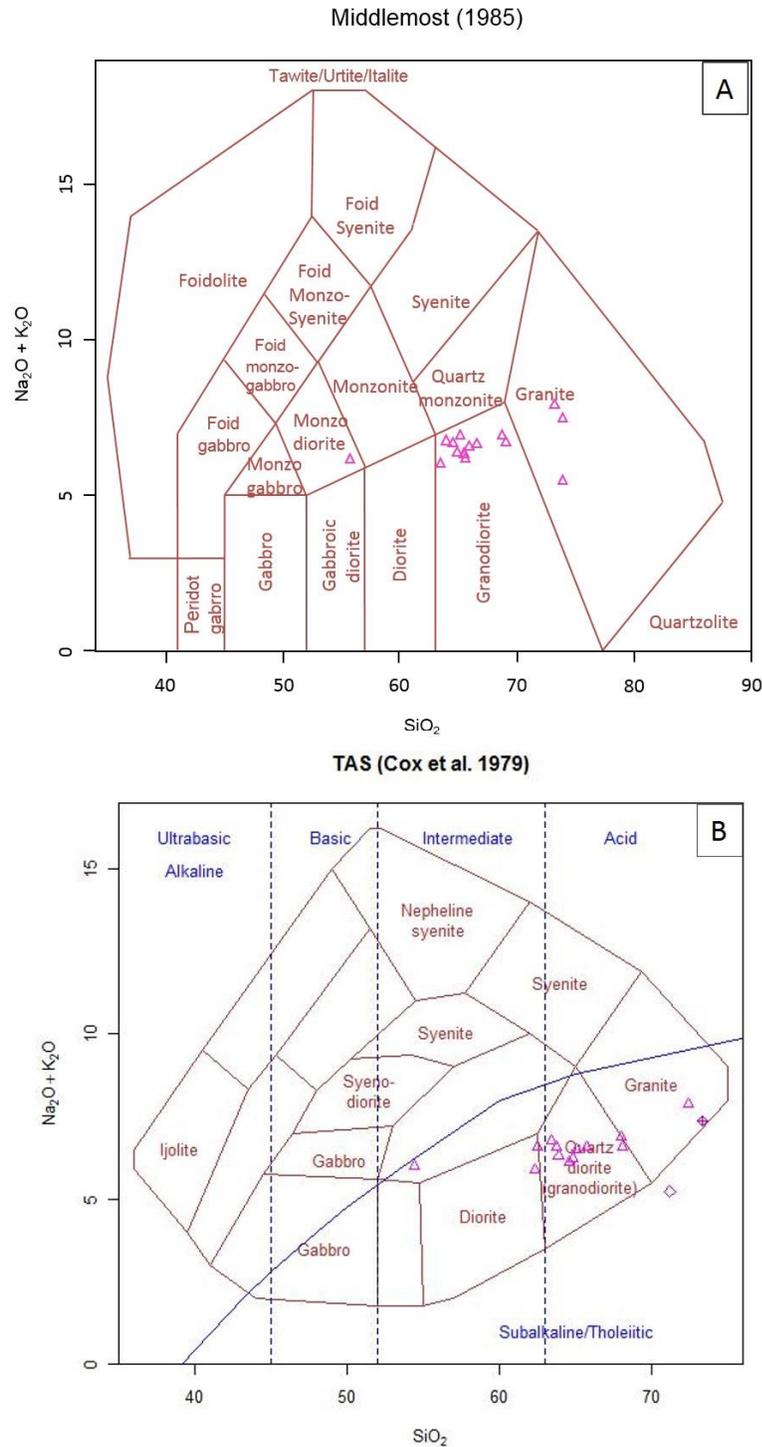
8.1.1 Diagramas de discriminación de series magmáticas

El diagrama TAS (Figura 8-2), permite discriminar rocas de afinidad alcalina y subalcalina (Cox et al. 1979), teniendo en cuenta los parámetros álcalis total y sílice (Figura 8-2), así mismo determina el rango composicional (e.g. Cox et al. 1979; Middlemost, 1985). Se

plasmaron los porcentajes de SiO_2 vs $\text{NaO} + \text{K}_2\text{O}$, de 19 muestras pertenecientes a la unidad Granodiorita de Ipapure, obteniendo un total de 15 muestras dentro del campo de la granodiorita (PAR 099, PCPR 081, PR 011B, PAR 013, PAR 088, PAR 179, PAR 001C, PAR 151, PAR 149, PAR 251, REPAR 251, PAR 246, PAR 208X5, PAR 192, PAR 195B), 3 muestras en el campo de los granitos (PAR 195A, PAR 045 y PAR 002) y una muestra en el campo de las monzodioritas o cuarzo-monzodioritas (PAR 101). En el diagrama TAS de Cox et al (1979) se determinó que la unidad pertenece a una serie subalcalina, de composición acida a intermedia.

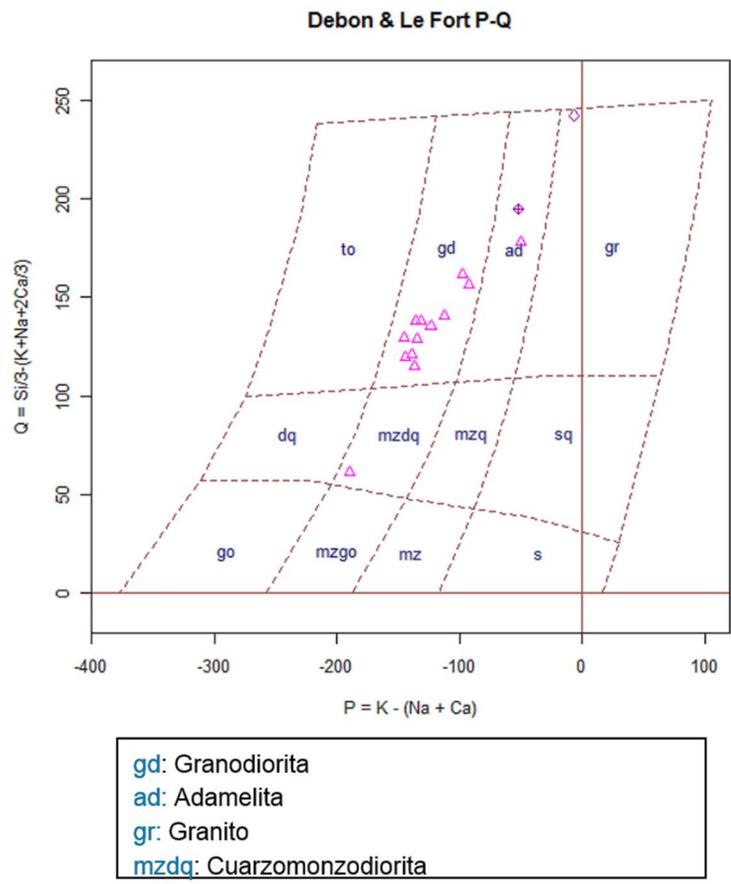
Particularmente, la muestra PAR . 101 representa un enclave máfico, que como se consideró en los diagramas de Harker, su contenido de SiO_2 es menor que el total de las muestras, porcentaje contrastado con rocas cuyo contenido de SiO_2 supera el 71% (PAR . 195A, 002 y 045), que corresponden a un enclave y a las rocas del contacto respectivamente con alto contenido de enclaves máficos finogranulares.

Figura 8-2: Diagramas TAS (*Total Alkali Silica*) para las muestras de la granodiorita de Ipapure **A.** Middlemost (1985), **B.** Diagrama de Cox et al (1979).



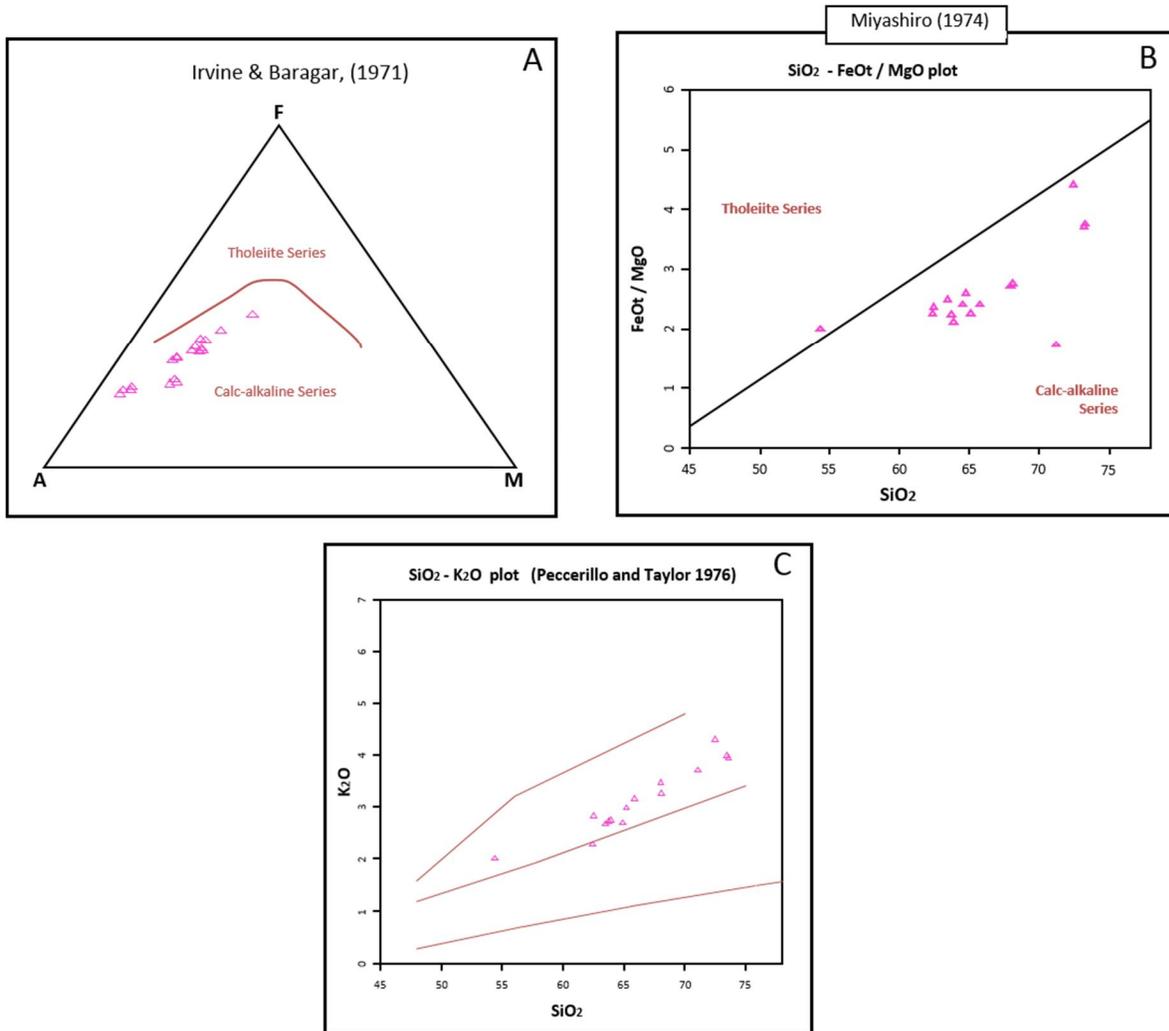
Como complemento, se utilizó el diagrama multicatiónico de Debon & Le Fort BA (1983) (Figura 8-3), el cual usando parámetros multielementales a partir de los datos químicos de elementos mayores, permite una mejor correlación entre la química de las rocas y su mineralogía. Los resultados obtenidos apuntan a la misma tendencia composicional observada en los diagramas TAS, conformada por granodioritas, así mismo se identifican las variaciones dadas por los enclaves y las rocas del contacto, que varían entre cuarzomonzodiorita (mzdq, PAR - 101), granito (gr, PAR - 045) y Adamelita (ad, PAR- 002, 195A).

Figura 8-3: Diagrama multicatiónico de Debon & Le Fort PQ (1983) para la Granodiorita de Ipapure, en el cual se correlaciona el contenido de cuarzo (parámetro Q) con el contenido de feldespato potásico (parámetro P).



Para determinar la serie magmática de la Granodiorita de Ipapure se usaron los diagramas de Irvine & Baragar (1971), Miyashiro (1974) y Peccerillo & Taylor (1976). Al graficar las muestras de la unidad se determinaron en los tres diagramas una afinidad con la serie calco-alcalina (Figuras 8-4). Sin embargo, el diagrama de Peccerillo & Taylor (1976) sugiere que la unidad tiene una afinidad en la serie calco-alcalina rica en potasio, mientras que la muestra PAR . 101 (enclave máfico) cae dentro del campo de las calco-alcalinas.

Figura 8-4: Diagramas de discriminación de series magmáticas de la unidad Granodiorita de Ipapure. A. Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971). B. Diagrama, $FeO^*/MgO \cdot SiO_2$ de Miyashiro (1974) y C. Diagrama $SiO_2 - K_2O$ de Peccerillo & Taylor (1976). Nótese que la unidad presenta afinidad a la serie calco . alcalina.



La Granodiorita de Ipapure pertenece a una serie calco-alkalina, resultado de la evolución de un magma máfico (parental), generalmente hidratado que a partir de la cristalización fraccionada dio origen a un magma félsico, dicha tendencia es observable en la figura 8.4 (numeral A) donde se infiere un enriquecimiento en $K_2O + Na_2O$ (*alkalis*). Las muestras PAR 002 y 195A contienen los mayores porcentajes de alkalis, como se mencionó estas rocas se encuentran muy próximas a la zona de contacto con la Riodacita de Ipapure, lo cual apunta a que el magma tuvo un estadio final de enfriamiento, representada por estas muestras.

8.1.2 Diagramas de clasificación químico mineralógica y de asociación magmática

En la clasificación químico mineralógica y de asociación magmática para la Granodiorita de Ipapure, se utilizaron los diagramas de Debon & Le Fort BA (1983), Villaseca et al. (1998) y Shand (1943) (Figura 8-5, 8-6 y 8-8), en los cuales se correlaciona el índice de saturación de aluminio ISA (A en la Figura 8-5) con el contenido de fases ferromagnesianas, biotita, hornblenda y piroxenos (B en el diagrama de la Figura 8-6).

Estos diagramas evidencian para la Granodiorita de Ipapure exhibe una afinidad mayormente metaluminosa a ligeramente peraluminosa de las muestras analizadas, lo cual indica que en estas rocas la relación en porcentaje molar de $Na_2O + K_2O + CaO$ es mayor que el Al_2O_3 . El carácter meta-aluminoso se ve reflejado en la presencia de minerales como la hornblenda y biotita, observadas en los análisis petrográficos, además muestras una tendencia a granitos tipo I, provenientes de un protolito ígneo generado por fusión parcial.

En el diagrama de Debon & Le Fort BA (1983), muestra el grado de aluminosidad de una asociación o serie magmática distinguiendo el dominio peraluminoso (campos I, II y III) del dominio metaluminoso (campos IV, V y VI), en el cual se observó que la mayor población de las muestras (PAR001, PAR099, PAR151, PR 011B, PAR149, PAR179, PCPR081, PAR 013, PAR 088, PAR 179, PAR 001C, PAR 151, PAR 149, PAR 251, REPAR 251, PAR 208X5, PAR 192, y PAR 195B), pertenecen al campo IV con un índice de aluminosidad $A < 0$, mientras que las muestras PAR045, PAR195A, PAR 002 caen el campo III y PAR 101 caen en el campo II, con un índice de aluminosidad de $A > 0$. Por otra parte,

en el diagrama de Shand(1943), se determinó que la mayoría de las muestras caen en el campo de los granitos metaluminoso con un $ASI < 1$ y cuatro muestras en el campo peraluminoso con un $ASI > 1$, mientras que en el diagrama B-A (Villaseca et al. 1998), se observa coherencia con el campo metaluminoso, pero se aprecia que tres muestras (PAR195A, PAR 002 y PAR101) se encuentran en el campo I-P, las cuales corresponden a series que evolucionaron de composición meta-aluminosa a peraluminosa y asocian granitos tipo I, mientras que la muestra PAR045 se ubica en el campo h-P, asociada a un enclave restítico, formado por material residual dejado in situ por la fusión en la producción de un granito. Este material residual es atrapado dentro del granito y una de sus particularidades es que son granitos tipo S a partir de la fusión de rocas sedimentarias (Villaseca et al. 1998).

Figura 8-5: Diagrama multicatiónico de Debon & Le Fort BA (1983) aplicado en las 19 muestra de la %Granodiorita de Ipapure+.

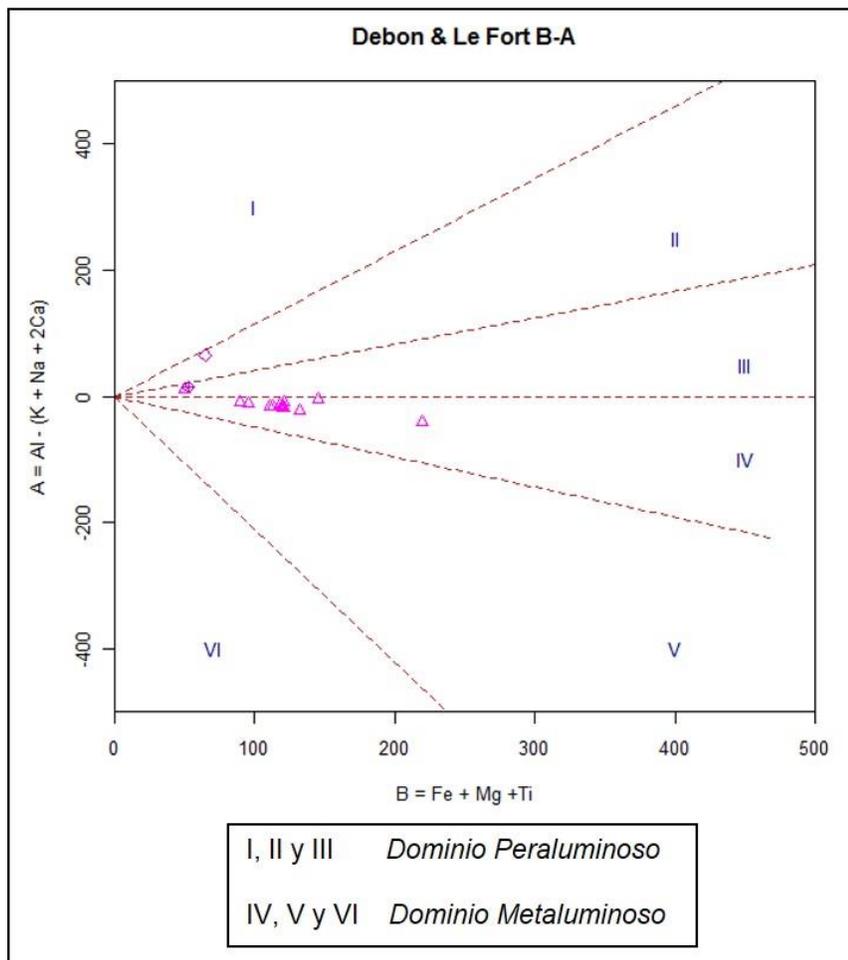


Figura 8-6: Diagrama B-A plot de Villaseca et. al (1998), aplicado a las 19 muestra de la %Granodiorita de Ipapure+. Dentro de este diagrama tenemos que una muestra (PAR045) queda en el campo h-P del dominio Peraluminoso, tres muestras en el campo I-P (PAR195A, PAR002 y PAR101) dentro del dominio Peraluminoso y el resto de las muestras quedan contenidas en el campo de los granitoides Metaaluminosos.

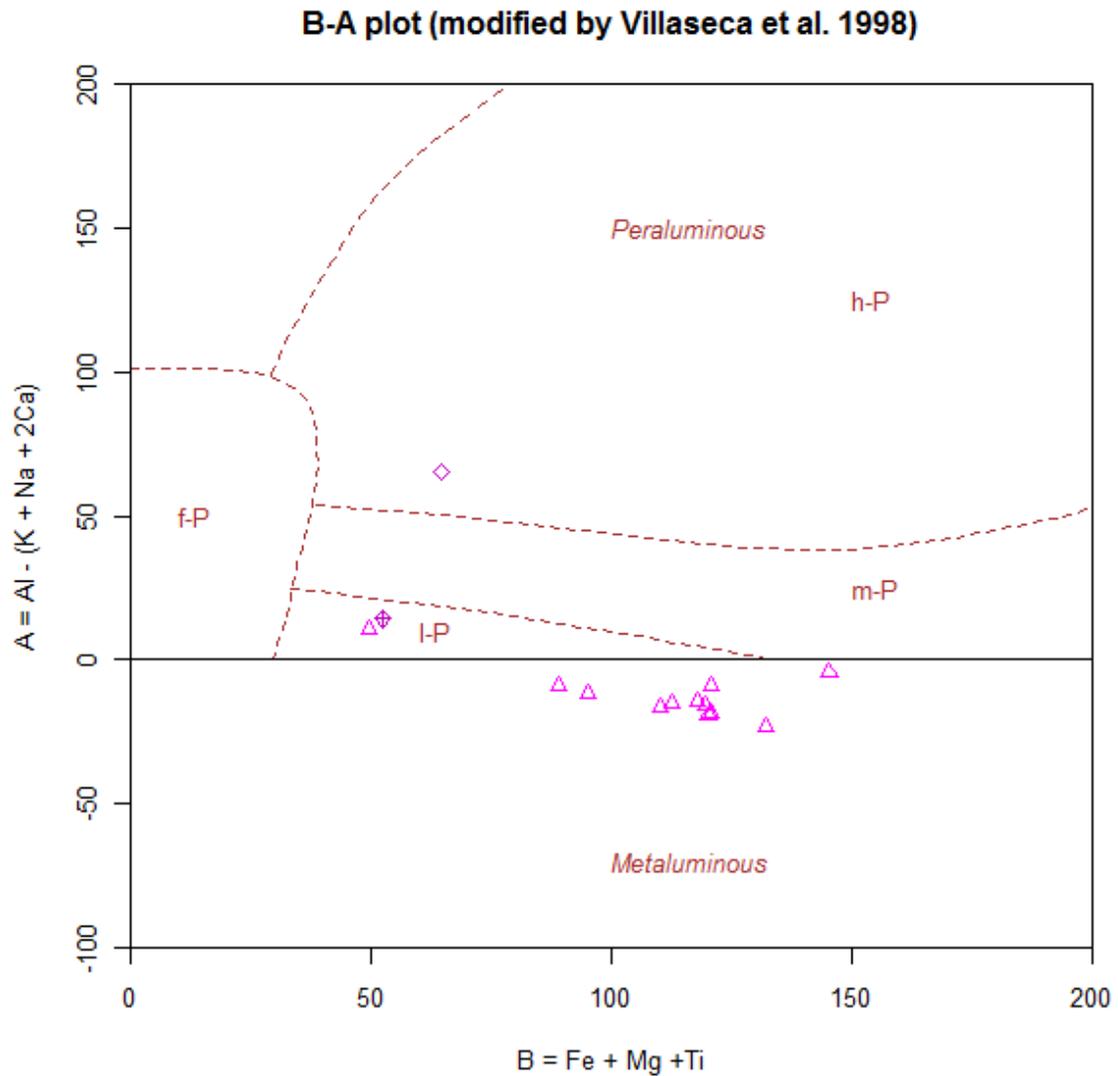
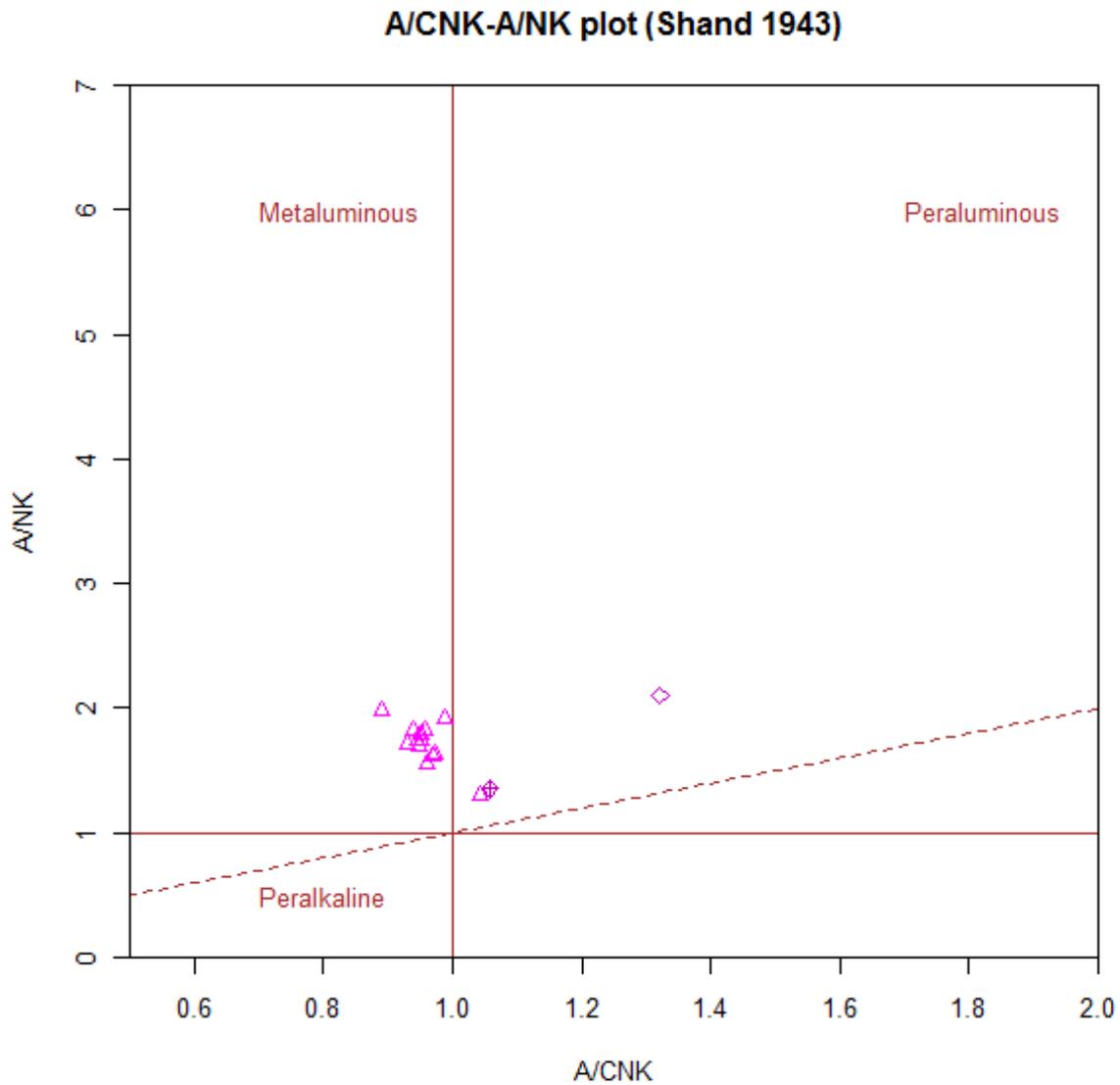


Figura 8-7: Diagrama A/CNK . A/NK plot de Shand (1953), en el cual se observa que la mayoría de las muestras pertenecen al campo de los granitoides metaaluminosos, mientras que las muestras (PAR045, PAR195A, PAR 101 y PAR002) pertenecen a los granitoides peraluminosos.



8.2 Ambiente tectónico y condiciones de emplazamiento de la Granodiorita de Ipapure

Para la determinación del ambiente tectónico y las condiciones de emplazamiento de la Granodiorita de Ipapure, se usaron los diagramas propuestos por Batchelor & Bowden (1985) (Figuras 8-8) y Maniar & Piccoli (1989) (Figuras 8-9) para granitoides, complementado con el diagrama de Pearce (1984) (Figuras 8-10), que aunque es para rocas volcánicas básicas se puede usar para rocas ígneas plutónicas con un contenido mayor de 5% de cuarzo modal y las muestras que se tienen en cuenta en este estudio cumplen con esta condición.

A partir del diagrama de Batchelor & Bowden (1985), donde se relacionan algunos de los elementos mayores representados en $R1: 4Si-11(Na+K) - 2(Fe+Ti)$ y $R2: 6Ca+2Mg+Al$, se determinó que la mayoría de las muestras (PAR001, PAR099, PAR151, PR 011B, PAR149, PAR179, PCPR081, PAR 013, PAR 088, PAR 179, PAR 001C, PAR 151, PAR 149, PAR 251, REPAR 251, PAR 208X5, PAR 192, PAR 195B), ocupan el campo de colisión pre-placa, asociado a un margen de placa activo destructivo, es decir a una margen convergente, las muestras PAR101 y PAR251 caen en el ambiente Post-colisional, PAR002 y PAR195A en el campo sin-colisional y la muestra PAR045 queda por fuera de la gráfica en el campo de fraccionados del manto. Así mismo Maniar & Piccoli (1989), relaciona en su gráfico diferentes elementos como: SiO_2 Vs K_2O , SiO_2 Vs Al_2O_3 y SiO_2 Vs $FeOt/(FeOt+MgO)$, MgO Vs $FeOt$, CaO Vs $FeOt+MgO$ y A/CNK Vs A/NK , lo cual confirma, que la mayor parte de las muestras son consideradas como granitoides orogénicos con afinidad metaluminosa a ligeramente peraluminosa, donde las muestras PAR101 y PAR251, PAR002 y PAR195A, pertenecen al campo de los granitoides postorogénicos.

Diagramas binarios de Pearce et al. (1984) en los que se relacionan elementos trazas para la clasificación geotectónica de granitoides, relaciona los siguientes elementos $\log(Y+Nb)$ vs. $\log Rb$, $\log Y$ vs. $\log Nb$, $\log(Ta+Yb)$ vs. $\log Rb$, $\log Yb$ vs. $\log Ta$ para las 19 muestras de la unidad, las cuales caen en el campo de los granitoides de arcos volcánicos (VAG).

Figura 8-8: Diagrama de discriminación geotectónica de Batchelor & Bowden (1985), corresponde a un diagrama binario en milicaciones en el que se relacionan algunos de los elementos mayores representados en $R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ y $R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$.

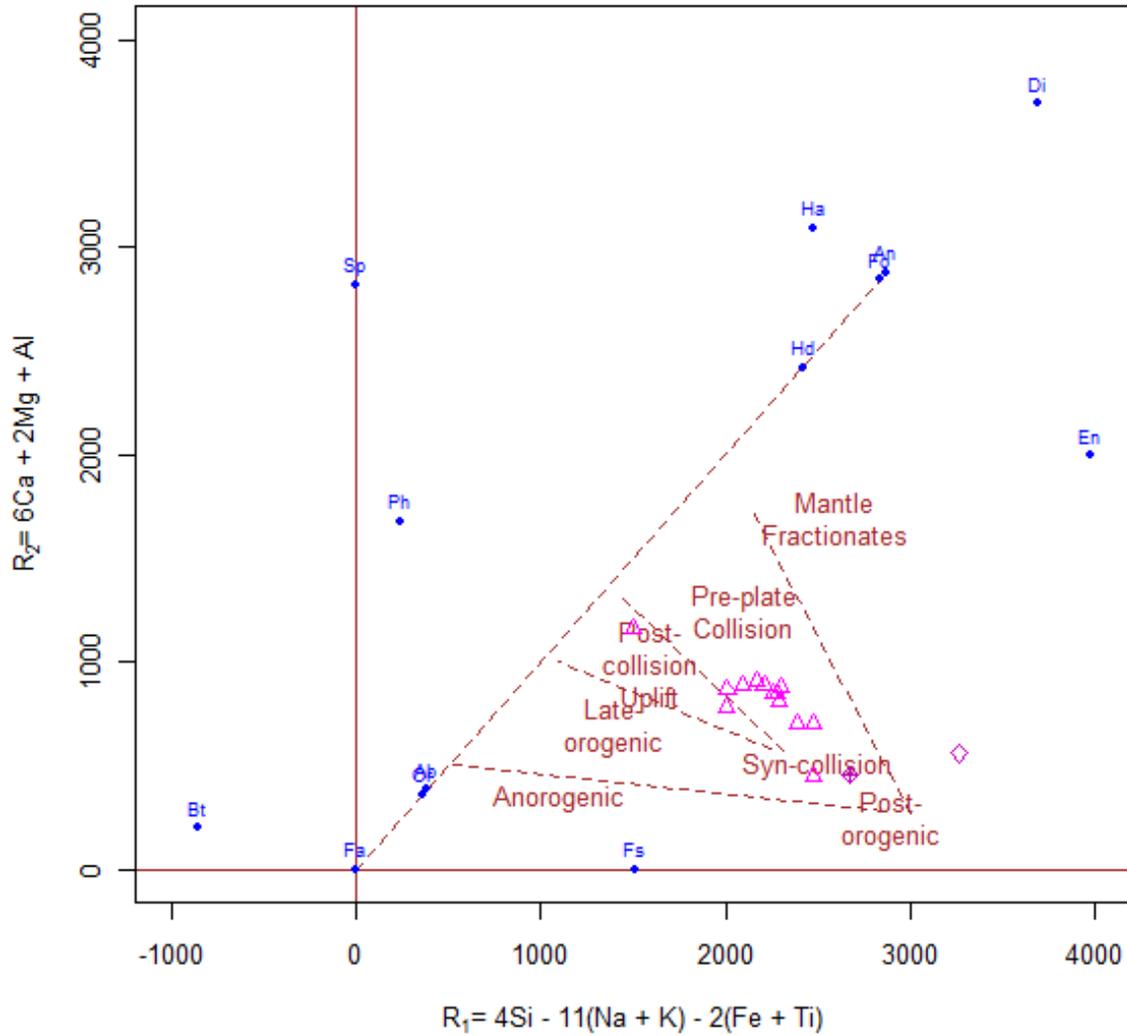


Figura 8-9: Diagramas binarios para granitoides, propuestos por Maniar & Piccoli (1989), en los cuales se relacionan diferentes elementos como: SiO_2 Vs K_2O , SiO_2 Vs Al_2O_3 y SiO_2 Vs $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ y otros diagramas que relacionan MgO Vs FeOt , CaO Vs $\text{FeOt}+\text{MgO}$ y A/CNK Vs A/NK .

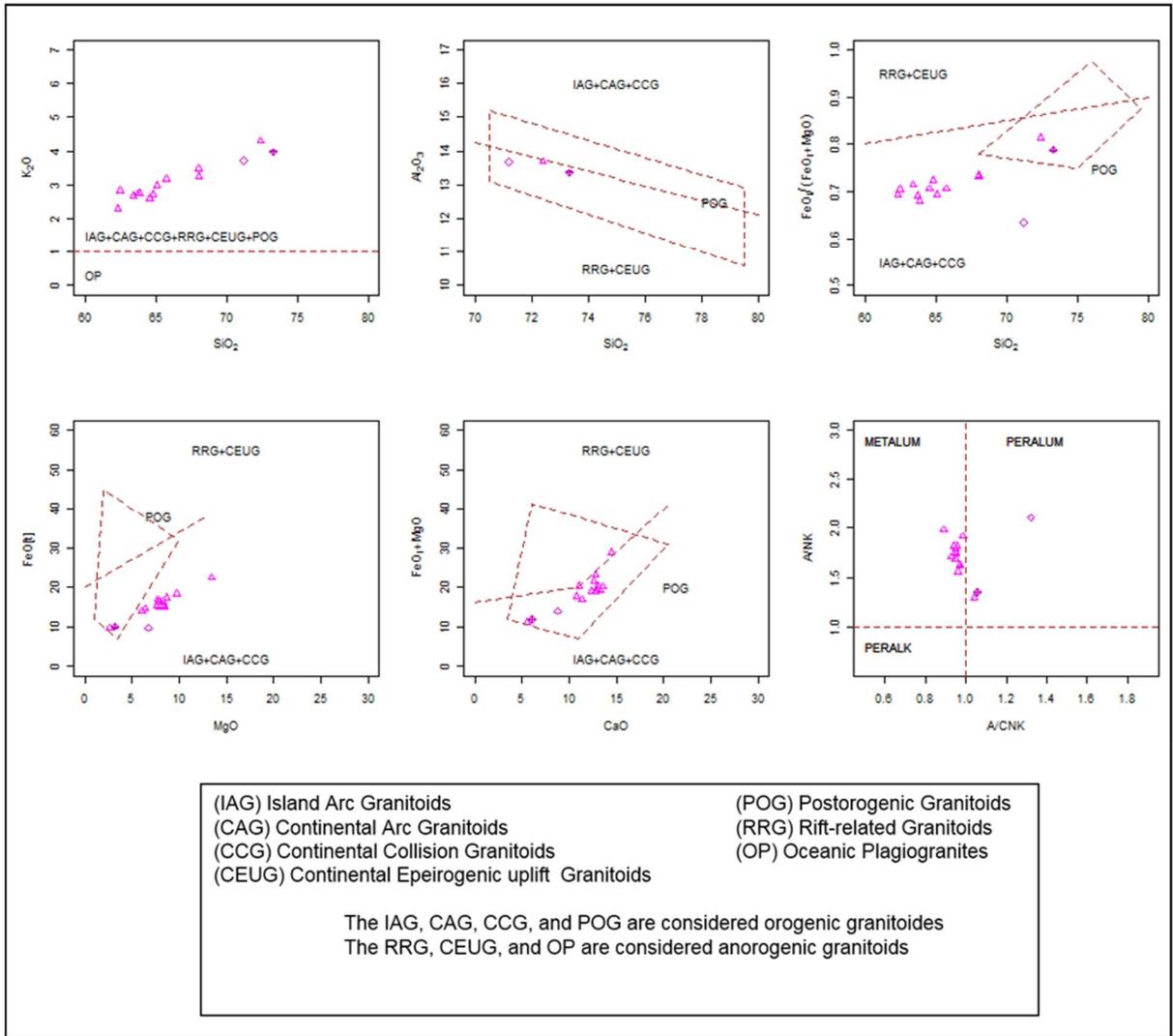
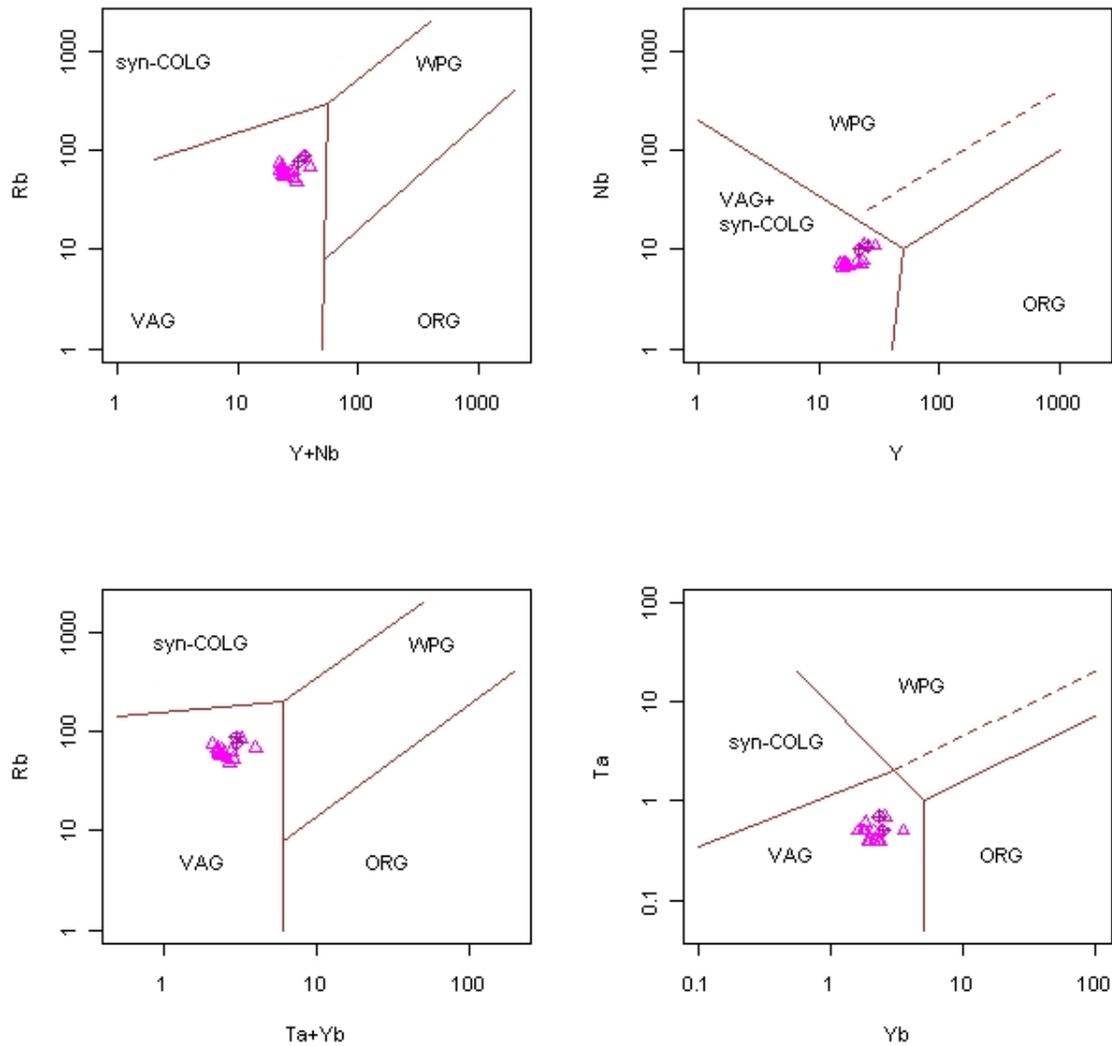


Figura 8-10: Diagramas binarios de Pearce et al. (1984) en los que se relacionan elementos trazas para la clasificación geotectónica de granitoides, en los cuales se relacionan los siguientes elementos $\log(Y+Nb)$ vs. $\log Rb$, $\log Y$ vs. $\log Nb$, $\log(Ta+Yb)$ vs. $\log Rb$, $\log Yb$ vs. $\log Ta$ para las 19 muestras de la Granodiorita de Ipapure+, las cuales caen en el campo de los granitoides de arcos volcánicos (VAG).



9. Isotopía

9.1 Métodos analíticos

Se seleccionaron dos muestras representativas de la unidad Granodiorita de Ipapure, para su posterior análisis por el método isotópico Sm/Nd y Rb/Sr en roca total. Estos análisis isotópicos se llevaron a cabo en el *Centro de Pesquisas Geocronológicas* de la Universidad de São Paulo, mediante técnicas de espectrometría de masas.

Las proporciones isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se normalizaron al valor de $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$. El valor promedio de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para el patrón NBS-987 fue de 0.710269 ± 0.000057 . Las relaciones isotópicas de $^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$ (medida como Nd+) se normalizaron al valor de $^{146}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd} = 0,7219$ (De Pablo, 1981), además la relación $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} = 0,512638$ (Hamilton et al. 1983) y por último el valor medio para el estándar JNDI de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ fue $0,512110 \pm 0,000011$.

9.1.1 Análisis Rb/Sr

Las dos muestras de la Granodiorita de Ipapure presentan cantidades similares de Rb (62.600 y 62.400) y relaciones $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ igualmente afines (Tabla 9-1).

Los valores obtenidos en la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0.7078 y 0.7083 indican que la unidad está asociada a magmas derivados por fusión y/o asimilación de corteza continental, debido a que esta relación es > 0.706 . En general, los magmas derivados del manto, presentan relaciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0.706$, mientras que los magmas derivados por fusión o asimilación de corteza continental, presentan una relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.706$.

Tabla 9-1: Resultados de los análisis Rb-Sr para la Granodiorita de Ipapure.

MUESTRA	MATERIAL	Rb (ppm)	Sr (ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	error (1)	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	error (2)
PAR-179	Roca Total / Granodiorita	62.600	331,700	0,546	0.061	0,707802	0,000029
PAR-246	Roca Total / Granodiorita	62.400	393.500	0,459	0.061	0,708319	0,000023

9.1.2 Análisis Sm/Nd

La razón isotópica ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd, se normalizaron al valor de ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219 (De Paolo, 1981). El parámetro Nd a t=0 se calcula con la ecuación:

$$\text{Nd} = \frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{muestra}} - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}}{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}} \times 10000$$

El Nd presenta rangos de valores que varía entre +14 a -20; los valores de Nd = 0 indican que la roca ha sido derivada de un reservorio dentro de la tierra que presenta un valor condritico de Sm/Nd. Cuando Nd>0 la roca puede ser derivada de un reservorio con relación Sm/Nd mayor que la relación condritica (e.g., manto), un ejemplo de ello es que la mayoría de los basaltos oceánicos tienen un Nd similar al del condrito con valores positivos y se consideran como producto de fusión parcial del manto. La extracción de magma de un reservorio se va haciendo que el reservorio muestre valores cada vez más positivos de Nd. Los datos isotópicos de Sm/Nd obtenidos para la Granodiorita de Ipapure se observan en la Tabla 9-2

Tabla 9-2: Datos isotópicos de Sm/Nd de la Granodiorita de Ipapure

Muestra	Material	Sm (ppm)	Nd (ppm)	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	Error (2 σ)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	Nd(0)
PAR-179	Roca Total / Granodiorita	3.58	17.6	0.512324	0.000011	0.122966	-6.1
PAR-246	Roca Total / Granodiorita	4.14	21.00	0.512327	0.000012	0.1191782	-6.1

La edad modelo T_{DM} , interpretada como la edad de residencia cortical de la Granodiorita de Ipapure, varía entre 610 M.a. y 650 M.a., (Neo-proterozoico), cuyo calculo tuvo en cuenta las relaciones $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de cada una de las muestras y la relación normalizada De Paolo, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$, expresada mediante la fórmula.

$$T_{DM} = \{[(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{am}} / 0.512638] - 1\} * 104$$

Donde $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} = 0.512638$ (Hamilton et. al. 1983.). El valor promedio de la relación de la norma $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{JNDI}} = 0.512110 \pm 0.000011$.

Las edades T_{DM} , obtenidas para la Granodiorita de Ipapure, se podrían relacionar con el Neis de San Lucas y Neis de Bucaramanga, asociadas al Meso y Neo-proterozoico, las cuales hacen parte del cinturón de rocas metamórficas de alto grado, de facies granulita-anfibolita alta, que conjuntamente con rocas similares de los macizos de Garzón, Santa Marta y La Guajira, constituyeron el denominado Cinturón Granulítico Grenvilliano (Kronenberg, 1982; Restrepo-Pace, 1992, 1995 y Restrepo-Pace et al.1997).

Según Clavijo et al (2008), se realizó el análisis de tres muestras de granulitas y metagabros en el mismo sector del Neis de San Lucas, obteniendo edades modelo de 1.6 Ga y 0.6 Ga, respectivamente, permitiendo inferir que el tiempo de residencia cortical de los materiales que constituyen las granulitas es de hace 1.6G.a., procedente de uno o más cuerpos ígneos emplazados en la corteza y que estos fueron ubicados durante el evento Magmático Varorogénico+de Parguaza (Martin, 1972 en Clavijo et al. 2008) asociado al Escudo de Guayana, cuya erosión genera una importante área de aporte de sedimentos volcanoclásticos y acumulados posteriormente en una cuenca marina distensiva que

originaron el protolito volcanosedimentario de los neises de San Lucas y Bucaramanga respectivamente, exhumados durante la orogenia Grenviliiana.

9.2 Nd vs 87Sr/86Sr

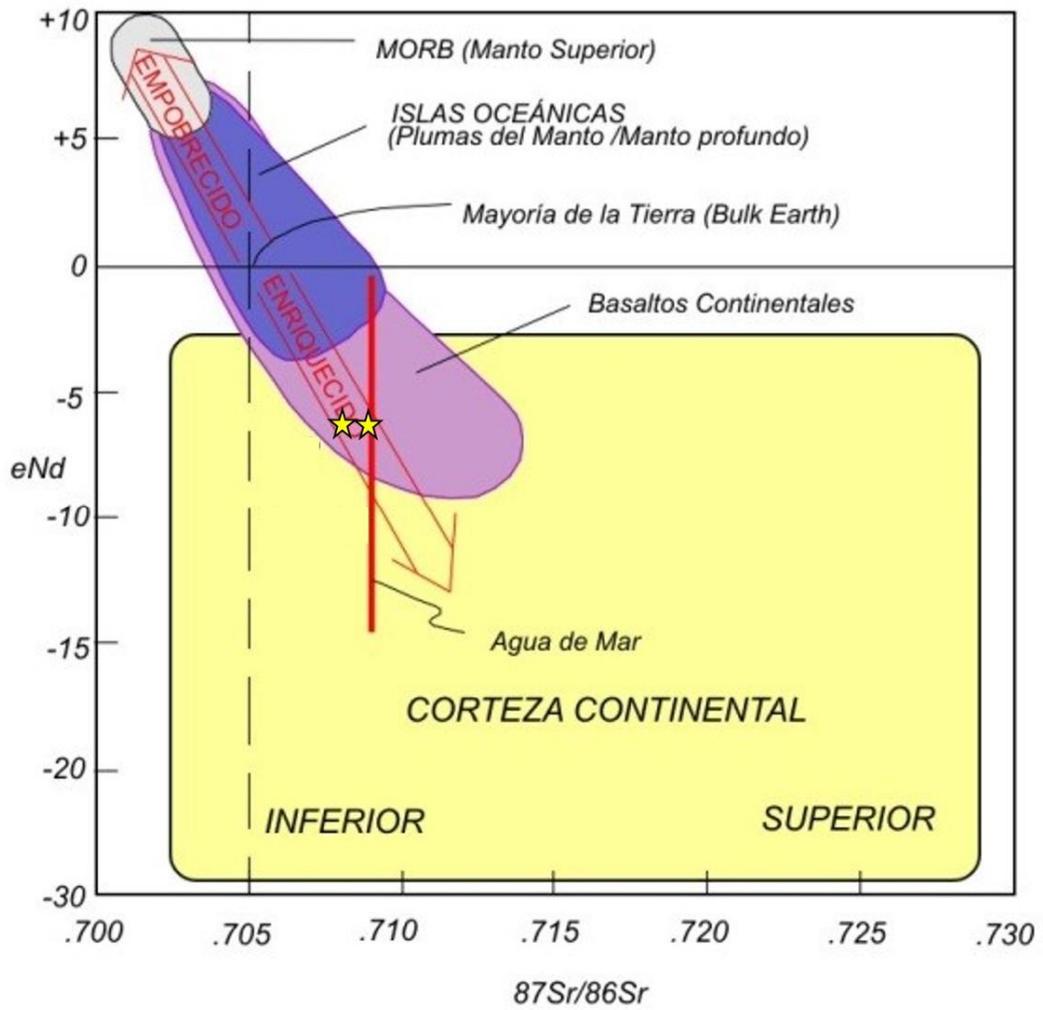
En la figura 9-1 se observa los valores del ϵ_{Nd} contra la relación $^{87}Sr/^{86}Sr$ para las dos muestras analizadas y su posición con respecto a los principales reservorios geoquímicos. Observe que la composición isotópica de la mayoría de la Tierra cae en la intersección de la línea horizontal $\epsilon_{Nd} = 0$ y la línea vertical segmentada en $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.705$ (La línea es segmentada porque la proporción $^{87}Sr/^{86}Sr$ de la mayoría de la Tierra es un tanto incierta). Los valores positivos de ϵ_{Nd} con valores bajos de $^{87}Sr/^{86}Sr$ corresponden a litologías MORB (Basaltos de Dorsales Meso Oceánicas) y OIB (Basaltos de Islas Oceánicas). Los basaltos continentales, que pueden representar mezclas de plumas del manto, litósfera sub-continental, y corteza continental, muestran una mayor variación isotópica. La corteza continental está caracterizada por valores altos de $^{87}Sr/^{86}Sr$ y valores negativos de ϵ_{Nd} en un rango amplio (White, 1998). Por último las flechas con los etiquetas %Enriquecido+ y %Empobrecido+muestran donde se encuentran los reservorios enriquecidos y empobrecido en elementos incompatibles.

Las muestras de la Granodiorita de Ipapure (Tabla 9-3) se asocian al campo de los basaltos continentales y a un reservorio enriquecido en elementos incompatibles. Esta característica es coherente con las relaciones $^{87}Sr/^{86}Sr$ observadas; es decir, la Granodiorita de Ipapure muestra valores altos en la relación $^{87}Sr/^{86}Sr$ y un ϵ_{Nd} negativo en un rango amplio y con valores muy cercanos a la composición isotópica del agua de mar que es de 0.70924.

Tabla 9-3: Resultados de los valores de ϵ_{Nd} y la relación $^{87}Sr/^{86}Sr$ para la Granodiorita de Ipapure.

MUESTRA	MATERIAL	$\epsilon_{Nd}(0)$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	error (2)
PAR-179	Roca Total /Granodiorita	-6.1	0,707802	0,000029
PAR-246	Roca Total / Granodiorita	-6.1	0,708319	0,000023

Figura 9-1: Proporciones de Sr y Nd de la Granodiorita de Ipapure, respecto a los principales reservorios geoquímicos de la corteza y el manto.



10. Discusión

A partir de los análisis petrográficos se determinó que la unidad Granodiorita de Ipapure, presenta variación composicional, representada en granodiorita, diorita, monzodiorita y tonalita, además se encuentra afectada por diques composicionalmente relacionados a tonalita, diorita y aplitas; así mismo se observó, enclaves fino granulares distribuidos por el cuerpo cuya composición varía entre granodiorita y tonalita. Sumado a lo anterior un aspecto importante de la Granodiorita de Ipapure es su grado de alteración, ya que presenta minerales de alteración tanto de los minerales esenciales, como de los accesorios. Petrográficamente, la unidad corresponde a rocas holocristalinas, faneríticas, compuesta por cuarzo, plagioclasas que varía entre labradorita y andesina y feldespato potásico como minerales esenciales, minerales secundarios como: Biotita y hornblenda y minerales de alteración como: sericita, sausruta, carbonatos, clorita, epidota, minerales opacos y en menor proporción circones.

Los porcentajes composicionales de los minerales accesorios como Hornblenda y Biotita, en las tonalitas, se encuentran en un rango entre 0.3% a 4.81%, y 4% a 25.2% respectivamente. No obstante, se debe tener en cuenta la alteración de estos minerales accesorios, donde la epidota representa rangos entre 0.4 % a 6.3%, y clorita de 0.2%. Estos porcentajes indican minerales con alto contenido de óxidos de sodio, potasio y calcio, en proporciones superiores a óxidos de aluminio ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} > \text{Al}_2\text{O}_3$), situación confirmada por los diagramas químico . mineralógica y de asociación magmática (Debon & Le Fort BA, 1983; Villaseca et al. 1998 y Shand, 1953).

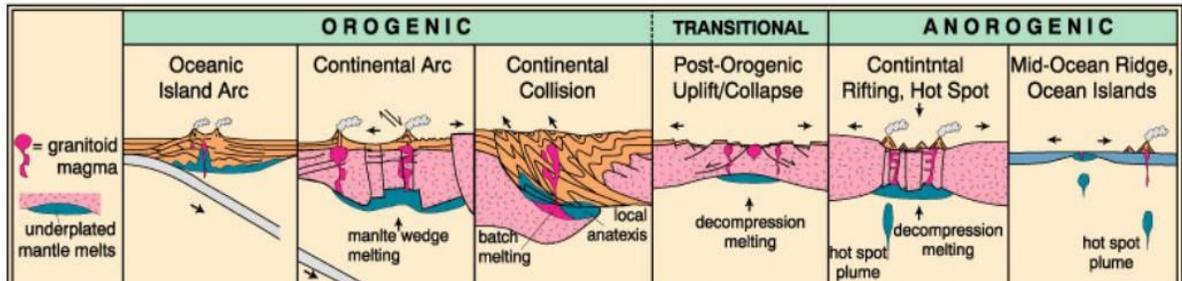
Las rocas analizadas son ricas en SiO_2 (54.39 a 73.34% en base anhidra). Composicionalmente caen en los campos de monzodiorita, granodiorita y granito lo que es consistente con la determinación petrográfica. Posteriormente estos datos se compararon con la composición modal obtenida para 19 muestras (incluyen enclaves y rocas asociadas

al contacto entre la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta) a partir del análisis de elementos mayores y traza, cuyos datos fueron graficados en los diagramas TAS para discriminación magmática de Moddlemost (1994) y Cox et. al (1979), dando como resultado que la mayoría de las muestras corresponden a Granodioritas (Cuarzo-dioritas - Granodioritas), granitos y monzodioritas.

La granodiorita de Ipapure se caracteriza por pertenecer a una serie calco-alkalina, determinada a partir de los diagramas de discriminación magmática (fig. 8.4, A, B), un alto contenido de K_2O , visualizado en diagramas SiO_2 - K_2O en campos calco-alkalinos (fig. 8.4, C). En los diagramas de clasificación químico . mineralógica A/CNK . A/NK de Shand (1953), B-A de Villaseca et al. (1998), y multicatiónico de Debon & Le Fort BA (1983) se obtuvo que las muestras analizadas muestran una afinidad metaluminosa, con ligeras variaciones a peraluminosa (Figuras 8-5, 8-6 y 8-7), evidenciada en la presencia de biotita y la hornblenda a nivel petrográfico. La presencia de muestras en dominio peraluminoso se asocia a los enclaves y diques presentes en la granodiorita.

Teniendo en cuenta la caracterización geoquímica obtenida a partir del análisis de las 19 muestras correspondientes a la Granodiorita de Ipapure, se determinó que el cuerpo corresponde a una roca con señal calco-alkalina, asociada a granitos tipo I, con una fuerte afinidad metaluminosa, con vulcanismo asociado a dacitas y andesitas en grandes volúmenes. El ambiente tectónico de emplazamiento pertenece a granitoides de arco volcánico (VGA) y granitoides de arco continental. Asimismo el origen del magma está relacionado con la fusión parcial de la parte superior del manto litosférico con contribución de la corteza. El mecanismo de fusión está dado por la energía de subducción, donde la transferencia de fluidos a la loza oceánica, permite disminuir el punto de fusión, que a partir del contacto con la cuña astenosférica genero los magmas primitivos que dieron origen a la unidad. Por lo tanto, la unidad Granodiorita de Ipapure se generó en un ambiente de arco continental dentro de un proceso orogénico (Fig. 10 - 1).

Figura 10-1: Diagrama de clasificación de rocas granitoides basada en la configuración tectónica. Modificado de Pitcher (1983, 1993) y Barbarin (1990).

	OROGENIC			TRANSITIONAL	ANOROGENIC	
	Oceanic Island Arc	Continental Arc	Continental Collision	Post-Orogenic Uplift/Collapse	Continental Rifting, Hot Spot	Mid-Ocean Ridge, Ocean Islands
	underplated mantle melts	mantle wedge melting	batch melting local anatexis	decompression melting	hot spot plume decompression melting	hot spot plume
Examples	Bougainville, Solomon Islands, Papua New Guinea	Mesozoic Cordilleran batholiths of west Americas Gander Terrane	Manaslu and Lhotse of Nepal, American Massif of Brittany	Late Caledonian Plutons of Britain, Basin and Range, late Variscan, early Northern Proterozoic	Nigerian ring complexes, Oslo rift, British Tertiary Igneous Province, Yellowstone hotspot	Oman and Troodos ophiolites; Iceland, Ascension, and Reunion Island intrusives
Geo-chemistry	Calc-alkaline > thol. M-type & I-M hybrid Metaluminous	Calc-alkaline I-type > S-type Met-Al to sl. Per-Al	Calc-alkaline S-type Peraluminous	Calc-alkaline I-type S-type (A-type) Metalum. to Peralum	Alkaline A-type Peralkaline	Tholeiitic M-type Metaluminous
Rock types	qtz-diorite in mature arcs	tonalite & granodior. > granite or gabbro	migmatites & leucogranite	bimodal granodiorite + diorite-gabbro	Granite, syenite + diorite-gabbro.	Plagiogranite
Associated Minerals	Hbl > Bt	Hbl, Bt	Bt, Ms, Hbl, Grt, Als, Crd	Hbl > Bt	Hbl, Bt, aegirine fayalite, Rbk, arfved.	Hbl
Associated Volcanism	Island-arc basalt to andesite	Andesite and dacite in great volume	often lacking	basalt and rhyolite	alkali lavas, tuffs, and caldera infill	MORB and ocean island basalt
Classification	T_{IA} tholeiite island arc	H_{CA} hybrid calc-alkaline	C_{ST} C_{CA} C_{CI} continental types	H_{LO} hybrid late orogenic	A alkaline	T_{OR} tholeiite ocean ridge
Pearce et al. (1984)	VAG (volcanic arc granites)		COLG (collision granites)		WPG and ORG (within plate and ocean ridge granites)	
Maniar & Piccoli (1989)	IAG island arc granite	CAG contin. arc granite	CCG cont. collision gran.	POG post-orogenic gran.	RRG CEUG rift & aborted/hotspot	OP ocean plagiogranite
Origin	Partial melting of mantle-derived mafic underplate	PM of mantle-derived mafic underplate + crustal contribution	Partial melting of recycled crustal material	Partial melting of lower crust+ mantle and mid-crust contrib	Partial melting of mantle and/or lower crust (anhydrous)	Partial melting of mantle and fractional crystallization
Melting Mechanism	Subduction energy: transfer of fluids and dissolved species from slab to wedge. Melting of wedge, transfer of heat upward		Tectonic thickening plus radiogenic crustal heat	Crustal heat plus mantle heat (rising asthen. + magmas)	Hot spot and/or adiabatic mantle rise	

Según los diagramas binarios de discriminación geotectónica (e.g. Pearce et al. 1984; Batchelor & Bowden, 1985; Maniar & Piccoli, 1989) el ambiente de emplazamiento de la Granodiorita de Ipapure, está relacionado a granitos de arco volcánico, colisiones pre-placa, y arcos volcánicos continentales respectivamente (Figuras 8-8, 8-9, 8-10 y 10-1).

Teniendo en cuenta que los Andes del Norte (Colombia) y Centrales (Perú y Chile) tuvieron una actividad ígnea intensa desde el Jurásico hasta el Cretácico inferior (Rogers & Hawkesworth, 1989; Pichowiak, 1994; Lucassen & Franz, 1994; Kramer et al. 2005) y principalmente en Colombia, el plutonismo jurásico (Álvarez, 1983; Barrero et al. 1969; Aspden et al. 1987; McCourt et al. 1984) fue más extenso en el occidente representado

por dos cinturones de batolitos (oriente de la Cordillera Central . SNSM . Antioquia y occidente Cordillera Oriental - Macizo de Santander).

Este episodio concuerda con la actividad ígnea reportada en el macizo de Santander alrededor de 200 Ma. (Goldsmith et al. 1971) y en la Cordillera Central entre 170 y 200 Ma. (Sillitoe et al. 1982; Barrero et al., 1969; Hall et al., 1972; y Brook, 1984) y en la SNSM. (Tschanz et al., 1974). Esta actividad ha sido propuesta como evidencia de la existencia de un arco magmático calco alcalino asociado a subducción, por ejemplo Dorr et al (1995) proponen una subducción hacia el oriente de la corteza oceánica pacífica debajo del margen occidental del escudo de Guyana que comenzó posiblemente durante el Triásico. Toussaint (1995) y Altenberger & Concha (2005) sugieren también que el primer cinturón es remanente de un arco magmático relacionado a subducción Jurásica. Sin embargo, la explicación alternativa es que la actividad ígnea sea producto de tectónica de rift ensialico, donde se formó un brazo del océano Tethys que separó Colombia y el margen paleo-Mexicano (Jaillard et al. 1990).

Aparentemente al final del Jurásico el plutonismo se ve interrumpido por la acreción de un terreno al occidente de Colombia (Terreno Amaime; Aspden et al. 1987). Esta acreción está relacionada con acreciones al continente que ocurrieron a lo largo de fallas de rumbo dextrales a finales del Jurásico (Kimmeridgiano-Tithoniano) y que interrumpieron la actividad ígnea (McCourt et al. 1984; Roperch et al. 1987; Mourier et al. 1988; Restrepo & Toussaint, 1988).

Zuluaga et al. (2015) mencionan que la interpretación de una cuenca de tras-arco relacionado a una zona de subducción entre la placa de Farallones y la placa Sudamericana es problemática debido a que el eje del vulcanismo silícico es alineado con el plutonismo calco-alcalino, y sugiere que posiblemente la interpretación geodinámica se acerca más al observado en el arco de Centroamérica, quizás un régimen tectónico tipo Nicaragüense, en un posible *rollback* negativo, donde el factor de estiramiento de la corteza causa la extensión y posteriormente un magmatismo basáltico. El modelo propuesto por Zuluaga et al. (2015) empuja la loza oceánica, trasladando el arco magmático paulatinamente hacia la trinchera.

Datos geocronológicos de la Riodacita de Ipapure . Cerro de la Teta, indican una edad de 180 Ma, con variaciones hasta 184 Ma hacia el Cerro de la Teta (Zuluaga et al., 2015).

Este autor propone que el intrusivo de la Granodiorita de Ipapure se encuentra relacionado genéticamente a la Riodacita de Ipapure, no obstante el cambio textural observado cercano al contacto entre las unidades sugiere un intrusión del cuerpo plutónico con poco flujo calórico dentro del volcánico, que como resultado solamente es representado por un cambio textural (microdiorita). La edad de la Granodiorita de Ipapure se establece a partir de las relaciones con la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta, la cual ubica a la unidad objetivo de este estudio temporalmente como un evento posterior a los 180 Ma.

11. Conclusiones

A partir de la caracterización petrográfica, se evidenció en la unidad Granodiorita de Ipapure, una variación composicional, que consiste en la presencia de diferentes tipos de roca como: Granodiorita, diorita, tonalita y monzodiorita.

La Granodiorita de Ipapure, se encuentra afectada por diques composicionalmente relacionados a tonalita, diorita y aplitas; así mismo se observó, enclaves fino granulares, con formas redondeadas u ovaladas, distribuidos por el cuerpo cuya composición varía entre granodiorita y tonalita.

El contacto entre la Granodiorita de Ipapure y la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta, es de carácter intrusivo, evidenciado en la presencia de microdioritas, que representan una disminución en el tamaño de grano y un cambio textural entre las unidades del contacto, pasando de una roca fanerítica de grano medio a grueso a una porfírica de grano fino.

Geoquímicamente la unidad Granodiorita de Ipapure consiste en rocas con una composición que varía de ácida a intermedia con porcentajes de SiO₂ entre 60% hasta un 73%.

En los diagramas de discriminación de series magmáticas, se observa que la mayoría de las muestras analizadas, caen dentro del campo de las granodioritas a excepción de tres muestras que caen en el campo de los granitos (PAR . 195A, 002 y 045), relacionadas a un enclave y rocas del contacto respectivamente y una en el campo de las monzodiorita o cuarzo-monzodiorita (PAR 101) asociado a un enclave máfico, todas pertenecientes a la serie subalcalina.

A partir del diagrama multicationico de Debon & Le Fort PQ (1983) se determinó que las rocas presentan un dominio principalmente metaluminoso con ligeras variaciones a peraluminoso. Situación que se refleja en la ausencia de minerales enriquecidos con Al₂O₃ (e.g. *muscovita*, *sillimanita*, *andalusita*, *entre otros*), así mismo apunta a que el protolito

sea de origen ígneo. Por otra parte el carácter metaluminoso, está representado en la presencia de minerales como la hornblenda y biotita, observadas en los análisis petrográficos, además muestran una tendencia a granitos tipo I, provenientes de un protolito ígneo generado por fusión parcial.

La asociación de diferentes aspectos geoquímicos, determinados para la Granodiorita de Ipapure, muestra que la unidad exhibe una señal calco-alcalina, asociada a granitos tipo I, con una fuerte afinidad metaluminosa, con vulcanismo asociado a dacitas y andesitas en grandes volúmenes.

El ambiente tectónico de emplazamiento de la Granodiorita de Ipapure, pertenece a granitoides de arco volcánico (VGA) y granitoides de arco continental. Asimismo el origen del magma está relacionado con la fusión parcial de la parte superior del manto litosférico con contribución de la corteza. El mecanismo de fusión está dado por la energía de subducción, donde la transferencia de fluidos a la loza oceánica, permite disminuir el punto de fusión, que a partir del contacto con la cuña astenosférica genero los magmas primitivos que dieron origen a la unidad. Por lo tanto, la unidad Granodiorita de Ipapure se generó en un ambiente de arco continental dentro de un proceso orogénico.

A partir de las proporciones Sm/Nd de las dos muestras analizadas para la Granodiorita de Ipapure, respecto a los principales reservorios geoquímicos de la corteza y el manto, se observó que las muestras pertenecen a la zona de basaltos continentales enriquecidos de la corteza continental, lo cual es coherente con los resultados obtenidos en los análisis químicos.

A. Anexo: Análisis Petrográfico

Bibliografía

ÁLVAREZ, W., 1967. Geology of the Simarúa and Carpintero áreas. Guajira península, Colombia. Tesis Ph.D., Princeton Univ. 168 p. New Jersey.

ÁLVAREZ. 1983. Geología de la Cordillera Central y Occidente Colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides Mezocenoicos. Ph.D. Thesis Uni. Chile, Boletín Geológico INGEOMINAS - Bogotá.

ALTENBERGER, U., CONCHA-PERDOMO, A.E. 2005. Late lower to early middle Jurassic arc magmatism in the northern Ibagué-Batholith/Colombia: *Geología Colombiana*, v.30. p. 87-97.

ASPDEN, J.A., MCCOURT, W.J., BROOK, M. 1987. Geometrical control of subduction related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic Plutonic History of Western Colombia. *Journal Geological Society*. Londres, 144: 893-905.

BARBARIN. 1990. An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. *Geol. Journal*, 25, Prentice Hall, 227-238 p.

BARRERO, D. 1969. Petrografía del Stock de Payande y metamorfitas asociadas.- *Bol. Geol.* 17, 113-144, 2 Figs., 10 Tab., 1 mapa, Bogotá.

BATCHELOR, R. A. & BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem Geol* 48: 43-55. doi: 10.1016/0009-2541(85)90034-8.

BROOK, M., 1984. New radiometric age data from SW Colombia. INGEOMINAS-Misión Británica (British Geological Survey), Cali, Colombia. Report 10.

BURKE, K. 1988. Tectonic evolution of the Caribbean. Annual reviews Earth planet science, 16, pags. 201-230.

BÜRGL, H., 1960. Geología de la Península de La Guajira: Serv. Geol. Nac. (Colombia), Bol. Geol., v. 6, (1-3), p. 129-168.

CARDONA, A., CORDANI, U., MACDONALD, W. 2006. Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from northern termination of the Colombian Andes, Caribbean region. Journal of South American Earth Sciences, v. 21, p. 337. 354.

CLAVIJO, J., MANTILLA, L., PINTO, J., BERNAL, L., PÉREZ, A. 2008. Evolución Geológica de La Serranía De San Lucas, norte del Valle Medio del Magdalena y noroeste de la Cordillera Oriental. Bol. Geol. UIS, v.30, n. 1, 22 p.

COX, K. G., BELL, J. D., PANKHURST. 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. Allen & Unwin, London.

COX, K.G., MCKENZIE, D., WHITE, R.S. 1995. Melting and melt movement in the earth. Proceedings of a Royal Society Discussion Meeting held. Philosophical transactions of the royal Society of Londres, Serie A, v. 342, 1 . 191 p.

CORDANI, U.G., CARDONA, A., JIMENEZ, D.A., LIU, D., NUTMAN, A.P. 2005. Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: Tectonic history of remnants of a fragmented Grenville Belt: GSL, Special Publication, 246, 329 . 346 p.

DEBON, F. AND LE FORT, P.1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. Trans. R. Soc. Edinburgh (Earth Sci.), 73 (for 1982): 135-149.

DE LA ROCHE H, LETERRIER, J., GRANDCLAUDE, P. & MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2- diagram and major element analyses - its relationships with current nomenclature. Chem Geol 29: 183-210. doi: 10.1016/0009-2541(80)90020-0.

De PAOLO, D. J. 1981. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. Earth and Planetary Science Letters, 53 (1981) 189-202.

-
- DORR, W., GROSSER, J. R. RODRIGUEZ, G. I., KRAMM, U. 1995. Zircon U-Pb age of the Paramo Rico tonalite-granodiorite, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia) and its geotectonic significance: *Journal of South American Earth Science*, v. 8, p. 187-194.
- FAURE, G. 2001. *Principles of isotope geology*. John Wiley and Sons. 475 p.
- GOLDSMITH, R., MARVIN, R.F. AND MEHNERT, H.H. 1971. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. U.S. Geological Survey Professional Paper, 750-D, D44-D49.
- GIUNTA G., BECCALUVA L., & SIENA F., 2006. Caribbean Plate margin evolution: constraints and current problems. *Geologica Acta*, v.4, p. 265-277.
- IGAC. 2009. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de La Guajira. Escala 1:100.000. Bogotá.
- HALL, R.; ÁLVAREZ, J.; RICO, II., 1972. Geología de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-zona IIA) *Bol. Geol. INGEOMINAS (Bogotá)* 20 (1): 85 p.
- HAMILTON, P. J., O'NIONS R. K., BRIDGWATER, D., & NUTMAN, A. 1983. Sm - Nd studies of Archean metasediments and metavolcanics from West Greenland and their implications for the Earth's early history. *Earth Planetary Science Letters*, 62, 263-272 p.
- INGEOMINAS . UNAL. 2009. Proyecto de Investigación: Cartografía e historia geológica de la Alta Guajira, Implicaciones en la búsqueda de recursos minerales. Memoria de las planchas 2, 3, 5, y 6 (Con parte de las Planchas 4, 10 y 10bis). Acuerdo Específico 030/2006. INGEOMINAS - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- IRVINE, T. M. & BARAGAR, W. R. 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canad J Earth Sci* 8: 523-548 doi: 10.1139/e71-055.
- IRVING. E. M. 1971. La evolución estructural de Los Andes más septentrionales de Colombia. *Ingeominas, Bol. Geol.*, 19(2):1-90 p. Bogotá.
- IRVING. E. M. 1972. Mapa Geológico de la Península de la Guajira. Colombia (compilación). Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.

JAILLARD E., SOLER, P., CARLIER, G., MOURIER, T., 1990. Geodynamic evolution of the northern and central Andes during early to middle Mesozoic times: a Tethyan model. *Journal of the Geological Society* 147(6): 1009-1022.

KENNAN, L. & PINDELL, J. L. 2009. Dextral shear, terrane accretion and basin formation in the Northern Andes: best explained by interaction with a Pacific-derived Caribbean Plate? En: JAMES, K. H., LORENTE, M. A. & PINDELL, J. L. (eds) 2009. *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate*. Geological Society, London, Special Publications, 328.

KRAMER, W.; SIEBEL, W.; ROMER, R.; HAASE, G.; ZIMMER, M.; EHRLICHMANN, R. 2005. Geochemical and isotopic characteristics and evolution of the Jurassic volcanic arc between Arica (18°30'S) and Tocopilla (22°S), North Chilean Coastal Cordillera. *Chemie der Erde* 65: 47-68.

KROONEMBERG, G.S. 1982. A Grenvillian granulite belt in the Colombian Andes and its relations to the Guiana Shield. *Geologie en Mijnbouw*, 61, 325 . 333 p.

LOCKWOOD, J. P. 1965. *Geology of the Serranía de Jarara Area*. Guajira Peninsula, Colombia. Tesis Ph.D., Princeton Univ. 167 p. New Jersey.

LUCASSEN, F., FRANZ, G. 1994. Arc related Jurassic igneous and metaigneous rocks in the coastal Cordillera of northern Chile/Region Antofagasta. *Lithos*, 32, 273-298 p.

MCCOURT, W. J., 1984. *The Geology of the Central Cordillera in the Department of Valle del Cauca, Quindío and NW Tolima*: British Geological Survey Report, V. Series 84, pp. 8-49.

MACDONALD, W. D., 1964. *Geology of the Serranía de Macuira Area*. Guajira Peninsula, Colombia. Tesis Ph.D., Princeton Univ. 237 p. New Jersey.

MACDONALD, W. D. & OPDYKE, N. D., 1972. Tectonic Rotations Suggested by paleomagnetic results from northern Colombia, South America. *Journal of Geophysical Research*, p. 5720-5730.

MAC DONALD, W. D. & OPDYKE, N. D. 1984. Preliminary paleomagnetic results from Jurassic rocks of the Santa Marta Massif, Colombia. *The Caribbean . South American Plate Boundary and Regional Tectonics*. Geol. Soc. Am. Mem. 162 p.

MANIAR, P., PICCOLI, P. 1989. Tectonic discrimination of Granitoids. In: Bulletin, the Geological Society of America, v.101, 635 - 643.

MAYA M. & GONZÁLEZ, H. 1998. Dominios de rocas y minerales industriales en Colombia (Area del Caribe). INGEOMINAS. Medellín

MERCADO, M., 1999. Mapa geológico del Departamento de La Guajira. Memoria explicativa. INGEOMINAS. Escala 1:250.000. 89 p. Bogotá.

MIDDLEMOST, E. A. K. 1985. Magmas and Magmatic Rocks. An Introduction to Igneous Petrology. London, New York: Longman. Geological Magazine, 123(1), pp. 87-88.

MIDDLEMOST, E. A. K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. Earth Sci Rev 37: 215-224.

MIYASHIRO, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Am J Sci 274, 321-355.

MORATA, D., & AGUIRRE, L. 2003. Extensional Lower Cretaceous volcanism in the Coastal Range (29°20'q. 30°Sq), Chile: geochemistry and petrogenesis. Journal of South American Earth Sciences 16 (2003) 459-476

MOURIER, T., LAJ, F., MÉGARD, P., ROPERCH, P., MITOUARD, AND A. FARFAN MEDRANO. 1988. An accreted continental terrane in northwestern Peru, Earth Planet. Sci. Lett., 88(1-2), 182-192.

MUÑOZ, C., WEBER, M., CARDONA, A., NIVIA, A., GÓMEZ, J., JIMÉNEZ, D. & WILSON, R. 2005. Petrografía de las Serpentinitas y Rodingitas Asociadas del Cabo de la Vela: Metamorfismo Retrogrado de un Fragmento de Manto Litosférico Emplazado en el Piso Oceánico. Petrografía de las Ultramafitas y Rodingitas de la Serranía de Jarara, Península de La Guajira. Colombia. Bogotá, D.C. X Cong. Col. Geol.

PANIAGUA, F., WEBER, M., CARDONA, A., WILSON, R. 2005. Caracterización Petrográfica de la Serpentinitas y Rodingitas asociadas del Cabo de La Vela: Metamorfismo retrógrado de un Fragmento de Manto Litosférico emplazado en el piso

oceánico. Petrografía de las Ultramáficas y Rodingitas de la Serranía de Jarara, Península de la Guajira. Colombia. 10 Cong. Col. Geol, 10 p. Bogotá, D.C.

PASSCHIER, C., & TROUW, R., 1996. *Microtectonics*. Berlin, Springer Verlag.

PEARCE, J. A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In Thorpe R S (ed) *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley, Chichester, 525 . 548 p.

PEARCE, J. A., HARRIS N.W. & TINDLE, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J Petrology* 25: 956-983. doi:10.1093/petrology/25.4.956.

PEARCE, J. A. 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams, in D.A. Wyman, ed., *Trace element geochemistry of volcanic rock: Applications for massive sulphide exploration: Geological Association of Canada, Short Course Notes 12*, 79 . 113 p.

PECCERILLO A & TAYLOR S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib Mineral Petrol* 58: 63-81.

PICHOWIAK, S. 1994. Early Jurassic to early Cretaceous Magmatism in the Coastal Cordillera and the Central Depression of North Chile. In *Tectonics of the southern Central Andes* (Reutter. K-J.; Scheuber, E.; Wigger, P.; editors). Springer-Verlag, p. 203-217.

PINDELL, J. L. Y BARRETT, S. F., 1990. Geologic evolution of the Caribbean: A plate-tectonic perspective. In: G. Dengo and J.E. Case (Editors), *The Geology of North America*. Geological Society of America, Boulder, CO, pags. 405-432.

PINDELL, J. 1991. Geological arguments suggesting a pacific origin for the Caribbean Plate. *Transactions 12th Caribbean Geological Conference*, St. Croix.

PINDELL, J. L., 1993, Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean, in S.K. Donovan and T.A. Jackson (eds.), *University of the West Indies Publisher's Association Caribbean Geology: An Introduction*. pag. 13-39.

PINILLA, A. 2013. Modelo del Ambiente Tectónico a partir de estudios petrográficos y geoquímicos de la Riodacita de Ipapure . Cerro La Teta. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. 157 p. Bogotá.

-
- PITCHER. 1983. Mountain Building Processes. in K. J. Hsü (ed.), Academic Press, London.
- PITCHER, W.S. 1993. The nature and origin of granite. Blackie Academic & Professional, 321 p. London.
- RADELLI, L. 1960. El basamento cristalino de la Península de La Guajira. Serv. Geol. Nal., Bol. Geol., 8 (1-3):5-23 p. Bogotá.
- _____. 1962. Las dos granitizaciones de la Península de La Guajira (Norte de Colombia). U. Nal., Geol. Col., (1):5-19 p. Bogotá.
- RENZ, O., 1956. Cretaceous in Western Venezuela and the Guajira (Colombia). 20 Congr. Geol. Internat., 11 figs, manuscrito. México.
- RENZ, O., 1960. Geología de la parte sureste de la Península de La Guajira (República de Colombia). Bol. Geol. (Venezuela). Spec. Pub, (3), v. 1: 317 . 349 p.
- RESTREPO-PACE, P.A. 1992. Petrotectonic characterization of the Central Andean Terrane, Colombia. Journal of South American Earth Sciences, 5.
- RESTREPO-PACE, P.A. 1995. Late Precambrian to early Mesozoic tectonic evolution of the colombian Andes, based on new geochronological, geochemical and isotopic data. Unpub. Ph.D. thesis, University of Arizona, 1-195.
- RESTREPO-PACE, P.A., RUIZ, J., GEHRELS G., & COSCA, M. 1997. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: New constraints for Late Proterozoic . Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. Earth and Planetary Science Letters, 150, 427-441 p.
- RETREPO, J. & TOUSSAINT, J. 1988. Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. Episodes, Vol. 11, N° 3, pp. 189-193.
- RODRÍGUEZ, G. & LONDOÑO, A. C. 2002. Memoria explicativa del Mapa Geológico del Departamento de la Guajira. Geología, Recursos Minerales y Amenazas Potenciales. 2ª Edición. Bogotá Ingeominas, Publ. Geol. Esp. 259 p.

ROGERS, G ; HAWKESWORTH, C.1989. A Geochemical traverse across The North Chilean Andes - Evidence for Crust Generation from the Mantle Wedge in: Earth and Planetary Science Letters, Vol. 91, No. 3-4, 01.1989, p. 271-285.

ROLLINS, J., 1960. Stratigraphy and structure of the Goajira unpublished Ph.D. thesis, Dept. Geol., Univ. of Nebraska, Lincon, Nebraska (Revised version in press, Univ. of Nebraska Press).

ROLLINS, J. F. 1965. Stratigraphy and structure of the Guajira Peninsula, northwestern Venezuela and northeastern Colombia. Univ. Nebraska Studies, New Ser., 30: 1-1102 p. Lincoln.

ROLLINSON, H. 1998. Using geochemical data: evaluation, representation, interpretation. Longman Group U.K. Ltd., 132-149 p. London, United Kingdom.

ROPERCH, P., AND A. CHAUVIN. 1987. Transitional geomagnetic field behavior: Volcanic records from French Polynesia, Geophys. Res. Lett., 14(2), 151. 154.

SGC & UNAL. 2013. Estudios Petrológicos basados en el Microanálisis de minerales de unidades cristalinas en La Alta Guajira, Región Caribe Colombiana. Informe de Resultados Analíticos. Convenio de Cooperación 028/2012. SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

SHAND, S. J. 1943. Eruptive rocks, 2nd ed. John Wiley, New York, pp 1-444.

SILLITOE, R. H., JARAMILLO, L., DAMON, I.E. SHTIQULLAH, M. ESCOVAR, R. 1982. Setting, characteristics, and age of the Andean porphyry copper belt in Colombia: Economic Geology, v.77, p. 1837 . 1850.

STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic Rock its proper name.- Earth Science Rev. Bd. 12 p.1-33 Amsterdam, London, New York.

STUTZER. 1934. Contribución a la Península de La Guajira. Compilación Est. Ofic. En Colombia. Bogotá.

TSCHANZ, C.; JIMENO, A.; & CRUZ, J. 1969. a. Mapa Geológico de reconocimiento de la Sierra Nevada de Santa Marta. Escala 1:100.000. Ingeominas. Bogotá.

TSCHANZ, C. M., MARVIN, R. F., CRUZ, J., MEHNERT, H. H. CEBULA, G.T.1974. Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia: GSA Bulletin, v. 85, p. 273-284.

TSCHANZ, C. M., MARVIN, R.F., CRUZ, J., MEHNERT, H.H., & CEBULA, G.T., 1974. Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia. Geological Society of America Bulletin, v. 85, 273-284.

TOUSSAINT, J.F., 1995. Evolución Geológica de Colombia. Triásico? Jurásico. Universidad Nacional de Colombia. pp. 277.

WHALEN, J., MCNICOLL, V., VAN STAAL, C., LISSEBERG, C., LONFSTAFFE, F., JENNER, G., VAN BREEMAN, O. 2006. Spatial temporal and geochemical characteristics of Silurian collision zone magmatism, Newfoundland Appalachians: An example of a rapidly evolving mafic system related to slab break-off. Lithos, 89, 377 . 404 p.

WHITE, W. M. 2005. Geochemistry. An online text book. Online. <http://www.geo.cornell.edu/geology/classes/geo455/Chapters.HTML>

VILLASECA, C., BARBERO, L. & HERREROS, V. 1998. A re-examination of the typology of peraluminous granite-types in intracontinental orogenic belts. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences 89, 113-119.

ZULUAGA, C., C. A. PINILLA O., A. MANN., P. 2015. Jurassic Silicic Volcanism and Associated Continental-arc Basin in Northwestern Colombia (Southern Boundary of the Caribbean Plate). En: Petroleum geology and potential of the Colombian Caribbean Margin. Memorias AAPG. 108. P.137-160.