

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
NÚCLEO DE BOLÍVAR  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**EVALUACIÓN PETROQUÍMICA DE LAS ROCAS DE LA  
FORMACIÓN PACARAIMA AFLORANTE EN EL EJE SANTA  
ELENA DE UAIRÉN-PACARAIMA, MUNICIPIO GRAN  
SABANA, FRONTERA ENTRE VENEZUELA Y BRASIL**

**TRABAJO FINAL DE  
GRADO PRESENTADO  
POR LOS BACHILLERES  
LÓPEZ T. JESÚS A. Y  
RONDÓN S. ALEJANDRO  
J. PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE GEÓLOGO**

**CIUDAD BOLÍVAR, NOVIEMBRE DE 2017**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**ACTA DE APROBACIÓN**

Este trabajo de grado titulado: **“EVALUACIÓN PETROQUÍMICA DE LAS ROCAS DE LA FORMACIÓN PACARAIMA AFLORANTE EN EL EJE SANTA ELENA DE UAIRÉN-PACARAIMA, MUNICIPIO GRAN SABANA, FRONTERA ENTRE VENEZUELA Y BRASIL”**, presentado por los bachilleres, **LÓPEZ T. JESÚS A., C.I.: 19.941.574**, y **RONDÓN S. ALEJANDRO J., C.I.: 16.759.574**, como requisito parcial para optar al título de **GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre:

Firma:

Prof. Miguel Gómez

(Asesor)

(Jurado)

(Jurado)

Prof. Rosario Rivadulla  
Jefe del Departamento de Geología

Prof. Francisco Monteverde  
Director de Escuela

Ciudad Bolívar \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2017 \_\_\_\_\_

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, y con toda la emoción de mi corazón, a Dios y a mis padres Violeta e Israel, quienes me dieron la vida e inteligencia que me ha permitido obtener lo que actualmente tengo; a mi abuela Ramona, a mi hermana Vannessa y, en un lugar especial de mi corazón, a mis más grandes tesoros: mi esposa Dayselis y mi pequeño hijo Marcelo Abraham.

A mi profesor y amigo Edixon Salazar, a mi amiga Marlys y demás compañeros universitarios, quienes siempre me dieron el apoyo moral necesario, más valioso que todo el dinero del mundo en ciertos momentos de la vida.

Alejandro Salas

El presente trabajo está dedicado muy especialmente a mis padres, Onellis del Valle y Carlos Alberto, quienes con extremo esfuerzo en todos los ámbitos, nunca perdieron la fe en el logro de mi gran proyecto, manteniendo siempre incólumes las ilusiones y el amor propios del éxito, a mis hermanos Carlos J., Carlos E, Carlos A y Oriana, a quienes amo con todo mi corazón, a mi novia Mariacecilia, a quien admiro, respeto y quiero de una manera muy especial.

A mi estimado profesor Geol. Edixon Salazar, a la Ing. Marlys M. y a todos mis amigos de infancia, quienes aún me brindan la bendición de su amistad y familiaridad, apoyándome moralmente en la culminación de este gran proyecto que marcará el inicio de mi vida profesional.

Jesús López

## **AGRADECIMIENTOS**

A La Casa Más Grande, la Universidad de Oriente, y a los profesores que participaron en nuestro aprendizaje y entrenamiento, por permitirnos obtener este nivel Universitario que, sin duda alguna, será de alta significación en el futuro profesional que nos aguarda.

Muy especial a nuestro tutor y amigo, Ingeniero Miguel Gómez, quien con su capacidad técnica, experiencia profesional, dirección, firmeza y carácter que le caracterizan, nos supo mantener con entusiasmo, en el camino correcto para lograr la culminación de este importante proyecto.

A la profesora Geólogo Anna Bandini, quien sin otro interés que no fuera el profesional, pero con la bondad y su gran capacidad técnica que le caracterizan, colaboró con el estudio y revisión petrográficos de la litología involucrada en este proyecto.

Jesús López  
Alejandro Salas

## RESUMEN

El área de Santa Elena de Uairén y zonas adyacentes, objeto del presente estudio, está conformada litológicamente por rocas piroclásticas cristalinas, con muy poco vidrio y algo de fragmentos de roca, y pertenecen a la Formación Pacaraima, infrayacente y discordante con las rocas siliciclásticas de la Formación Uairén, a las cuales sirve de basamento. Los minerales predominantes en estas rocas piroclásticas son la plagioclasa intermedia, el feldespato alcalino (ortoclasa y pertita) y cuarzo en menor cantidad, en la mayoría de los casos menor al 20%. La geomorfología responde a un sistema de lomeríos, de poca elevación sobre el terreno y con pendiente poco pronunciada, comprendida entre 15% - 20%. La hidrografía se manifiesta con ríos de corriente intermitente y drenaje predominantemente dendrítico, pertenecientes a la cuenca del río Kukenán. Las principales corrientes fluviales son el río Uairén y Sampoy, respectivamente. Durante el trabajo de campo se visitaron cuatro afloramientos rocosos de la Formación Pacaraima, a saber: Maurack, Vía Waramasén, Cantera Waramasén y trayecto Vía Santa Elena de Uairén-La Línea (Pacaraima), seleccionándose 4 muestras: 1 por cada afloramiento. De las cuatro muestras se analizaron 3 mediante estudio petrográfico de secciones delgadas y, 1 macroscópicamente con lupa electrónica y observación de fragmentos en el microscopio. La ubicación de 3 muestras en el Diagrama de Streckeisen corresponde a rocas intermedias (latita cuarcífera) y 1 a riolita con poco cuarzo. Dos de las muestras (MPPMRC-1 y MPCW-1) presentaron orientación mineral y presencia de clorita, epidota y sericita, lo cual sugiere un efecto metamórfico de grado bajo. Tres (3) muestras fueron analizadas geoquímicamente por el método de Espectrometría de Absorción Atómica, lo cual permitió su ubicación en la zona de la dacita, del Diagrama TAS, mientras que en el Diagrama de Miyasiro, su clasificación fue de afinidad calcoalcalina. La evaluación por los Criterios de Saturación en Alúmina y contenido de álcalis, determinó que las rocas son peraluminosas. Se acota, que las rocas aquí evaluadas son piroclásticas y no volcánicas o lávicas; de allí, que debe ser considerada esta observación, ya que este tipo de litología muestra, por lo general, contaminación con fragmentos de rocas y minerales de especies preexistentes. La afinidad geoquímica calcoalcalina en este tipo de rocas, se les relaciona en muchos casos, a nivel mundial, con un ambiente de arco magmático continental. Desde el punto de vista económico y la observación de campo, las rocas piroclásticas de la Formación Pacaraima no representan prospecto alguno como roca ornamental, áridos o material de construcción. En Venezuela se les correlaciona a las Volcánicas de Caicara y éstas, a su vez, con el Grupo Irirí (1,88 Ga) de Brasil, en la provincia aurífera de Tapajós.

# CONTENIDO

Página

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>v</b>
<b>CONTENIDO.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE APÉNDICES.....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>SITUACIÓN A INVESTIGAR.....</b>	<b>3</b>
1.1 Situación objeto de estudio.....	3
1.2 Objetivos de la investigación .....	4
<b>1.2.1 Objetivo general.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>4</b>
1.3 Justificación de la investigación .....	5
1.4 Alcance de la investigación .....	6
1.5 Limitaciones .....	7
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>8</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>8</b>
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio .....	8
2.2 Acceso al área de estudio .....	9
2.3 Geología regional.....	10
2.3.1 Provincia Geológica de Cuchivero .....	10
2.3.2 Provincia Geológica de Roraima.....	12
2.4 Características físicas y naturales del área de estudio .....	15
2.4.1 Hidrografía.....	15
2.4.2 Drenaje.....	16
2.4.3 Clima.....	17
2.4.4 Vegetación .....	18
2.4.5 Suelo .....	19
2.4.5.1 Ultisoles.....	19
2.4.5.2 Entisoles.....	19
2.4.5.3 Inceptisoles .....	20
2.5 Geología Local .....	21
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>23</b>

<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
3.1 Referencias del estudio realizado .....	23
3.2 Fundamentos Teóricos .....	24
<b>3.2.1 Minerales formadores de las rocas.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.2 Teoría sobre las rocas ígneas .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.3 Rocas ígneas .....</b>	<b>26</b>
3.2.3.1 Texturas de las rocas ígneas.....	27
3.2.3.2 Clasificación de las rocas ígneas y Diagramas de Streckeisen.....	29
3.2.3.3 Criterios de clasificación de las rocas ígneas basados en su contenido de álcalis ( $K_2O + Na_2O$ ) y alúmina ( $Al_2O_3$ ) .....	37
3.2.3.4 Clasificación de las rocas volcánicas según su contenido de sílice y álcalis total.....	38
3.3 Rocas metamórficas y el metamorfismo .....	39
3.4 Generalidades sobre las rocas sedimentarias siliciclásticas y carbonatos .....	41
3.5 Rocas Piroclásticas .....	43
<b>3.5.1 Material piroclástico o tefra .....</b>	<b>44</b>
3.5.1.1 Polvo volcánico.....	44
3.5.1.2 Cenizas .....	44
3.5.1.3 Lapilli .....	44
3.5.1.4 Bombas .....	45
3.5.1.5 Bloques.....	45
3.5.1.6 Escoria .....	45
3.5.1.7 Flujos Piroclásticos .....	45
3.5.2 Tobas y brechas .....	45
3.5.2.1 Tobas vítreas .....	46
3.5.2.2 Tobas cristalinas .....	46
3.5.2.3 Ignimbrita.....	47
3.5.2.4 Tobas híbridas.....	47
3.5.2.5 Piedra pómez.....	47
3.5.2.6 Brechas Volcánicas .....	47
3.6 Consideraciones importantes en análisis petrográfico de las rocas piroclásticas.....	48
3.7 Tectónica de Placas y las rocas ígneas y piroclásticas, respectivamente .....	49
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>52</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1. Tipo de investigación.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2 Diseño de la investigación .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3 Etapas de la investigación .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.1 Recolección de la información bibliográfica .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.2 Etapa de Campo.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.3 Etapa de Laboratorio .....</b>	<b>58</b>
<b>4.3.4 Discusión de resultados y elaboración del informe final.....</b>	<b>58</b>
<b>4.4 Población de la investigación.....</b>	<b>59</b>

4.5 Muestra de la investigación .....	59
4.6 Equipos e instrumentos de recolección de datos y desplazamiento en la zona de trabajo .....	60
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>61</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
5.1 Descripción de la geología del área de estudio.....	61
5.1.1 Sector Waramasén.....	61
5.1.2 Sector Maurack.....	63
5.1.3 Sector Santa Elena de Uairén – La Línea (Pacaraima) .....	65
5.2 Análisis petrográficos.....	67
5.2.1 Muestra MPCW-1 .....	67
5.2.2 Muestra MPVW-1 (descripción macroscópica).....	70
5.2.3 Muestra MPPMRC-1 .....	71
5.2.4 Muestra MPSEUL-1.....	74
5.3 Análisis químicos .....	77
5.3.1 Análisis químicos por Espectrometría de Absorción Atómica .....	77
5.3.1.1 Muestra MPVW-1 (Vía Waramasén).....	78
5.3.1.2 Muestra MPPMRC-1 (Vía Puente Maurack) .....	78
5.3.1.3 Muestra MPSEUL-1 (Vía Santa Elena de Uairén-La Línea) .....	79
5.4 Evaluación geoquímica con Diagrama TAS, Miyasiro y Criterios de Saturación en Alúmina y contenido de Álcalis .....	79
5.4.1 Muestra MPVW-1 .....	79
5.4.2 Muestra MPPMRC-1 (Vía Puente Maurack) .....	82
5.4.3 Muestra MPSEUL-1 (Vía Santa Elena de Uairén-La Línea) .....	84
5.5 Clasificación de las muestras en base a su composición, textura y grado de cristalinidad .....	86
5.6 Interpretación de resultados.....	87
5.7 Correlación estratigráfica de la Formación Pacaraima.....	89
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>92</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>127</b>

## LISTA DE FIGURAS

Página

2.1	Imagen de Google Earth con ubicación de muestras y área de investigación. ....	9
3.1	Emplazamiento de las estructuras ígneas (Tarbuck y Lutgens, 2006).....	27
3.2	Serie de Cristalización de N.L. Bowen (Tarbuck y Lutgens, 2006). ....	30
3.3	Diagrama de Streckeisen para rocas volcánicas y plutónicas, respectivamente ( <a href="http://www.geovirtual2.cl">http://www.geovirtual2.cl</a> ).....	32
3.4	Triángulo PPO (Plagioclasa, Piroxeno, Olivino), para clasificación de rocas plutónicas gabroides (en Méndez, B.J., 2006). ....	32
3.5	Triángulo PPH (Plagioclasa, Piroxeno, Hornblenda) para clasificación de rocas plutónicas gabroides (Méndez, B.J., op. cit.).....	33
3.6	Triángulo OOC (Ortopiroxeno, Olivino, Clinopiroxeno), para clasificación de rocas ultramáficas (IUGS, Le Maître, 1989).....	33
3.7	Diagrama de Miyasiro (1976), para discriminar entre rocas tholeíticas y calcoalcalinas, respectivamente. ....	37
3.8	Clasificación TAS (Sílice Versus Alcalis Total), para rocas volcánicas (en <a href="http://www.insugeo.org.ar">http://www.insugeo.org.ar</a> , 2006). ....	39
3.9	Triángulo de Clasificación en base a la composición de las rocas piroclásticas ( <a href="http://www.insugeo.org.ar">http://www.insugeo.org.ar</a> , 2016). ....	48
3.10	Serie magmáticas y las rocas volcánicas. ....	50
3.11	Imagen de una zona de subducción tipo Andino. Placa oceánica densa (Nazca) subductada por placa Suramericana (más liviana). (Fuente: Tarbuck y Lutgens, 2006. Modif. Por Gómez, M., 2017).....	51
4.1	Flujograma de la Investigación. ....	54
4.2	Verificación de coordenadas geográficas y UTM del afloramiento, utilizando GPS. ....	55
4.3	Ubicación de puntos de muestreo en el mapa de Cartografía Nacional.....	56
4.4	Obtención de muestra fresca de roca piroclástica en la vía Santa Elena de Uairén-La Línea (Pacaraima). ....	57
5.1	Afloramiento de tobas piroclásticas esquistas muy cizalladas color verde pistacho. Vía Waramasén.....	62
5.2	Afloramiento con estructuras de flujo, pliegue y falla sinixtral (N70°W). Adyacencias al puente Maurack sobre el río Uairén.....	64
5.3	Estructuras de flujo piroclástico. Afloramiento de la Formación Pacaraima vía Maurack.....	64
5.4	Afloramiento de las tobas de Santa Elena, Troncal 10, vía hacia la frontera Venezuela-Brasil. ....	66
5.5	Ubicación de la muestra MPCW-1 en el Diagrama de Streckeisen.....	70

5.6	Ubicación de la muestra MPPMRC-1 en el Diagrama de Streckeisen. ....	74
5.7	Ubicación de la muestra MPSEUL-1 en el Diagrama de Streckeisen. ....	77
5.8	Ubicación de la muestra MPVW-1 en el Diagrama TAS. ....	80
5.9	Ubicación de la muestra MPVW-1 en el Diagrama de Miyasiro.....	81
5.10	Ubicación de la muestra MPPMRC-1 en el Diagrama TAS.....	82
5.11	Ubicación de la muestra MPPMRC-1 (sector Maurack) en el Diagrama de Miyasiro. ....	83
5.12	Ubicación de la muestra MPSEUL-1 en el Diagrama TAS.....	84
5.13	Ubicación de la muestra MPSEUL-1 en el Diagrama de Miyasiro. ....	85
5.14	Ubicación de muestras de la Formación Pacaraima en las adyacencias de Santa Elena de Uairén en el triángulo de clasificación para rocas piroclásticas.....	87

## LISTA DE TABLAS

	Página
2.1	Coordenadas UTM de referencia del área investigada. .... 8
3.1	Textura de las rocas ígneas en base a su granularidad. .... 28
3.2	Clasificación de las rocas ígneas en función de la textura y el Índice de Color..... 34
3.3	Parámetros considerados en el Diagrama de Streckeisen para clasificación de las rocas ígneas (en Méndez, B.J. 2006). .... 35
3.4	Criterios de clasificación de las rocas en base a su contenido de sílice, álcalis y calcio. .... 38
5.1	Ubicación geográfica e identificación de muestras analizadas. .... 67
5.2	Composición mineralógica de la muestra MPCW-1..... 69
5.3	Recálculo al 100% de los parámetros APQ de la muestra MPCW-1. .... 69
5.4	Composición mineralógica de la muestra MPPMRC-1..... 73
5.5	Recálculo al 100% de los parámetros APQ de la muestra MPPMRC-1..... 73
5.6	Composición mineralógica de la muestra MPSEUL-1. .... 76
5.7	Recálculo al 100% de los parámetros APQ de la muestra MPSEUL-1..... 76
5.8	Análisis químico de la muestra MPVW-1. .... 78
5.9	Análisis químico de la muestra MPPMRC-1..... 78
5.10	Análisis químico de la muestra MPSEUL-1. .... 79

## LISTA DE APENDICES

	Página
A	Resumen de los análisis químicos..... 97
A.1	Resumen de análisis químicos y cálculo de parámetros de clasificación. .. 98
B	Imagen de Google Earth del área investigada..... 99
B.1	Imagen de Google Earth con ubicación de muestras y área investigada.... 100
C	Diagramas de clasificación con ubicación de muestras ..... 101
C.1	Diagrama TAS con ubicación de muestras. .... 102
C.2	Diagrama de Streckeisen con ubicación de muestras..... 103
C.3	Diagrama de Miyasiro con ubicación de muestras..... 104
D	Análisis petrográficos realizados por INGEOMIN..... 105
D.1	Resumen de análisis y fotomicrografías realizados por INGEOMIN..... 106
E	Análisis petrográficos realizados por la Petrografo Geólogo Anna Bandini en la Escuela de Ciencias de la Tierra . UDO..... 111
F	Fotomicrografías de secciones delgadas de muestras analizadas por la Petrografo Anna Bandini en la Escuela de Ciencias de la Tierra. UDO..... 117
F.1	Fotomicrografía de la muestra MPPMRC-1. Nicoles Cruzados, aumento 10x/0.20. Nótese el mineral sericita en microcristales alargados y orientados paralelamente. .... 118
F.2	Fotomicrografía de la muestra MPCW-1. Nicoles Cruzados, aumento 10x/0.20. Nótese los cristaloclastos de feldespato, rodeados por matriz cuarzo feldespática y asociados a una banda de sericita orientada en la parte central de la imagen. .... 118
F.3	Fotomicrografía de la muestra MPSEUL-1. Nicoles Cruzados, aumento 10x/0.20. Presencia de plagioclasa, feldespato potásico (pertita, ortoclasa), matriz cuarzo-feldespática (15%) con vidrio intersticial (5%) y opacos (8%). .... 119
F.4	Fotomicrografía de la muestra MPSEUL-1. Nicoles Cruzados, aumento 10x/0.20. Fragmento de roca formado por varios cristales de feldespato potásico con bordes corroídos rodeados por matriz microcristalina y bandas de sericita. .... 119
G	Análisis químico realizado en los Laboratorios del Centro de Geociencias de la Escuela de Ciencias de la Tierra. UDO..... 120
G.1	Análisis químico de las muestras MPCW-1, MPPMRC-1 y MPSEUL-1 . 121
H	Promedio normal de algunos elementos trazas (contenido < 0.1 % en peso) y su asociación con unidades litológicas típicas (tomado de Rose et al., 1979).. 122

H.1 Promedio normal de algunos elementos trazas (contenido < 0.1% en peso) y su asociación a suelos y unidades litológicas típicas (tomado de Rose et al., 1979). .....	123
I Afloramientos de la Formación Pacaraima en las adyacencias de Santa Elena de Uairén .....	124
I.1 Afloramiento de la Formación Pacaraima en la Cantera Waramasén. (Foto: archivo pers. de Miguel G.).....	125
I.2 Bloques de la Formación Pacaraima (vía Santa Elena de Uairén - La Línea (Brasil)), vegetación de sabana, y al fondo, vista panorámica de la conformación geomorfológica de la zona investigada. (Foto: archivo pers. de Alejandro R. y Jesús L.). .....	126

## **LISTA DE ANEXOS**

1. Mapa Geológico de Santa Elena de Uairén con ubicación de muestras y área de trabajo.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de las rocas ígneas, sean volcánicas o plutónicas, siempre es un importante aporte al conocimiento de la geología de una región, ya que de una manera u otra, este tipo de rocas han sido generadoras del material que más tarde han conformar rocas sedimentarias o metamórficas. De igual manera las rocas piroclásticas, que son motivo del presente estudio, se han originado de procesos relacionados al magmatismo explosivo, al parecer tipo Andino. Es decir, vinculadas a bordes activos convergentes en zonas de subducción, pero en la parte continental o, de arco magmático. Las rocas de afinidad calcoalcalinas, como es el caso de las rocas piroclásticas que conforman un arco volcánico, que se extiende aproximadamente desde Santa Elena de Uairén y sus adyacencias, hasta Caicara del Orinoco, manteniendo un rumbo Noroeste.

En relación a estas rocas, se han efectuado evaluaciones petromineralógico, cuyo aporte es de gran importancia; sin embargo, también se realizaron extrapolaciones de resultados sin justificación alguna, lo que ha traído como consecuencia una serie de incongruencias geocronológicas y confusiones en cuanto a la textura, ambiente y relación magmática, así como también clasificaciones de grado de cristalinidad incorrectos. Por ejemplo, en la zona de Santa Elena de Uairén y sus adyacencias, las rocas analizadas petrográficamente, no aportaron suficiente cantidad de vidrio que justifique se les clasifique como vítreas; por el contrario, si una gran cantidad de minerales superior al 90%, por tal motivo en este trabajo se les clasifica como tobas cristalinas. En relación a la textura, las tobas de Santa Elena de Uairén, Maurack, Waramasén, no presentan textura ignimbrítica, ni material soldado, por lo tanto no son ignimbritas, como durante años se ha venido afirmando. Es posible que hacia Ikabarú, o Caicara del Orinoco, presenten tales rasgos texturales, pero no las de la zona en estudio.

Las rocas analizadas no presentan un enriquecimiento en cuarzo (en la mayoría de los casos es menor al 10%), pero sí plagioclasa, ortoclasa y perfitita como alcalinos (no se determinó sanidina). Estas rocas, por no ser lavas, deben ser analizadas teniendo presente la contaminación que, sin duda poseen, con material de otras rocas preexistentes.

Las rocas de la Formación Pacaraima han servido de basamento a las sedimentarias del Grupo Roraima. De allí, que la suprayacente Formación Uairén esté en claro contacto discordante con las piroclásticas de la Formación Pacaraima, equivalente a las Volcánicas de Caicara del Grupo Cuchivero.

El presente estudio, además del aporte significativo del valor geológico que aporta, se espera llame la atención a otros investigadores, para que se realicen las revisiones respectivas en cuanto a la geoquímica, petrografía, Difracción de Rayos X, método de Barrido Electrónico y, dataciones U/pb, Sm/Nd, Rb/Sr, ya que existen incongruencias significativas entre las edades de la Formación Uairén y las rocas de Pacaraima.

Una pregunta de gran importancia y que puede servir para futuras investigaciones, e incluso tesis doctorales es ¿Qué tipo de litología sirvió de basamento a las rocas piroclásticas y lavas de la Formación Pacaraima?. Se ignora el espesor de la Formación Pacaraima. ¿Fueron acaso las rocas del Complejo de Imataca (o del Complejo granítico CRV-TTG asociados de la Provincia de Pastora) que por reactivación, y efectos de calor del manto superior dieron lugar a las Volcánicas de Caicara y piroclásticas (y posiblemente lavas) de la Formación Pacaraima?. Y por último ¿Cuál es la verdadera edad de las rocas de la Formación Pacaraima en Venezuela?.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Situación objeto de estudio

Las rocas de la zona, demarcadas aproximadamente por el cuadrángulo Santa Elena de Uairén – Eje La Línea (población fronteriza de Pacaraima) – poblaciones indígenas de Maurack – Waramasén, respectivamente, y sin intención de menospreciar trabajos previos, no han sido detalladamente evaluadas petroquímicamente ni tampoco se ha efectuado una correlación litoestratigráfica en Venezuela, que no haya generado confusión. De hecho, las investigaciones realizadas por C.V.G. Tecmín- C.A. en la zona, de gran valor, sin lugar a dudas, fue a nivel regional y, a una escala de 250.000, que no permite profundizar en mayores detalles.

La Provincia Cuchivero incluye, principalmente, rocas volcánicas riolíticas y asociadas, comagmáticas con granitos calcoalcalinos de la Asociación Cuchivero; metaareniscas, metaconglomerados, metalimolitas, metatobas, etc. En Cuchivero-Suapure-Ventuari también afloran sobre las mencionadas rocas graníticas y volcánicas, rocas sedimentarias del Grupo Roraima, y ambas han sido intrusionadas por diques de gabronoritas y diabasas cuarcíferas de afinidad tholeíticas continentales de la Asociación Avanavero.

Aunque las rocas ubicadas dentro del cuadrángulo de estudio no presentan evidencias de metamorfismo regional, o de contacto; las rocas de la Formación Pacaraima ubicadas en el camino de tierra vía el caserío indígena Waramasén ofrecen una textura esquistosa, color verdoso por la posible presencia de clorita, epidota, sericita, etc., y lustrosidad típicas de las filitas. Tal vez por efectos de las pulsaciones de calor del dique máfico de Santa Elena de Uairén.

De acuerdo a lo antes expuesto, las rocas que conforman la Formación Pacaraima enmarcadas en los límites de esta investigación serán detalladas, en la medida de lo posible, con la finalidad de aportar nueva información científica a través de la descripción microscópica de sus minerales, condiciones de formación, y alteraciones que muestran diversas características, texturales, y cambios en la composición mineral.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar petroquímicamente las rocas de la Formación Pacaraima aflorante en el eje Santa Elena de Uairén-Pacaraima frontera entre Venezuela y Brasil.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Describir la geología de superficie de los sectores investigados, ubicados en el cuadrángulo Santa Elena de Uairén – Pacaraima – poblaciones indígenas de Maurack – Waramasén.
2. Determinar la composición mineralógica, textural, y posibles efectos metamórficos de las especies litológicas seleccionadas en el sector mencionado en el objetivo específico anterior.
3. Establecer los posibles eventos tectónicos que originaron la alteración de la composición mineral y textural de las especies de rocas analizadas.

4. Determinar, en base a la mineralogía y geoquímica de cada especie litológica analizada, la nomenclatura de ésta, de acuerdo a la ubicación en el Diagrama de Streckeisen, y Diagrama TAS, para su afinidad geoquímica.
5. Implantar, en base a efectos de metamorfismo, textura y estructuras presentes en los afloramientos de roca, una correlación estratigráfica y cronológica relativa de posibles eventos que afectaron la zona investigada.
6. Elaborar un mapa geológico multidisciplinario de Santa Elena de Uairén y zonas adyacentes con ubicación de sitios de muestreo.

### **1.3 Justificación de la investigación**

El proyecto a ejecutar presenta gran interés en base al conocimiento científico de la geología de la región de Guayana; específicamente en la zona de la Gran Sabana, vía Pacaraima (La Línea) frontera Venezuela-Brasil y comunidades indígenas como, Maurack, Waramasén, etc. De cuyas rocas muy poco se conoce desde el punto de vista petromineralógico a nivel de detalle.

El presente estudio se ha concebido desde el punto de vista estrictamente geológico; sin embargo, una vez sean obtenidos los resultados, será posible sugerir recomendaciones de índole económico, siempre y cuando los daños al ambiente sean mínimos.

Las rocas de la zona de Santa Elena de Uairén, presentan texturas y efectos estructurales, no citados en la literatura geológica verificada por el suscrito. Por ejemplo, las rocas piroclásticas observadas en la vía Santa Elena de Uairén-La Línea, no presentan textura ignimbrítica, como se afirma en todas las obras revisadas,

aunque si piroclástica, porfídica y, en algunos casos, con muy poco vidrio. En la vía hacia Waramasén, las tobas presentan foliación mineral, con esquistosidad pizarreña, con brillo satinado, típico de filita. En las cercanías del pueblo de Maurack, las rocas ígneas presentan textura de flujo; sin embargo son muy similares a las de Waramasén en cuanto a mineralogía y composición química, color y textura. Las rocas piroclásticas de La Línea (o tobas de Santa Elena) son algo distintas a las anteriores, presentan pátinas claras de alteración, los suelos que originan son tipo *tigrito*, lo cual sugiere una composición más ácida (posiblemente riolítica), no se observa en ellas estructuras de flujo ni textura ignimbrítica.

La evaluación petromineralógico a detalle y clasificación petroquímica de las rocas presentes en el sector de Santa Elena de Uairén y zonas adyacentes, es obviamente justificable y, en parte, es el propósito de este proyecto.

#### **1.4 Alcance de la investigación**

La intención de este proyecto es contribuir y aunar en el conocimientos geológico sobre rocas y minerales presentes en la zona de interés, de los cuales aparentemente, se tienen poca información de acuerdo a las políticas de exploración geológicas actuales en Venezuela.

La orientación científica de la presente investigación está relacionada específicamente hacia el conocimiento petromineralógico, geoquímico y litoestratigráfico de las rocas piroclásticas presentes en la zona, con sus respectivos vínculos estructurales, texturales y de efectos metamórficos posibles. La evaluación geoquímica aunado a la petrografía, hacen de este trabajo un gran aporte al conocimiento científico geológico de la zona de Santa Elena de Uairén.

## 1.5 Limitaciones

1. La adquisición de muestras de rocas y presencia de investigadores en la zona, es controlada por los representantes de las comunidades indígenas y el Instituto Nacional de Parques (INPARQUES), ya que el área de estudio se ubica dentro del Parque Nacional Canaima.
2. El traslado de una cantidad significativa (tres sacos) de rocas desde Santa Elena de Uairén hasta Ciudad Bolívar, crea sospechas (aunque infundadas) por parte de la Guardia Nacional.
3. El costo y traslado del personal investigador (tesistas y asesor académico) hasta las zonas de interés es bastante elevado, lo que implica un gasto significativo desde el punto de vista económico.
4. En un principio se pensó en realizar una evaluación georadimétrica de las rocas de la Formación Pacaraima, pero lamentablemente en Venezuela no se cuenta con laboratorios que realicen este tipo análisis.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1 Ubicación geográfica del área de estudio**

El área de estudio se encuentra ubicada en el Municipio Autónomo Gran Sabana, al Sur del Estado Bolívar, dentro del dominio geológico de la Provincia de Roraima y parte de Cuchivero, limitado por las poblaciones de Santa Elena de Uairén, Maurack, Waramasén y Pacaraima (conocida como La Línea), en la frontera con la República de Brasil, abarcando un cuadrángulo de investigación de unas 17.000 hectáreas, aproximadamente.

La Tabla 2.1 contiene la identificación de los vértices y coordenadas UTM de referencia del área en estudio.

Tabla 2.1 Coordenadas UTM de referencia del área investigada.

<b>VÉRTICE</b>	<b>COORDENADAS UTM</b>	
	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
Pacaraima (La Línea)	705.460	495.600
Maurack ( Pueblo)	701.800	506.240
Waramasén (Cantera)	687.650	503.788
Santa Elena de Uairén	709.350	509.370



Figura 2.1 Imagen de Google Earth con ubicación de muestras y área de investigación.

## 2.2 Acceso al área de estudio

Santa Elena de Uairén se ubica en el kilómetro 315 de la Troncal 10. Partiendo desde Ciudad Guayana, la distancia total entre ésta y Santa Elena de Uairén es de unos 615 kilómetros aproximadamente.

Toda la carretera está asfaltada y, en general, en buenas condiciones, por lo menos hasta la población de Pacaraima (La Línea-Brasil). El traslado por tierra hasta las poblaciones indígenas de Maurack y Waramasén, respectivamente, debe hacerse por una carretera asfaltada parcialmente, para luego continuar por una vía engrazonada y de tierra, pero en buen estado, que une las poblaciones de Santa Elena de Uairén con El Paují – Ikabarú (o Icabarú). El acceso hasta la Cantera Waramasén debe hacerse a través de una trocha o pica construida por los indígenas. Por vía aérea el acceso es total, bien por avioneta o, por helicóptero, mientras que por agua el acceso no es posible, ya que no existe en la zona corrientes fluviales que

permitan la navegación de lanchas u otros medios de transporte similares hasta los lugares de interés de la investigación.

## **2.3 Geología regional**

La zona de estudio está enmarcada geológicamente dentro de los dominios de las Provincias Geológicas de Roraima y Cuchivero, respectivamente, las cuales a continuación se proceden a describir considerando sus rasgos geomorfológicos, litológicos, geocronología y ambientes de formación más importantes, que contribuirán en la interpretación de datos y resultados de laboratorio, observaciones de campo, entre otros, que conlleven a conclusiones con basamento científico, en relación al presente estudio.

### **2.3.1 Provincia Geológica de Cuchivero**

La Provincia Geológica de Cuchivero (Ventuari-Tapajós para Tassinari y Macambira, 1999) incluye, principalmente, rocas volcánicas riolíticas y asociadas, comagmáticas con granitos calcoalcalinos de la Asociación Cuchivero (Mendoza, V. 2005, 2012); metaareniscas, metaconglomerados, metalimolitas, metatobas, etc., del Supergrupo pre-Roraima, y rocas similares sin metamorfismo del Supergrupo Roraima; sills, diques, apófisis, stocks, de rocas básicas de la Asociación Avanavero, el Granito Rapakivi de El Parguaza, y complejos alcalinos como el de La Churuata y rocas asociadas, así como también intrusiones de carbonatitas (Cerro Impacto), lamprófiro y kimberlitas eclogíticas diamantíferas de Guaniamo-Quebrada Grande (Mendoza, V. 2012).

Las provincias Imataca y Pastora, aflorantes al Este del Río Caura, están en contacto discordante y de falla, denominado Frente Tectónico Caura, con la Provincia Cuchivero, aflorante al Oeste del Río Caura, que es la zona de encuentro o choque de

estas tres provincias geológicas, con rocas, metamorfismos, tendencias estructurales, recursos minerales y edades completamente diferentes y de ambientes geotectónicos contrastantes (Mendoza V., 2005).

El Grupo Cuchivero fue definido por Ríos (1972), como compuesto de rocas volcánicas riolíticas de la Formación Caicara, de granitos, comagmáticos, biotíticos de Santa Rosalía, hornabléndicos de Guaniamito y Mendoza (1974), añadió los granitos alaskíticos de San Pedro (en Mendoza, V., op. cit.).

En general, la Provincia Cuchivero equivale o forma parte de la Provincia Ventuari-Tapajós que ocupa una porción occidental del Cratón Amazónico y está formada por una serie de arcos magmáticos de edad 1.98-1.88 Ga y que se caracteriza por un marcado trend tectónico NW-SE desde los ríos Cuchivero-Ventuari hacia el río Tapajós y consiste esencialmente de rocas granitoides calcoalcalinas (Tassinari y otros, 1999), y su basamento en el Sur del Escudo de Guayana en Venezuela son gneises tonalíticos y migmatíticos.

El Dominio Tapajós representa un complejo arreglo de asociación de rocas graníticas, volcánicas a plutónicas, formadas al parecer, durante dos eventos orogénicos, post- Transamazónicos (Santos y otros, 2004):

1. Orógeno Tapajós-Parima (2.040 Ma - 1.998 Ma), compuesto de cinco arcos magmáticos, bajo la orogénesis Mundurucús.
2. Orogenia Tropas, de 1.907 Ma - 1.877 Ma. La orogenia Mundurucús está separada de la orogenia Tropas por un período de ausencia de rocas de unos 50 Ma, aproximadamente.
3. Rocas del período post-orogénico o post-colisión (1.870 Ma - 1.760 Ma).

### 2.3.2 Provincia Geológica de Roraima

La Provincia Geológica de Roraima se extiende desde los límites del Parque Nacional Canaima, hacia el Km 95 cerca de la Piedra de la Virgen, hasta Santa Elena de Uairén en dirección NS y desde el Río Venamo hasta las proximidades del Río Paragua. Esta provincia está compuesta por rocas del Grupo Roraima con diabasas y, rocas gabronoríticas cuarcíferas a dioríticas cuarcíferas (Asociación Avanavero). El Grupo Roraima se extiende desde Tafelberg (Suriname) hasta Neblina en Amazonas, cubriendo actualmente unos 250.000 km<sup>2</sup>, aunque originalmente pudo ser del orden de 1.200.000 km<sup>2</sup> (Mendoza, V. op. cit.).

En general, Roraima carece de marcado tectonismo (sinclinales suaves muy abiertos y de muy bajo buzamiento) con algún fallamiento, incluso fallas de arrastre como en el Tepuy de Parú, frente a Kakurí, Alto Ventuari en el Estado Amazonas, relacionados a la Orogenia Nickeriana y de levantamientos epirogénicos. Briceño y otros (1989), concluyen que los tepuyes son el producto de inversión topográfica remanentes de sinclinales de ejes con inclinación en ambas direcciones y las áreas bajas alrededor de los tepuyes corresponden a erosionados anticlinales.

Las rocas del Grupo Roraima no muestran metamorfismo regional. Solo manifiestan metamorfismo de contacto (andalucita) con granitos intrusivos, post-1.450 Ma, y de rocas máficas de la Asociación Avanavero; aunque Urbani (1975) postuló un metamorfismo de carga (pirofilita) en algunas localidades del Alto Caura posiblemente donde el Grupo Roraima alcanzó otros 3.000 m adicionales de sedimentos actualmente erosionados.

Reid (1974), dividió el Grupo Roraima en el área de Santa Elena de Uairén en cuatro formaciones, que de la más antigua a más joven, son: Uairén, Kukenán, Uaimapué y Matauí.

Siguiendo a Reid (op. cit.), la Formación Uairén aflora en y cerca de la ciudad del mismo nombre al final de la Gran Sabana y presenta un espesor de unos 800 a 900 m. Su contacto inferior es discordante sobre tobas meteorizadas del tipo Formación Caicara, pertenecientes a la Formación Pacaraima que se extiende hacia Brasil en esa región.

Según Dohrenwend y otros (1995) la Formación Uairén se divide en dos miembros, a saber:

1. Miembro Inferior de unos 600 m de espesor, compuesto de areniscas cuarcíticas de grano grueso, bien escogidas, con estratificación cruzada y festoneada, intercaladas con lentes conglomeráticos de matriz silícea y con escasa limolitas arcillosas.
2. Miembro Superior, de unos 100-300 m de espesor, formado por areniscas cuarcíferas de grano medio, con abundante estratificación cruzada y escasos conglomerados intercalados.

En la carretera de tierra que conduce hacia Paraitepui - El Paují, en el sector denominado por los lugareños La Curva, se logró observar bien expuestos, conglomerados diamictíticos, con gran cantidad de arcilla en la matriz y fragmentos de cuarzo de diferentes tamaños, afectados por intenso cizallamiento y rellenos con vetillas de cuarzo recristalizado (Gómez M. 2015, com. pers.).

Conglomerados de peñones de tamaño medio a gigante, se localizan en la base del Miembro Superior de la Formación Uairén, y yacen sobre importantes superficies de erosión, que se produjeron por levantamientos importantes, o bien, por cambios

climáticos dramáticos al final de la depositación del Miembro Inferior de la citada formación geológica (C.V.G. Técnica Minera -Tecmín C.A., 1989).

Concordante y suprayacente a la Formación Uairén, aflora la Formación Kukenán, de un espesor máximo de 100 m, integrada por paquetes alternantes, compuesto cada uno de tope a base de areniscas feldespáticas, limolitas feldespáticas y lutitas o arcillitas (Reid, 1974, en Mendoza, 2012).

En concordancia y encima de la Formación Kukenán suprayace la Formación Uaimapué, con un espesor máximo de 250 m, que puede ser separada en dos miembros: a) Inferior: similar litológicamente a la Formación Uairén, constituido por areniscas de grano fino a grueso, con estratificación cruzada, y conglomerados, intercalados con delgadas capas de limolitas y arcillitas, y b) Superior: formado por arcosas, jaspes, limolitas y tobas vítreas de colores rojizos, verdes, crema-amarillentos y grises. Las tobas vítreas han sido tomadas como capas guías dentro de la estratigrafía del Grupo Roraima y datadas extensamente en Suriname, Guyana y Venezuela (Reid, op. cit.).

Salazar (2009), realiza en la zona de la quebrada Agua Fría, Quebrada del Jaspe (Kakó Parú) y cerro Azapeta, al Sur del río Kukenán, una caracterización geológica-estratigráfica de la Formación Uaimapué, y propone tres unidades geológicas para la conformación de la citada formación en la mencionada zona que, en el cerro Azapeta de base a tope son: Miembro Azapeta (Inferior), Miembro Kako Parú (Medio) y en la parte superior o tope, Miembro Agua Fría.

Concordante y suprayacente a la Formación Uaimapué, aflora la Formación Matauí, que es la unidad más joven del Grupo Roraima y ocupa gran parte de los elevados y verticales tepuyes, formados por ortocuarzitas (cuarzoareniscas) sedimentarias y areniscas cuarzo-feldespáticas con estratificación cruzada, marcas de

oleaje, y areniscas masivas, con algunos horizontes muy delgados de areniscas arcillosas o lutíticas. El espesor de esta formación puede ser mayor a los 1.000 m.

Cabe destacar que distintos autores, e investigadores de la zona, nunca han podido encontrar la Formación Kukenán de Reid. Además, es bastante difícil su ubicación ya que Reid no describe la sección tipo con su localización de acuerdo a las normas geológicas.

## **2.4 Características físicas y naturales del área de estudio**

### **2.4.1 Hidrografía**

El área de interés se encuentra ocupada en su totalidad por la cuenca del río Kukenán, tributario del río Caroní. Aunque sería más exacto afirmar que el río Kukenán junto con el río Aponwao, conforman la naciente del río Caroní.

Cuenca del río Kukenán. Esta se caracteriza por presentar un patrón de drenaje dendrítico con formas rectangulares y paralelas, de densidad alta. El factor hidrográfico más importante de dicha cuenca es el río Kukenán, que nace en las estribaciones meridionales del Tepuy Roraima y posee un tramo superior caracterizado por un perfil longitudinal muy accidentado, con numerosos rápidos y saltos de agua. Asimismo, presenta una orientación sur franca, debido al control de diaclasas, y un gradiente de superficie regional alto, motivo por el cual no ocurren depósitos aluviales, desplazando sus aguas sobre rocas.

El río Uairén: es uno de sus afluentes principales. Su cuenca de captación se halla sobre rocas meta - volcánicas de la Formación Pacaraima (equivalente a las Volcánicas de Caicara del Grupo Cuchivero) y su canal de desagüe, luego de cruzar

el dique de diabasa de Santa Elena de Uairén, corre sobre rocas de la Provincia de Roraima.

Otra corriente de agua, afluente o tributario del río Uairén por su margen derecha es el río Sampoy, el cual tiene sus nacientes al SE de Santa Elena de Uairén. Escurre sus aguas a través de rocas de las formaciones geológicas Uairén y Uaimapué del Grupo Roraima, rocas máficas de la Asociación Avanavero y rocas piroclásticas de la Formación Pacaraima (equivalente a Volcánicas de Caicara del Grupo Cuchivero).

El río Surukún es otro afluente principal del río Kukenán. Su cuenca de captación se encuentra ubicada hacia el SW de la zona estudiada, sobre rocas metavolcánicas de la Provincia de Cuchivero. El tramo superior de este río se caracteriza por presentar una orientación Norte franca, cuya particularidad es muy posible que se deba a un control estructural, mientras que los tramos medio e inferior se orientan con rumbo marcadamente Oeste hasta su confluencia con el río Kukenán, debido también, muy probablemente, a controles estructural.

#### **2.4.2 Drenaje**

El movimiento de las aguas en esta zona está asociado con la geología, el suelo, la vegetación, y la geomorfología de los paisajes y relieves. En virtud de lo expuesto, la zona presenta en forma general un buen drenaje; sin embargo, este se torna algo excesivo en las áreas muy accidentadas tales como paisajes de piedemonte, montaña y altiplanicie. Localmente, se hace restringido hacia las áreas planas adyacentes a los cursos de agua. Esto es observable en la cuenca del río Uairén, en las zonas de Maurack hasta Santa Elena de Uairén. El patrón de drenaje es predominantemente dendrítico (Gómez, M. op. cit.).

### 2.4.3 Clima

El área de estudio fue clasificada según las metodologías de Köppen y Holdridgen, predominando un clima lluvioso de selva (af) el cual se caracteriza por recibir una alta pluviosidad. Durante todos los meses del año la precipitación es superior a los 60 mm, registrándose el valor máximo en Junio y el mínimo en el lapso de Enero a Marzo.

Los valores térmicos regionales están influenciados de manera determinante por la altitud. A mayor elevación las temperaturas son menores y las áreas más bajas corresponden a los térmicos más altos. Así se tiene que los menores valores de temperatura (21°C), se observan en los sectores de mayor altitud como el cerro de Chiricay en Arumón Tepuy y Sierra del Sol (18°C). La mínima térmica (24°C) corresponde a las zonas de menor elevación como el valle de los ríos de Uairén y Uaiparú. El valor promedio temperatura anual en el área, es de 22°C, con una precipitación promedio anual de 203 mm (1 mm equivale a 1 lt/m<sup>2</sup>) (INAMEH, 2013).

En el área se recibe una radiación promedio anual de 450 cal / cm<sup>2</sup> por día y una insolación media de 6,4 horas. Se estima que la humedad relativa alcanza valores de un 80 %. El régimen de vientos se encuentra bajo la influencia de los alisios y los efectos orográficos locales. De acuerdo con los datos de la estación Santa Elena de Uairén, la velocidad del viento es de 5,6 km / h con dirección prevaleciente ENE y SSE (Gómez ,M. 2013).

El comportamiento anual de la insolación y la radiación, también refleja la ocurrencia de un régimen bimodal, en el cual los valores máximos coinciden con las épocas de equinoccios y los valores más bajos en Diciembre y Junio, época de solsticio de invierno y verano respectivamente; las mayores velocidades del viento

ocurren en la época de menor pluviosidad (Febrero y Marzo), período en que la humedad relativa es mínima. En los meses de Junio y Julio las mayores lluvias, tienen un máximo de humedad relativa y disminuyen los valores del viento (C.V.G. Tecmín C.A. 1989).

Aunque cabe destacar que el fenómeno denominado El Niño y La Niña, respectivamente, han tenido gran influencia al respecto.

#### **2.4.4 Vegetación**

El bioclima ombrófilo submesotérmico del área presenta una variada gama de formaciones vegetales asociadas a características muy particulares del medio físico natural (C.V.G. Tecmín C.A., 1989).

La vegetación boscosa presenta un carácter siempre verde, al igual que las extensas formaciones herbáceas y arbustivas, debido a la constante pluviosidad. Los bosques son de tamaño variable, de medio (15 a 20 m) a bajo (menos de 15 m), con densidad de cobertura variable. Este tipo de vegetación es común en aquellas áreas afectadas por intrusiones de rocas máficas (gabros o diabasas de la Asociación Avanavero) (Gómez, M., op. cit.).

Otro tipo de formación arbórea de relativa importancia lo constituye el bosque de galería, que se encuentra formando una asociación edáfica-hídrica, y está asociada a diferentes tipos de sabana; además, es frecuente encontrar largos morichales, los cuales ocupan al igual que los bosques de galería, paisajes de valles en condición de inundación permanente.

Debido a condiciones naturales y al uso inadecuado de los bosques, éstos han degenerado en formaciones herbáceas y arbustivas, tanto por su extensión, como por su papel productor de oxígeno en este medio.

#### **2.4.5 Suelo**

El área está representada por suelos de bajo grado a alto grado de evolución pedogenética y de origen residual que muestran una estrecha relación con el substrato litológico, los tipos de relieve y los diferentes paisajes presentes en el área. La mayor parte de estos suelos se encuentran asociados a grandes extensiones de afloramientos rocosos.

En la zona de trabajo, los suelos son el producto de la meteorización química y mecánica de las rocas de las provincias geológicas de Cuchivero y Roraima, respectivamente.

##### **2.4.5.1 Ultisoles**

Se caracterizan por ser suelos moderadamente profundos, de color marrón claro a oscuro en la superficie y en profundidad son amarillos a rojo y gris. Las texturas en superficie son franco arcillosas a arcillosas mientras que en profundidad son predominantemente arcillosas, mezcladas lateralmente con contenidos variables de fragmentos gruesos, tales como grava, guijarros de cuarzo, nódulos de hierro y manganeso (USDA, 2014.).

En la zona se desarrollan sobre rocas pertenecientes a las Provincias de Roraima y Cuchivero, respectivamente; sin embargo, localmente estos suelos también se desarrollan a partir de materiales transportados más recientes (Gómez, M., op. cit).

##### **2.4.5.2 Entisoles**

Generalmente es uno de los suelos más comunes del área, ocurren en diferentes ámbitos bioclimáticos, geomorfológicos y geológicos distribuidos fundamentalmente dentro del paisaje de altiplanicie, piedemonte, lomas, montañas y peniplanicies. Estos suelos se han desarrollado a partir de rocas pertenecientes a las Provincias Geológicas de Roraima y ácidas de Cuchivero. Son suelos de poco desarrollo, de color marrón a marrón amarillento, con un amplio rango de variación en profundidad. Poseen baja capacidad de retención de humedad, permeabilidad moderada y la calidad de drenaje es algo excesivo. Esto último debido a su conformación textural que, en este caso, ha tenido lugar a partir de la meteorización de rocas ácidas de la Formación Pacaraima y sedimentarias de Roraima. Un ejemplo de este tipo de suelo es fácilmente observable en la vía Santa Elena de Uairén –Pacaraima (Brasil) (C.V.G. Tecmín C.A., 1989.).

#### **2.4.5.3 Inceptisoles**

Ocurren con menor frecuencia dentro del área de estudio. Estos se encuentran asociados, al igual que los dos anteriores, a bosques ombrófilos, submesotérmicos, distribuidos dentro de paisajes de peniplanicies y valle, localizándose dentro de los relieves de colinas y glaciales.

Son suelos profundos de color marrón en superficie y se tornan rojizos en profundidad, presenta baja capacidad de retención de humedad, permeabilidad moderada y son bien drenados. Según Gómez, M., en la zona, los suelos agrupados en esta categoría han evolucionado a partir de rocas de la Provincia Geológica de Roraima y rocas básicas intrusivas (Dique de Santa Elena de Uairén, Kamarata, Kamoirán) de la Asociación Avanavero, en la Provincia de Cuchivero y parte basal y media del Grupo Roraima.

## 2.5 Geología Local

La geología local está representada por los rasgos litológicos, geomorfología, drenaje, suelo, mineralogía y rasgos estructurales, propios de las Provincias Geológicas de Roraima y Cuchivero, respectivamente. Sin embargo, existen variantes, ya que hacia la zona de estudio los valores térmicos regionales están influenciados de manera determinante por la altitud. A mayor elevación las temperaturas son menores y las áreas más bajas corresponden a los términos más altos. En este sentido, en la zona de trabajo la temperatura media anual es de unos 22°C (INAMEH, 2014). Las lluvias han originado depósitos caoliníticos en las cercanías de Santa Elena de Uairén y vía Ikabarú (o Icabarú), producto de hidrólisis de las areniscas feldespáticas o arcósicas de la Formación Uairén.

Las arenas conglomeráticas de grano grueso de la Formación Uairén, son prospectivas para oro y diamante. Oro recristalizado tipo cochano, fue observado en Zapata (Ikabarú) y, diamante de considerable tamaño y pureza en la zona de El Polaco, cerca de Paraitepui-El Paují, vía Icabarú (Gómez, M., op. cit.).

Para estos diamantes peridotíticos (Santa Elena de Uairén – El Polaco – Ikabarú- Carún) de gran calidad y tamaño, se sugiere un origen a profundidades superiores a los 250 km en el manto terrestre (nivel de Astenósfera), a diferencia de los diamantes eclogíticos de Guaniamo a los cuales se les atribuye una profundidad de formación en el manto litosférico, cercano a la línea isograda del grafito (unos 1.000 °C). (Mendoza, V. 2012).

Los cambios litológicos están representados por las rocas de la Formación Pacaraima, considerada por Mendoza, V. (1975), como equivalente a las Volcánicas de Caicara, la cual es evidente en las zonas de Pacaraima, Waramasén y Maurack. Tales rocas en ocasiones presentan una textura imbricada o ignimbrítica, típico de las

tobas soldadas o de cenizas. Sin embargo, en la zona de estudio, tal textura (ignimbrítica) no fue observada; aunque si hay presencia de tobas con muy poco vidrio, algo líticas, de flujo (cerca del puente sobre el río Uairén, vía Maurack), y muy alteradas, con textura esquistos, brillo sedoso y de color verde pálido-amarillo en la vía de tierra hacia el poblado indígena de Waramasén (Gómez, M. op. cit.).

En la región de La Gran Sabana, hacia la parte Sur, Surinam, Brasil, El Polaco y parte Oeste de Ikabarú, etc., las rocas del Grupo Roraima tienen como basamento a las volcánicas ácidas de la Formación Pacaraima, por lo tanto el contacto es discordante (nonconformity).

En la zona de estudio no hay presencia de los grandes tepuys, típicos de La Gran Sabana. Como aspecto más resaltante que ha condicionado la evolución del relieve, se presenta una marcada y contrastante diferencia litológica, conformada en la zona de estudio por rocas volcánicas del Grupo Cuchivero, sedimentarias del Grupo Roraima y básicas intrusivas de la Asociación Avanavero.

Los paisajes de altiplanicies en esta región, son producto del control estructural que ejercen las rocas sedimentarias sobre el modelado del relieve, especialmente, areniscas conglomeráticas, areniscas cuarzosas de grano fino, arcosas, volcanoclásticas, tobas vítreas y limolitas; las cuales, por su condición estratificada controlan el desarrollo de mesas, cuevas y hog's backs o espinazos de pescado, como tipos de relieves más característicos que constituyen la expresión fisiográfica típica de la región (Yáñez, P.G., 1992).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Referencias del estudio realizado**

El Grupo Roraima y Grupo Cuchivero han sido investigados regionalmente por distintos autores, sin describir y analizar detalladamente parámetros importantes presentes en la zona de estudio; lo cual ha traído como consecuencia contradicciones entre las edades establecidas para el Grupo Roraima y rocas de la Formación Pacaraima del Grupo Cuchivero, basamento en la zona investigada. Así como también, incongruencias en la correlación estratigráfica de ambos grupos geológicos en la zona.

Se realizó una revisión bibliográfica actualizada, de la cual se obtuvo información de gran valor, que servirá de base y orientación en el presente trabajo.

Para el desarrollo de esta investigación se tomó como referencia el estudio realizado por Gómez, M. (2013), revisión de Mendoza, V. (2012) e Informe de Avance, Hojas de Radar NB-20-15, NA-20-3 (Geología) de C.V.G. TECNICA MINERA C.A. (TECMIN).

La presente investigación está relacionada estrictamente con la geología en sus diferentes ramas científicas tales como: litología, geomorfología, litogeoquímica, etc. Así como el aparente metamorfismo de grado bajo y cataclástico, respectivamente, sufrido por las rocas de la Formación Pacaraima en las cercanías del pueblo indígena de Waramasén, mientras que, a distancias no mayor de cuatro kilómetros, en la Cantera de Waramasén, las rocas no lo presentan. Igualmente, las estructuras de flujo

piroclástico observadas en las tobas ácidas en las cercanías del puente sobre el río Uairén, vía Maurack, llama significativamente la atención.

### **3.2 Fundamentos Teóricos**

Los aspectos teóricos considerados en el presente trabajo son los estrictamente relacionados con la formación de rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias siliciclásticas y piroclásticas, su mineralogía esencial, textura, proceso de formación, modos de yacimiento y geoquímica. Así como también, los diferentes procesos que hayan tenido lugar en la posible contaminación y alteración de la litología original.

#### **3.2.1 Minerales formadores de las rocas**

Según Soto G.M.T. (2005), son dos, los grupos de minerales silicatados más importantes formadores de rocas ígneas. Los silicatos ferromagnesianos (oscuros o máficos), ricos en hierro y en magnesio, o en ambos, y normalmente con bajo contenido en sílice. En este grupo se encuentra los olivinos, piroxenos, anfíboles y biotitas. El otro grupo es el de los silicatos félsicos, o no ferromagnesianos, al cual pertenecen la moscovita, feldespatos (alcalinos y plagioclasa), feldespatoides y cuarzo.

La paragénesis de los minerales de una roca ígnea depende principalmente de la composición química del magma original. Si el magma contenía un elevado porcentaje de sílice, la roca resultante contendrá minerales ricos en sílice y cuarzo, generalmente serán de colores claros (félsicas); si por el contrario, el magma tenía un bajo porcentaje de sílice, la roca resultante contendrá minerales pobres en sílice y carecerá de cuarzo. Por lo general la roca será de color oscuro (Baamonde, J.M., 2006).

Los diferentes silicatos que constituyen las rocas ígneas cristalizan en un orden determinado, que está condicionado por la temperatura. Sin embargo, las rocas piroclásticas, aún provenientes de un magma félsico o ácido, pueden contaminarse con material de distinta génesis proveniente de rocas máficas preexistente.

Los ferromagnesianos, denominados así por su alto contenido en hierro y magnesio (olivino, piroxeno, anfíboles, biotita), debido a su composición, son minerales de colores más oscuros y de densidad mayor a la del Bromoformo ( $2,89 \text{ gr/cm}^3$ ). Forman una serie de cristalización discontinua y cristalizan en un rango de temperaturas altas.

Las plagioclasas, forman una serie de cristalización continua entre la anortita y la albita. Cristalizando en un intervalo de temperaturas altas-medias (W.S. Mackenzie, 1988).

Silicatos no ferromagnesianos (cuarzo, moscovita y ortosa), son los minerales que cristalizan a menor temperatura. Estos minerales contienen una mayor proporción de aluminio (Al), potasio (K), calcio (Ca) y sodio (Na), que de hierro y magnesio (W.S. MacKenzie and C. Guilford, 1988).

### **3.2.2 Teoría sobre las rocas ígneas**

Se define como roca, un material constitutivo de la corteza terrestre formado, en general por una asociación de minerales, que presenta una cierta homogeneidad estadística; normalmente dura y coherente, pero a veces plástica o móvil. La clasificación es compleja, sin embargo, suele clasificárseles en sedimentarias, ígneas y metamórficas (PDVSA, Intevp. 1999).

En vista que el presente estudio involucra tipos de rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias (silicilásticas) y piroclásticas, son éstas dos últimas las que se describirán aquí con mayor detalle.

### **3.2.3 Rocas ígneas**

(Del latín *igneus*) o magmáticas, se forman a partir de la solidificación de un fundido silicatado o magma. La solidificación del magma y su consiguiente cristalización puede tener lugar en el interior de la corteza, tanto en zonas profundas como superficiales, o sobre la superficie exterior de ésta. Las rocas plutónicas o plutonitas (en sentido estricto), se han formado por cristalización del magma en una zona profunda en el interior de la corteza terrestre, y pueden haberse emplazado en ésta bien sea como: diques, sills, lacolitos, lopolitos, stock, batolitos, etc. (este último, de mayor extensión y tamaño que los anteriores). (Figura 3.1).

Si la solidificación magmática se produce cerca de la superficie de la tierra, de una manera relativamente rápida y el magma rellena pequeños depósitos (p.ej. diques, filones, sills, lacolitos, etc.); a las rocas así formadas se las denomina subvolcánicas o hipoabisales. Estas rocas también reciben el nombre de rocas filonianas, ya que habitualmente están rellenoando grietas o filones.

Según Heinrich, E.W.M. (1972), también las rocas ígneas o magmáticas, pueden formarse por consolidación del magma en la superficie o muy cerca de ésta, llamándoseles en este caso rocas volcánicas, eruptivas, efusivas o extrusivas. Su composición es idéntica de las plutónicas, por lo cual su clasificación es similar, mas no su textura la cual se basa en los parámetros físicos que las condicionan en sus medios (internos y externos)

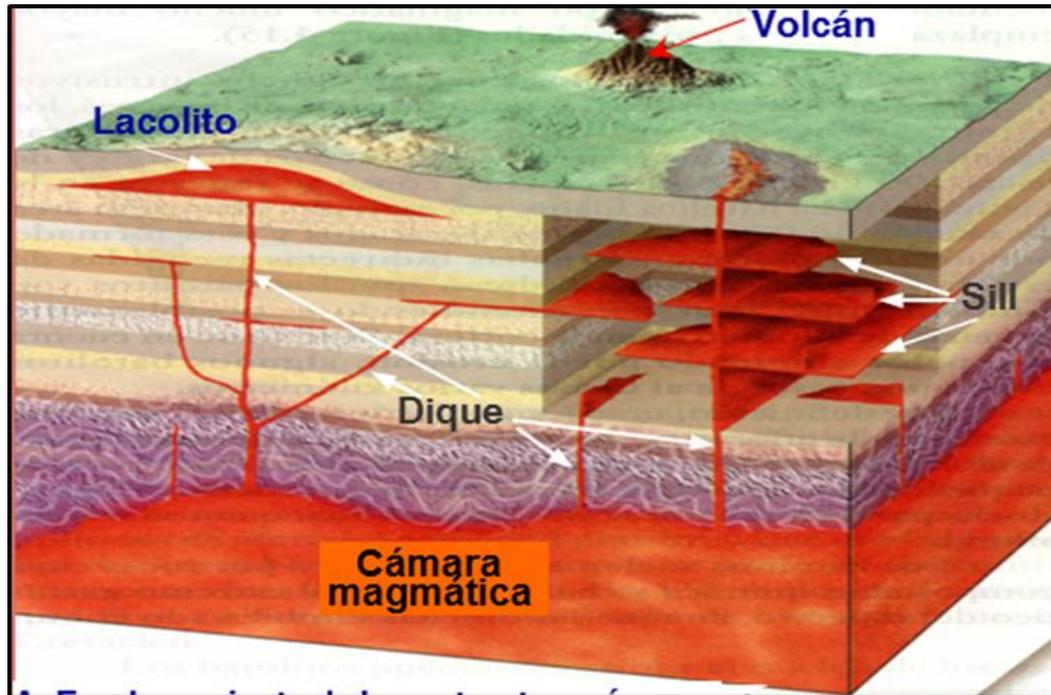


Figura 3.1 Emplazamiento de las estructuras ígneas (Tarbuck y Lutgens 2005).

### 3.2.3.1 Texturas de las rocas ígneas

La textura de las rocas ígneas se define según su grado de cristalinidad, tamaño y distribución de los cristales. Se tiene entonces que la cristalinidad se refiere al grado de cristalización alcanzado por un magma durante su enfriamiento para convertirse en roca. De tal manera que, son rocas holohialinas (holovítreas) aquellas que están formadas en más de un 90% por vidrio volcánico (p. ej. Pumitas, obsidianas, taquilas). Son hipohialinas o hipocristalinas, las rocas que están compuestas en parte por vidrio y en parte por cristales, sin que ninguno de estos dos componentes supere el 90% del volumen total. Holocristalinas, son rocas que están compuestas por más del 90% en volumen de cristales, lo que suele ser característico de las rocas plutónicas (p.ej. granitos, dioritas, anortositas, sienitas, etc.).

En relación al tamaño de los cristales de una roca ígnea, se pueden establecer dos tipos texturales comunes. Así, son faneríticas, aquellas rocas en la que los cristales pueden reconocerse a simple vista. Este tipo de textura se da en rocas que han sufrido un proceso lento de enfriamiento, es decir que han perdido calor de una forma gradual y lenta. Es típica de rocas intrusivas (plutónicas). La Tabla 3.1 expone la textura de las rocas ígneas en base a su granularidad. La textura afanítica (el prefijo *a-* indica negación, *a phaneros* - no visible), se presenta en aquellas rocas en la que los cristales no pueden reconocerse a simple vista y es necesario una lupa o un microscopio. Una textura afanítica siempre indica que el proceso de enfriamiento se produjo de forma más o menos rápida. Esta textura es típica de rocas volcánicas y subvolcánicas. De hecho, las aplitas son generalmente rocas de composición similar a la del granito, pero con textura de grano fino. Todo lo contrario es la pegmatita, la cual es un tipo de roca granítica con textura de grano grueso a extragrueso.

Tabla 3.1 Textura de las rocas ígneas en base a su granularidad.

<b>Tipo de grano</b>	<b>Tamaño de los granos (mm) (<math>\Phi</math>) = Diámetro</b>
Grueso	$\Phi \geq 5$
Medio	$5 > \Phi \geq 1$
Fino	$\Phi < 1$ (pero son distinguibles a simple vista)
Afanítico	$\Phi < 1$ (no distinguible a simple vista)

De acuerdo a la distribución de tamaños de los cristales, la textura en las rocas ígneas puede ser: a) Equigranular, si el tamaño de todos los cristales es similar y, b) Inequigranular, cuando en la roca existe una distribución de tamaños de grano muy amplia. De tal modo, que si se representa el tamaño de los cristales frente a su frecuencia, se pueden distinguir varios tipos de distribuciones: a) Unimodal, cuando

la distribución es una campana de Gauss; y b) Bimodal, cuando se pueden distinguir dos máximos dentro de la distribución.

La textura es porfídica, cuando se observa una serie de cristales de gran tamaño englobados en una matriz compuesta por granos de un tamaño sensiblemente menor. Cuando este tipo de textura es a nivel microscópico, se le denomina microporfídica y, si la matriz es vítrea, la textura es vitrofídica y la roca es un vitrófido.

En relación a la composición química y mineralógica de las rocas ígneas, puede señalarse que las mismas están compuestas fundamentalmente por silicatos, los cuales están constituidos mayoritariamente por silicio (Si) y oxígeno (O). Estos dos elementos, junto con el aluminio (Al), calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg) y hierro (Fe), constituyen más del 98% en peso de la mayoría de los magmas que, al solidificarse, forman las rocas ígneas. En virtud de lo expuesto, la composición de una roca ígnea dependerá, por tanto, de la composición inicial del magma a partir del cual se ha formado.

La composición mineralógica en una roca, la cual puede ser determinada por análisis petrográficos, es de vital importancia en el presente estudio, ya que la mineralogía de la roca permite identificar con cierto grado de seguridad, el nombre de la roca y sus distintas propiedades mineralógicas y sugerir análisis complementarios (geoquímicos, etc.).

### **3.2.3.2 Clasificación de las rocas ígneas y Diagramas de Streckeisen**

La clasificación de las rocas ígneas se realiza en función de la textura, mineralogía y de la composición química que presentan. El Diagrama de N.L. Bowen exhibe una clasificación generalizada, pero muy útil, en cuanto al orden y

temperaturas de cristalización de los principales minerales formadores de rocas, y sus magmas correlacionados (Figura 3.2).

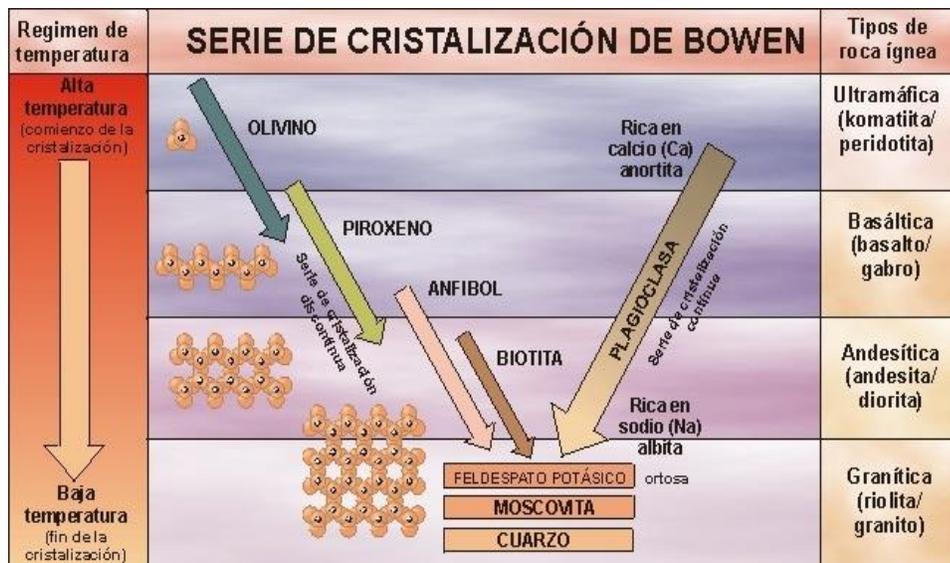


Figura 3.2 Serie de Cristalización de N.L. Bowen (Tarbuck y Lutgens, 2005).

La clasificación más utilizada actualmente para las rocas ígneas se debe a Streckeisen (1966) y la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) (1976), que establece con detalle, el paralelismo entre las correspondientes manifestaciones plutónicas y volcánicas y, además, contempla la paragénesis de los principales minerales petrográficos. Esta clasificación separa claramente las rocas ígneas en dos grupos fundamentales, según contengan cuarzo (Q) o feldespatoides (F), que son grupos minerales incompatibles en un proceso de cristalización magmática. Los triángulos (o diagramas) comúnmente utilizados, según IUGS, son también denominados Diagramas QAPF. Tales diagramas existen para rocas plutónicas y sus equivalentes de grano fino, o volcánicas.

La Figura 3.3 exhibe el Diagrama de Streckeisen APQ (con cuarzo) y APF (con feldespatoide) para rocas plutónicas y volcánicas, respectivamente, basado en la mineralogía esencial de cada especie.

También IUGS, establece triángulos de clasificación para rocas máficas, denominados Diagramas de Clasificación para rocas plutónicas gabroides, elaborados de acuerdo a las proporciones de plagioclasa, piroxeno y olivino (Figura 3.4); plagioclasa, piroxeno y hornblenda (Figura 3.5) y para rocas ultramáficas Diagrama OOC, olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno (Figura 3.6).

Cabe señalar que muchas veces la nomenclatura determinada para una roca haciendo uso del Triángulo (o Diagrama) de Streckeisen, no coincide con exactitud con su ubicación en el Diagrama TAS (Sílice Vs Álcalis Total); esto es debido a las divergencias geoquímicas y mineralógicas de la roca por contaminación o, alteraciones posteriores a su formación (metamorfismo, recristalización, migmatización, etc.).

Ha de tenerse siempre presente el tipo de roca que se está clasificando, ya que su geoquímica y su mineralogía, no siempre representa fielmente la composición del magma original de donde proviene. Por ejemplo una toba andesítica no es una andesita, sino una roca piroclástica con la composición de una andesita. Es quizás la matriz, la que represente un componente más cercano a la composición del magma original.

A continuación se exponen los Diagramas de Clasificación para rocas ígneas descritas en el párrafo anterior.

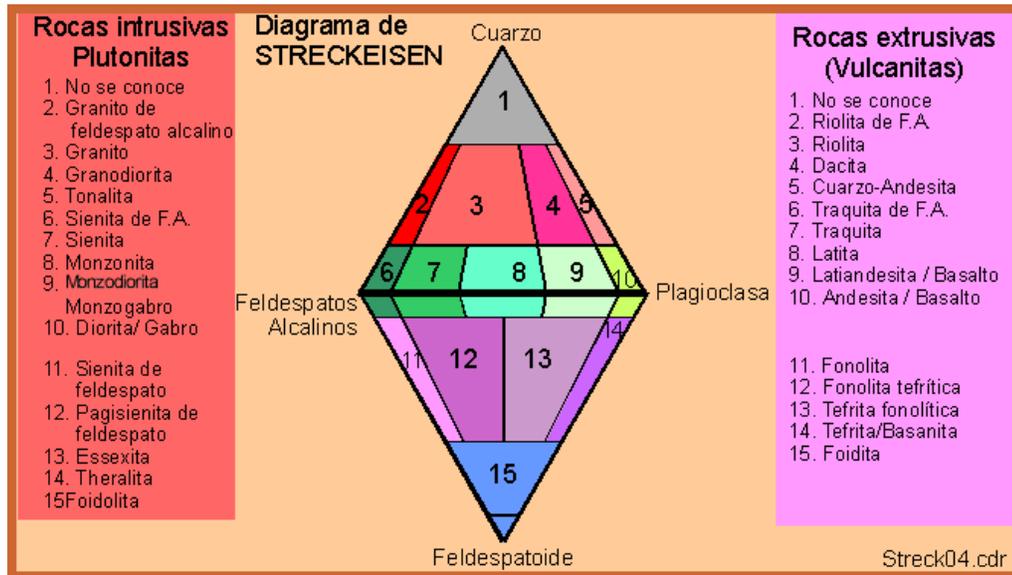


Figura 3.3 Diagrama de Streckeisen para rocas volcánicas y plutónicas, respectivamente (geovirtual2, 2017).

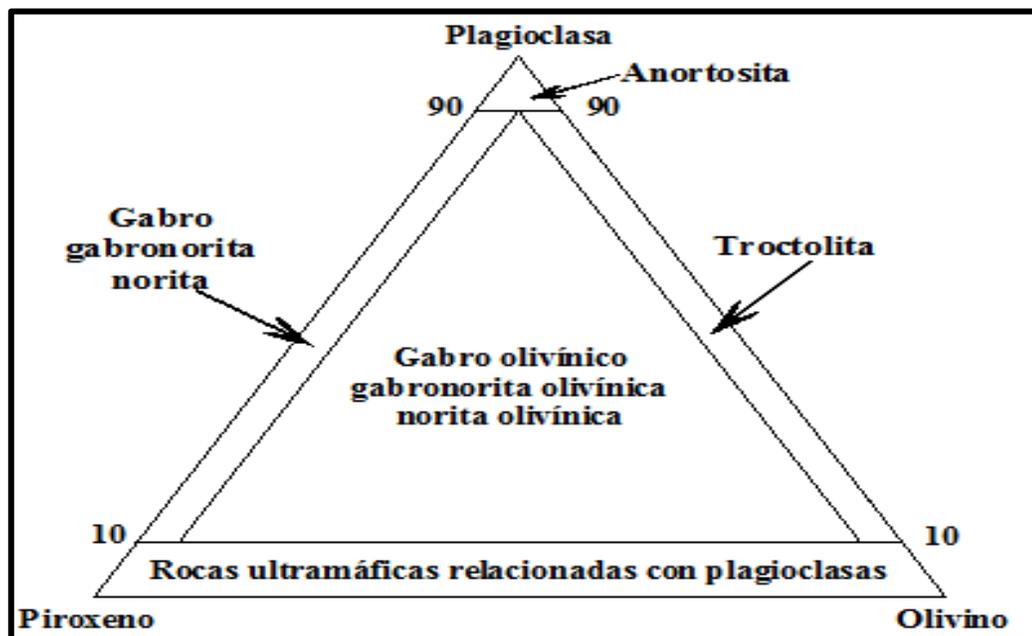


Figura 3.4 Triángulo PPO (Plagioclasa, Piroxeno, Olivino), para clasificación de rocas plutónicas gabroides (Méndez, B.J., 2006).

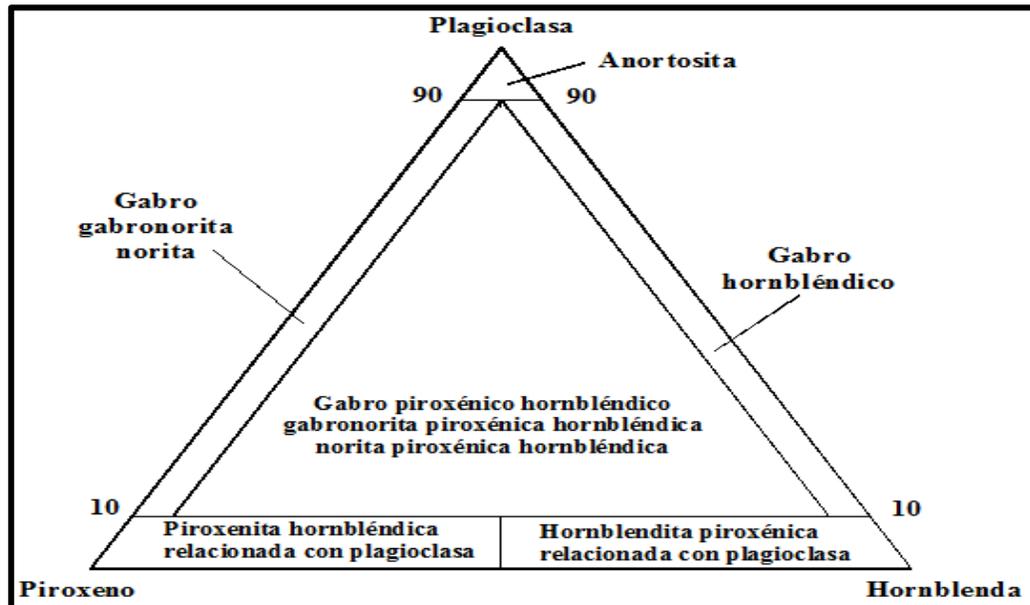


Figura 3.5 Triángulo PPH (Plagioclasa, Piroxeno, Hornblenda) para clasificación de rocas plutónicas gabroides (Méndez, B.J., op. cit.).

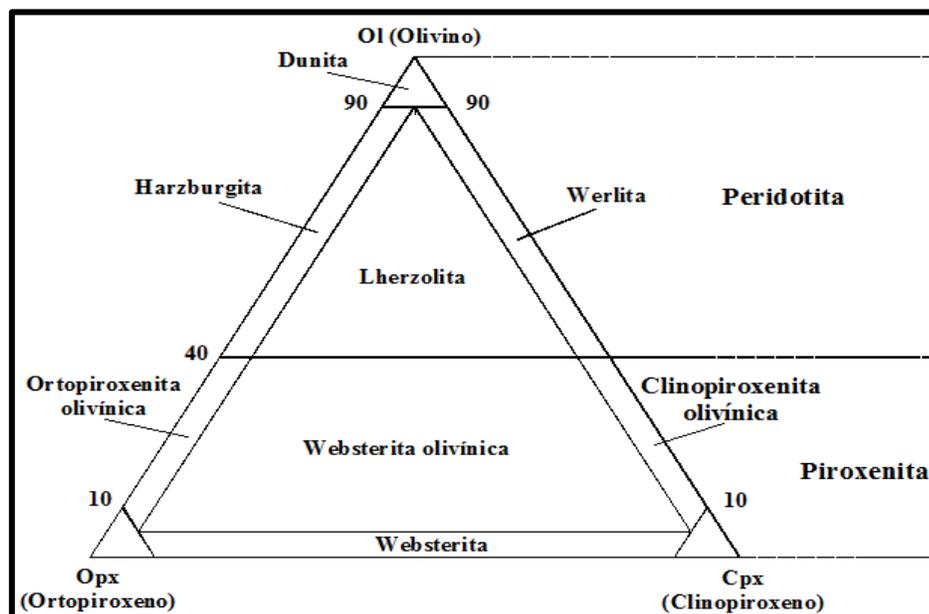


Figura 3.6 Triángulo OOC (Ortopiroxeno, Olivino, Clinopiroxeno), para clasificación de rocas ultramáficas (Le Maître, 1989).

La relación entre los feldespatos alcalinos (FA) y plagioclasas (P) presentes en la roca, completa los criterios mineralógicos de clasificación prescindiendo, a estos efectos, del cortejo de minerales máficos que también suelen estar presentes (micas, anfíboles, piroxenos, olivino, óxidos, apatito, esfena, circón, granate, etc.).

Streckeisen (op. cit.), simplifica su clasificación al representar las distintas rocas en un diagrama que, por sus criterios mineralógicos, se conoce con el nombre de diagrama QAPF.

Tabla 3.2 Clasificación de las rocas ígneas en función de la textura y el Índice de Color.

Clasificación	% Máficos (I.C.)	EJEMPLOS	
		Grano grueso)	Grano fino
Leucocrático	5 – 35	Granitos, granodioritas, tonalitas	Riolita, riodacitas, dacitas
Mesocrático	35 - 65	Dioritas, monzonitas	Andesitas, latita
Melanocrático	65 - 90	Gabros, anortositas	Basaltos
Ultramáfico	90 - 100	Dunita, peridotitas, piroxenitas, hornblenditas	Komatitas

En la Figura 3.3 se observa el diagrama “QAPF” para rocas ígneas intrusivas (volcánicas y plutónicas, respectivamente). Cuarzo (Q), feldespato alcalino (A), plagioclasa (P). APF, para rocas sin cuarzo, pero con feldespatoide (F).

Desde el punto de vista de su composición mineralógica, lo más característico de los granitoides es su alto contenido en cuarzo, que implica un valor del parámetro Q entre 20 y 60%. Los feldespatos son también componentes mayoritarios de estas rocas, y suelen ser plagioclasa sódica (oligoclasa o albita) y/o feldespato potásico, generalmente ortoclasa y/o microclina o pertita. Además, es frecuente que contengan

biotita y/o anfíbol, y en ocasiones moscovita (granitos de dos micas); desapareciendo la moscovita, si la roca es afectada por metamorfismo regional de grado alto (Facies Granulita).

Como minerales accesorios suelen incluir circón, apatito, y minerales metálicos entre los que predominan la magnetita, la ilmenita y la pirita. Sin embargo, cabe destacar que, granitos rapakivis de El Parguaza (Grupo Suapure, Provincia Geológica de Cuchivero), presentan minerales como: hornablenda, clinopiroxeno, y cantidades menores de circón y fayalita.

A continuación se expone en la Tabla 3.3, los parámetros para la utilización de los diagramas QAP (con cuarzo) y QAF (con feldespatoides) de Streckeisen.

Tabla 3.3 Parámetros considerados en el Diagrama de Streckeisen para clasificación de las rocas ígneas (en Méndez, B.J. 2006).

<b>PARÁMETRO</b>	<b>MINERALES CONSIDERADOS</b>
Q	Cuarzo y otros minerales de SiO <sub>2</sub>
A = F.A. Feldespato alcalino	Sanidina, feldespato potásico incluido perita y albita con menos de 5% del componente anortita
P	Plagioclasa (An >5%), scapolita
F	Feldespatoides: Leucita, calsilita, nefelina, sodalita, noseana, hauyna, cancrinita, analcima y los productos de transformación de estos minerales.

Es oportuno señalar, que los constituyentes químicos de las rocas ígneas generalmente se dividen en tres categorías de elementos que, a continuación se exponen de acuerdo a su abundancia relativa:

1. Elementos mayores (mayoritarios): Abundancia > 2% en peso.
2. Elementos menores (minoritarios): 2% < Abundancia < 0,1% en peso).
3. Elementos traza: Abundancia relativa < 0,1 % en peso.

La forma normal de reportar la abundancia de los elementos mayores y menores es en la forma de óxidos, así: SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Los elementos traza son reportados en forma de ppm (partes por millón) o, partes por billón (ppb).

1. Elementos mayores: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O.
2. Elementos menores: TiO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
3. Elementos traza: Zr, Nb, Ta, Mo, Sc, Hf, Ni, Co, Cr, Th, U, y T.R (Tierras Raras).

Los elementos tales como el Cr, Co y Ni, son minoritarios en rocas ultramáficas y como traza en las demás. No obstante lo ya señalado en párrafos anteriores, el TiO<sub>2</sub> y el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, pueden estar presente en cantidades importantes en algunas rocas (máficas de carácter tholeítico: enriquecimiento relativo en FeO<sub>t</sub> y empobrecimiento en MgO, e igual disminución en álcalis).

Las concentraciones de TiO<sub>2</sub> y de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumentan a medida que disminuye el Mg<sup>++</sup>, debido a que éstos solo se fijan en fases más tardías de la diferenciación magmática tales como magnetita titanífera, ilmenita, esfena y rutilo (para el TiO<sub>2</sub>) y en apatito (para el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

El carácter calcoalcalino o tholeítico de una roca ígnea puede ser calculado haciendo uso del Diagrama de Miyashiro (1976). Considerando un análisis químico de elementos mayoritarios incluyendo  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ , es posible ubicar la roca en el citado gráfico.

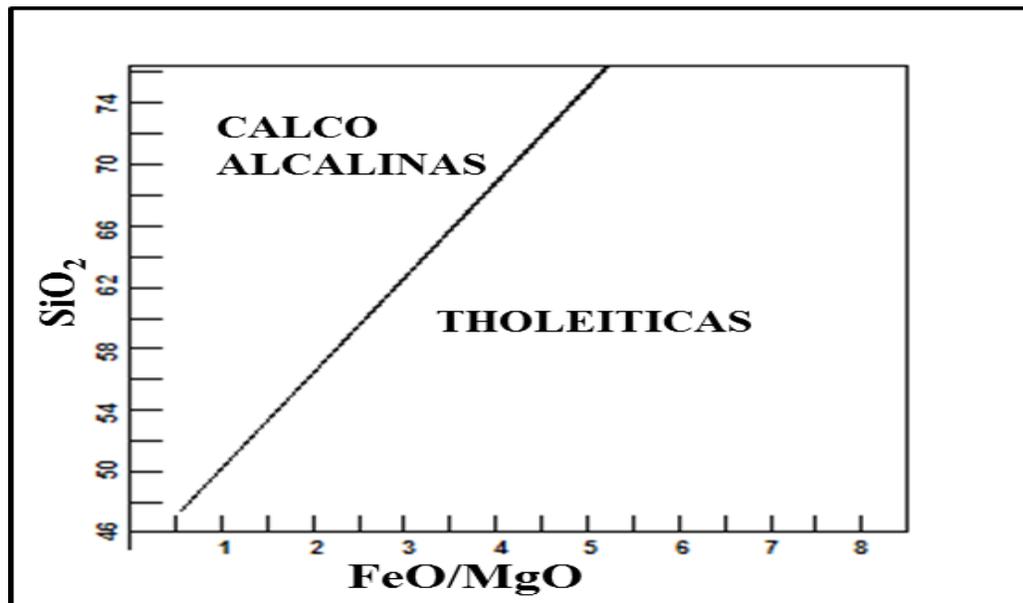


Figura 3.7 Diagrama de Miyashiro (1976), para discriminar entre rocas tholeíticas y calcoalcalinas, respectivamente.

### 3.2.3.3 Criterios de clasificación de las rocas ígneas basados en su contenido de álcalis ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

La composición de la roca en base a su contenido de álcalis y alúmina permite establecer su carácter geoquímico y su clasificación en cuanto a si es peralcalina, peraluminosa o metaluminosa, lo cual se puede determinar de la siguiente manera, en base a los siguientes criterios expresados en la Tabla 3.4.

El uso de estos criterios son de gran importancia en la identificación de posibles rocas generadoras de suelos bauxíticos o ferruginosos.

Tabla 3.4 Criterios de clasificación de las rocas en base a su contenido de sílice, álcalis y calcio.

<b>Criterios</b>	<b>Clasificación</b>
Criterio N°1: si $K_2O + Na_2O > Al_2O_3$	Peralcalina
Criterio N°2: si $Al_2O_3 > K_2O + Na_2O + CaO$	Peraluminosa
Criterio N°3: si $Al_2O_3 > K_2O + Na_2O$ pero $Al_2O_3 < K_2O + Na_2O + CaO$	Metaluminosa

### 3.2.3.4 Clasificación de las rocas volcánicas según su contenido de sílice y álcalis total

Para esto se utiliza el diagrama de TAS el cual expone y compara en una gráfica las concentraciones de los elementos de la roca ( $SiO_2$  vs  $Na_2O + K_2O$ ). El Diagrama TAS es de gran utilidad cuando la mineralogía de la roca no puede ser determinada con exactitud.

Las correlaciones entre mineralogía y composición química no siempre son perfectas, por lo tanto se debe tener muchas reservas para los nombres de las rocas derivados de diagramas como el TAS, ya que puede diferir del nombre otorgado a la roca petrográficamente. La petrografía es de gran importancia en este tipo de estudio, pero para una clasificación de la roca es recomendable, en lo posible, sea acompañada por un estudio de Difracción de Rayos X, Espectrometría de Absorción atómica, etc.

En este trabajo se realizó un análisis químico por el método de Espectrometría de Absorción Atómica a tres muestras de roca, cuyos resultados han servido de apoyo en la interpretación del estudio petrográfico y, cuyos detalles se dan a conocer en los próximos capítulos de la presente investigación.

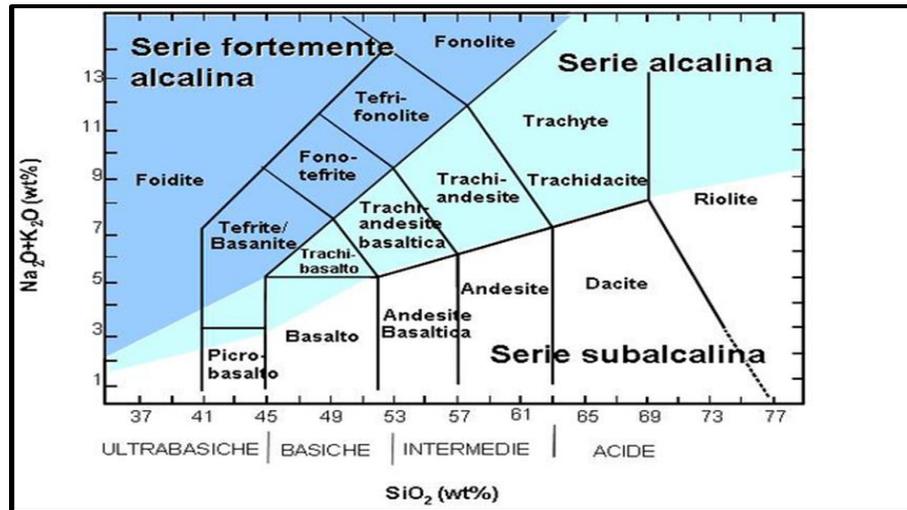


Figura 3.8 Clasificación TAS (SÍlice Versus Álcalis Total), para rocas volcánicas (INSUGEO, 2016).

### 3.3 Rocas metamórficas y el metamorfismo

El metamorfismo es un proceso de transformación mediante el cual la composición mineral, la textura o ambas, de una roca cambian creando una nueva roca por efectos de presión, temperatura y fluidos químicamente activos.

Los factores que influyen en el metamorfismo son: composición inicial de la roca, presión, temperatura, esfuerzos (indican una dirección preferencial), tiempo, reactividad química inducida por fluidos (fluido intergranular, porosidad de la roca, movimiento de los constituyentes mediante el fluido, medio de transporte). Los efectos del metamorfismo son palpables en las rocas sometidas a grandes presiones en las zonas de subducción (ej. Bordes compresivos en la Cordillera de Los Andes, zonas de fallas de corrimiento en la Provincia de Imataca, etc.).

El metamorfismo regional, se caracteriza por los siguientes efectos: miles de kilómetros cuadrados, esfuerzo diferencial, recristalización química, foliación distintiva, subducción o colisión entre fragmentos de corteza continental (pizarras,

filitas, esquistos, gneises, segmentos de corteza basáltica oceánica antigua (esquistos verdes, glaucofánicos, anfibolitas, etc.).

Las rocas metamórficas, producto del metamorfismo regional, son rocas recrystalizadas, cuyo grado metamórfico está señalado por una asociación de minerales metamórficos que han alcanzado el equilibrio en un conjunto muy particular de condiciones físicas. Lo expuesto define una facies metamórfica.

El metamorfismo regional puede ser: de bajo grado, abarcando temperaturas entre 200°C y 320°C y presiones entre 300 y 600 Megapascal (Mpa), dando por resultado rocas con minerales hidratados (minerales de la arcilla, cloritas) y liberación de H<sub>2</sub>O. Con temperatura entre unos 500°C -550°C y presiones entre 600-700 Mpa, el metamorfismo regional se considera de grado medio (Anfibolitas). El grado alto (Facies Granulita) se alcanza con una temperatura mayor a los 550°C y presiones superiores a los 700 Mpa., dando como resultado rocas con minerales anhidros (piroxenos).

Las rocas ígneas o sedimentarias, pueden transformarse en rocas metamórficas al sufrir transformaciones posteriores originadas por los cambios de temperatura, presión, humedad y por factores climáticos y químicos, etc. De forma general, se clasifican en metamórficas de alto, medio, bajo y muy bajo grado, respectivamente, afectadas por metamorfismo regional. Cataclásticas, producto del metamorfismo cataclástico o de dislocación (milonitas, brechas de falla, ultramilonitas, pseudotaquilitas, etc.). Hornfeld o cornubianitas, son rocas recrystalizadas producto del metamorfismo de contacto. Este tipo de metamorfismo es muy local, y se da en las aureolas de contacto entre el intrusivo caliente y la roca caja.

### **3.4 Generalidades sobre las rocas sedimentarias siliciclásticas y carbonatos**

Los sedimentos y las rocas sedimentarias se originan por los diversos parámetros que conforman el sistema hidrológico, atmosférico y biosférico. El origen está relacionado con los diversos procesos de meteorización (químicos y físicos), erosión, transporte de partículas y granos derivados de rocas preexistentes ígneas, metamórficas y sedimentarias, así como por el producto de precipitaciones químicas directas (caliza, yeso, sal, dolomías, cherts) y por medio de organismos (calizas biostrómicadas, biohémicas, coquinas, cretas, cherts biogénico), de minerales de carbonatos, sulfatos, fosfatos, etc. (Méndez, B.J., op. cit.).

En virtud de lo expuesto, los fragmentos, granos y partículas de rocas, constituyen el sedimento que, transportado y continuamente modificado hasta alcanzar los lugares de su depósito final, denominado ambiente sedimentario llegan, una vez litificados, a convertirse en una masa dura rocosa denominada roca sedimentaria, con particularidades que le son propias de su proceso de formación, así, poseen: un cemento natural, porosidad (en mayor o menor grado), pueden contener fósiles, una disposición en capas o estratos, y reflejan, más que ningún otro tipo de roca, los cambios paleoclimáticos y evolución de la biota a través del tiempo geológico en el planeta Tierra.

Los sedimentos y rocas sedimentarias, de acuerdo a su origen, se dividen en dos grandes grupos, a saber:

1. Clásticos: también denominados terrígenos o detríticos, formados por minerales y fragmentos de rocas preexistentes.

2. Sedimentos de origen químico y biológico: originados por precipitaciones químicas y materia orgánica (antracita, cherts de origen biológico- de plantas de sílice, diatomeas, excretos silíceos de animales).

Otras características o propiedades de las rocas sedimentarias son las siguientes:

1. Se disponen en capas o estratos que, en conjunto, se denomina estratificación. Presentan estructuras sedimentarias relacionadas con el origen y ambiente de sedimentación: estratificación cruzada, gradada, marcas de corrientes, de estrías, bioturbaciones, horadaciones, grietas por desecación (muy típicas en lodolitas).
2. Los sedimentos, antes de sufrir litificación y formar rocas sedimentarias, están sujetos a condiciones de madurez textural y química por medio del escogimiento, redondez, fraccionamiento consistente de los granos y pérdida o transformación de minerales susceptibles a las modificaciones químicas y texturales (ejemplo: feldespatos, por hidrólisis, transformados en caolín).
3. Se concibe como ambientes sedimentarios, aquellos depósitos finales de los sedimentos y de la formación de rocas sedimentarias. Los ambientes sedimentarios más comunes son: deltaicos, plataforma, y arrecifes de carbonatos, abanicos aluviales, ambientes eólicos y glaciares, línea de costa somera, litoral, ambientes marinos profundos, pelágicos, talud.
4. Los sedimentos y rocas sedimentarias constituyen los grandes reservorios de hidrocarburo y agua, así como de numerosas rocas y minerales utilizados con propósitos industriales (como ejemplo: margas y calizas utilizadas en la fabricación de cemento portland), talco como producto de alteración de

olivinos en rocas ultramáficas preexistentes, arenas y areniscas altamente cuarcíferas en la fabricación de vidrio, etc. Los sedimentos y las rocas derivadas de éstos, especialmente los carbonatos como calizas y dolomitas (carbonato calcicomagnésico), proporcionan un registro detallado de la edad y cambios en la superficie de la Tierra. Tales cambios se relacionan íntimamente con la evolución de los organismos, variaciones en los niveles del mar, eustatismo, temperatura superficial, cambios en las características físico-químicas de las aguas marinas y terrestres, períodos de glaciaciones, etc.

5. Los sedimentos y rocas sedimentarias presentes en la zona de estudio son de edad precámbrica (1.800Ma a 1.660 Ma), por lo tanto son estériles y carentes de algunas propiedades de tales especies, a saber: fósiles, bioturbaciones, horadaciones, huellas de organismos, etc.

### **3.5 Rocas Piroclásticas**

Son híbridas en relación a su génesis y proceso de formación: material volcánico (tefra), ceniza volcánica, lapilli, etc. clastos de origen volcánico, sedimentado y luego litificado, involucrando volcanismo y sedimentación. Las rocas presentes en la zona de estudio son extrusivas, piroclásticas de la Formación Pacaraima del Grupo Cuchivero. Estas rocas son clasificadas como tobas o brechas piroclásticas. El tipo presente en la zona de estudio se determinó en base al estudio petrográfico de muestras seleccionadas. Los componentes mineralógicos y químicos de estas rocas no responden fielmente a la composición del magma que los originó, ya que las mismas se han contaminado, por lo general, con material preexistente (sedimentario, ígneo, o metamórfico).

### **3.5.1 Material piroclástico o tefra**

El término tefra, es usado colectivamente para todos los materiales clásticos volcánicos. Incluye: polvo volcánico, cenizas, bombas, lapilli, escorias, pumitas y bloques. La emisión (cantidad) de tefra a través de los volcanes está estrechamente relacionada al tipo de magma involucrado en la erupción. Así, magma ácido muy viscoso, es altamente explosivo y se emite mucha tefra (ejemplo: Estratovolcanes), caso contrario para las erupciones de magmas básicos (tipo volcanes de Escudo: Mauna Loa, Islas Hawaianas.) En atención a lo expuesto por Méndez, B.J. (2006) y E.W.M. Heinrich (1974), para productos piroclásticos se tiene:

#### **3.5.1.1 Polvo volcánico**

Fragmentos minúsculos producidos durante violentas explosiones volcánica; no forman grandes acumulaciones. Su diámetro está por el orden de  $1/400$  mm (0, 0025 mm). Este material puede alcanzar grandes alturas y viajar miles de kilómetros hasta depositarse. De hecho, en los Estados Unidos de América existe material volcánico expelido por el volcán de la isla Santorini, en la erupción minoica de 1639-1616.

#### **3.5.1.2 Cenizas**

Partículas angulares de vidrio volcánico, fragmentos de lava o de cristales, de tamaño inferior a 2 mm. Tienden a acumularse rápidamente y cubrir grandes extensiones con flujos de hasta 20 metros de espesor. Los depósitos de ceniza volcánica consolidada se denominan tobas.

#### **3.5.1.3 Lapilli**

Pedazos escoriáceos de lavas solidificada cuyo tamaño oscila entre los 2 y 64 mm de diámetro. Son expulsados cerca de los cráteres en explosión y nunca a grandes

distancias. Se acumulan junto a los bloques y bombas produciendo brechas o aglomerados volcánicos.

#### **3.5.1.4 Bombas**

Masas redondeadas de magma que se enfrían rápidamente al ser expulsadas al aire. Su tamaño oscila típicamente entre 15 y 30 cm.

#### **3.5.1.5 Bloques**

Pedazos angulares del cuello volcánico, cuyo tamaño puede oscilar entre 6,4 cm y hasta 2 metros.

#### **3.5.1.6 Escoria**

Piroclasto tipo bomba de forma irregular y generalmente con vesículas.

#### **3.5.1.7 Flujos Piroclásticos**

Representan una combinación de cenizas, polvo, gases y partículas finas que se desplaza por las laderas del volcán alcanzando velocidades de hasta 200 km/h.

### **3.5.2 Tobas y brechas**

Aunque usualmente los términos toba y brecha son aplicados a las rocas sedimentarias, también pueden estar formados por la consolidación materiales piroclásticos (tobas y brechas volcánicas o tectónicas).

Se llama ceniza, por lo general, al material no consolidado; después de su consolidación (petrificación; diagénesis) se denomina toba. El material que forma la

toba, o las cenizas, puede consistir en; a) cristales expulsados desde el volcán –de ahí «tobas cristalinas», b) pequeños fragmentos de lava (menores de 4 mm.), roca sedimentaria u otro tipo de roca encajante del volcán: «tobas líticas», c) fragmentos (de 4-32 mm.) de rocas, conocidas como lapilli; «tobas lapilli», d) fragmentos de naturaleza vítrea; «tobas vítreas». En general, el término toba se limita a fragmentos de roca en donde predominan los fragmentos de menos de 2 cm. de diámetro. Tufita es un nombre adecuado para designar la mezcla clástica de material piroclástico sedimentario (Méndez, B.J. op. cit.).

Existen algunas modificaciones que actualmente se usan en la clasificación de estas rocas, tales como: Tobas brechoides, tobas de flujo, brechas tobáceas, etc.

### **3.5.2.1 Tobas vítreas**

El constituyen único y/o más abundante, son los trozos de vidrio ígneo, perteneciendo a esta categoría gran parte de las cenizas y polvo volcánico si no están alterados y recompuestos. Muchas de las tobas de esta categoría pueden ser de composición riolítica, pero también las hay dacíticas, traquíticas, andesíticas y basálticas, respectivamente.

### **3.5.2.2 Tobas cristalinas**

Están constituidas mayoritariamente por cristales intratelúricos y fragmentos de cristales que, en condiciones no explosivas, habrían dado origen a fenocristales en las lavas. Tales especies pueden ser de composición riolítica, dacítica, traquítica (puzolana: toba de composición traquítica o fonolito-leucítica, empleada en la fabricación de cemento hidráulico) andesítica y basáltica.

A continuación se presenta información muy general en relación a este tipo de roca:

### **3.5.2.3 Ignimbrita**

Éste es un grupo especial, formado como resultado de la deposición por nubes ardientes de alta temperatura constituidas por material tobáceo (incluyendo pómez, lapilli, cristales, etc.) que estaba tan caliente en el momento de la deposición que los bordes de los fragmentos tendieron a soldarse, dando lugar a rocas con un aspecto bastante diferente al de las tobas normales.

### **3.5.2.4 Tobas híbridas**

Tobas erosionadas, retransportadas y vueltas a depositar por las corrientes de agua. Contienen generalmente, materiales sedimentarios adicionales en diversas proporciones: cuarzo detrítico, arcilla o ambas cosas. En algunas tobas redepositadas, la calcita está presente como material cementante.

### **3.5.2.5 Piedra pómez**

Son rocas piroclásticas compuesta de material vítreo que se forma cuando los gases escapan a través de la lava félsica originando una roca generalmente de color gris con textura porosa o vesicular. La densidad de estas rocas es tan baja que les permite flotar en el agua.

### **3.5.2.6 Brechas Volcánicas**

Se define como roca piroclástica en la cual los fragmentos son mayores a 2 mm  
A continuación se expone triángulos de composición para rocas piroclásticas.

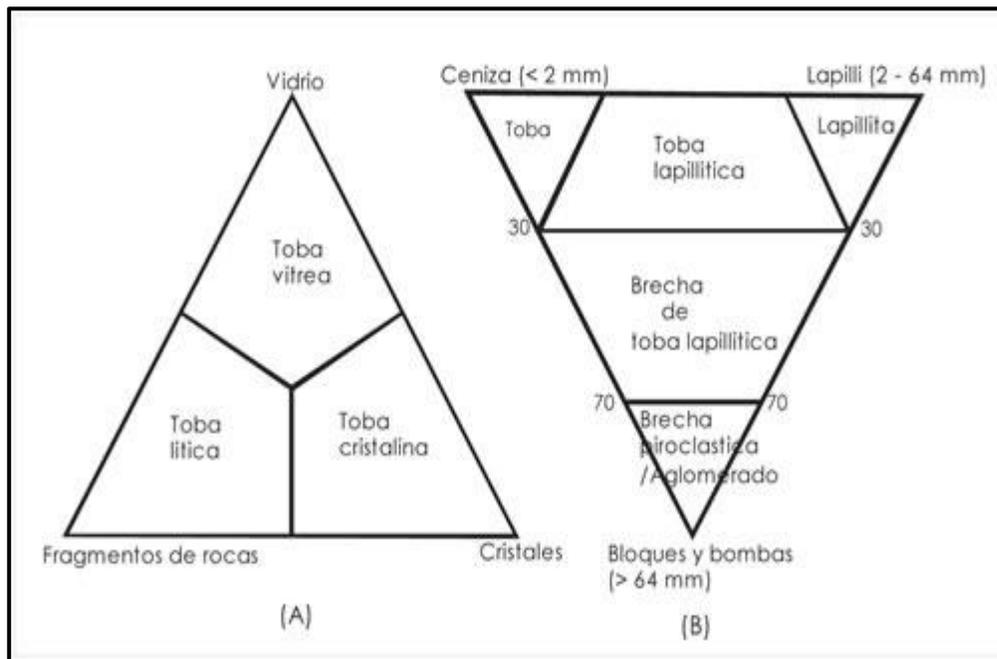


Figura 3.9 Triángulo de Clasificación en base a la composición de las rocas piroclásticas (INSUGEO, 2016).

### 3.6 Consideraciones importantes en análisis petrográfico de las rocas piroclásticas

Ha de tenerse especial cuidado al analizar petrográficamente este tipo de roca, ya que las mismas no son ígneas ni sedimentarias (detríticas o químicas). Se han formado por material clástico caliente expelido por un volcán y la tefra se ha contaminado con sedimento, fragmentos de roca, minerales, etc. preexistentes, lo cual hará que la roca no represente fielmente la composición del magma original de donde proviene. Sin embargo, analizando detalladamente la matriz, es posible obtener resultados más cercanos al magma original. También, no se debe confundir una lava con una toba. Así, una andesita representa una roca ígnea volcánica (lava) muy distinta a una toba andesítica (piroclástica).

### 3.7 Tectónica de Placas y las rocas ígneas y piroclásticas, respectivamente

En tectónica de placas, son márgenes convergentes aquellas zonas a lo largo de las cuales las placas litosféricas colisionan de manera tal, que la litósfera menos densa subduce a la litósfera de mayor densidad. Por el contrario, bordes o márgenes divergentes son aquellos donde las placas tectónicas se alejan, una en relación a otra adyacente. La subducción puede originarse entre dos placas litosféricas oceánicas, placa oceánica versus placa continental (tipo Andino) y, entre dos placas continentales (tipo Himalaya). Así, cada caso posee sus características y patrones de generación de magma, plutonismo y volcanismo. La generación de magmas, en las zonas de subducción en la corteza oceánica origina arcos volcánicos conformados por cadenas de estrato-volcanes donde las rocas eyectadas pueden pertenecer a tres series ígneas:

1. Tholeíticas que incluyen basaltos, andesitas basálticas y escasas dacitas abarcando un rango de 48-63% de  $\text{SiO}_2$ . Claramente es una serie producto de un marcado fraccionamiento enriquecido en Feo en sus etapas iniciales, pero no solo es común en márgenes convergentes de arcos insulares primitivos, sino también, en márgenes activos continentales.
2. Calco-alcaldas que incluyen basalto de alto contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , abundantes andesitas, dacitas y riolitas con un rango de 52-70 de  $\text{SiO}_2$ . Esta secuencia es la típica en los márgenes activos, tanto continentales como arcos volcánicos maduros.
3. La serie derivadas de magmas alcalinos, que incluyen series alcalinas sódicas con basaltos alcalinos, traquitas, riolitas peralcalinas y series alcalinas potásicas con latitas y fonolitas leucíticas.

Las serie subalcalina (tholeíticas y calco-alcalinos): son el tipo de rocas volcánicas más común en los continentes y las cuencas oceánicas. La serie calco-alcalina prevalece en los márgenes continentales y en los arcos de islas. La serie predomina en las dorsales oceánicas, puntos calientes, rift continentales y provincias basálticas continentales. También es posible en los márgenes convergentes y arcos de islas durante la etapa inicial de formación de tales eventos tectónicos (subducción).

La afinidad geoquímica que presenten las rocas de la Formación Pacaraima, es de gran importancia en el presente trabajo, ya que permitirá establecer, en base a este criterio, el ambiente de formación de las mismas y su posible petrogénesis.

La Figura 3.10 muestra las Series Magmáticas y las rocas ígneas volcánicas asociadas, mientras que la Figura 3.11 exhibe el modelo de la posible génesis y ambiente de formación de las rocas en el presente estudio.

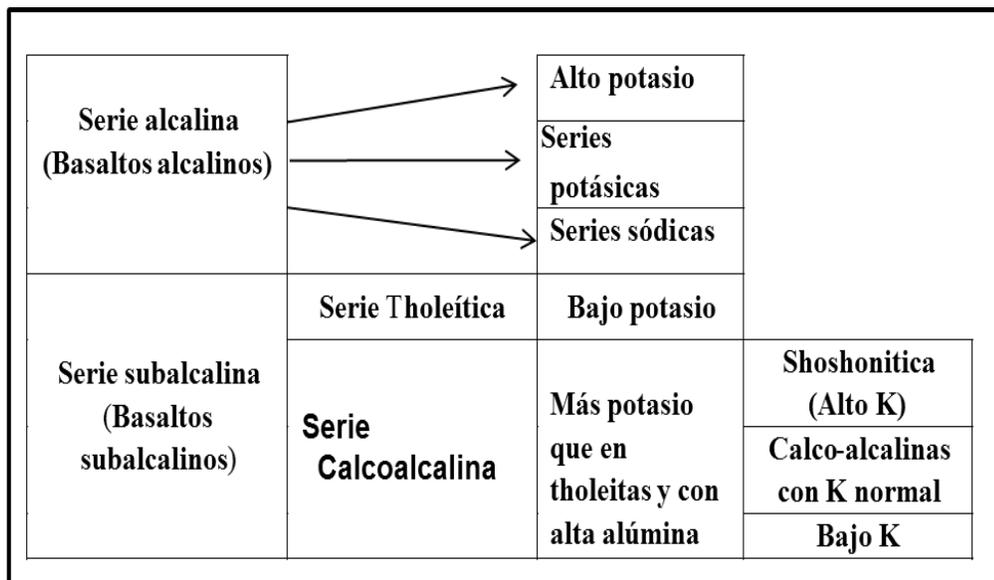


Figura 3.10 Series magmáticas y las rocas volcánicas.

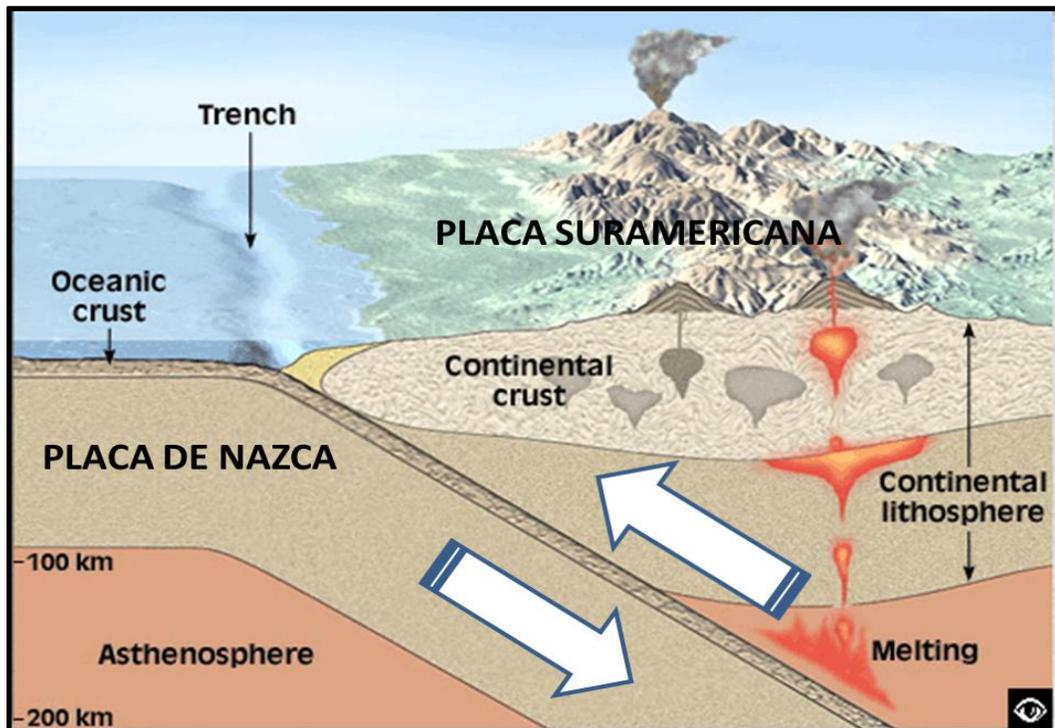


Figura 3.11 Imagen de una zona de subducción tipo Andino. Placa oceánica densa (Nazca) subductada por placa Suramericana (más liviana). (Tarbuck y Lutgens, 2006. Modif. por Gómez, M., 2017).

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **4.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación aplicada a este proyecto es de campo. Según Fidias, A., 2006, se establece que la investigación de campo es aquella que consiste en la recolección directamente de todos los datos de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variables alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental.

Siguiendo a Fidias (op. cit.) cabe destacar que, en la investigación de campo se utilizan no solo los datos obtenidos durante la fase de búsqueda de información en el terreno, sino también los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través de la investigación de campo, los esenciales para el logro de los objetivos y la solución del problema planteado.

#### **4.2 Diseño de la investigación**

Durante la primera fase de la investigación, se tiene un sistema esencialmente documental, en el cual se obtuvo los datos cartográficos y bibliográficos existentes acerca del área de estudio, relacionados con la investigación.

La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios; es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales impresas,

audiovisuales, electrónicas, etc. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

Para la segunda fase del presente trabajo, se tiene una investigación de campo, la cual se llevó a cabo en el área de Santa Elena de Uairén y zonas adyacentes, y consistió en la selección y recolección de muestras de rocas, mediciones *in situ* (ubicación con G.P.S), toma de imágenes de la zona de trabajo, y descripción de estructuras y todos los rasgos geológicos y físico-naturales relacionados con la investigación.

### **4.3 Etapas de la investigación**

La presente investigación fue ejecutada mediante cuatro (4) etapas de trabajo, a saber, a) Etapa de Oficina, b) Etapa de Campo, c) Etapa de Laboratorio, d) Procesamiento de Datos, Discusión e Interpretación de Resultados y e) Redacción de Informe Final.

En la Figura 4.1 se muestra el Flujograma de Investigación, que involucra las etapas mencionadas en el párrafo anterior y que fueron necesarias para llevar a cabo esta investigación.

#### **4.3.1 Recolección de la información bibliográfica**

Se basó en la búsqueda, recopilación y consulta de toda la información bibliográfica y cartográfica que existe del área de estudio, convirtiéndose esta en la base para la elaboración y desarrollo del proyecto.

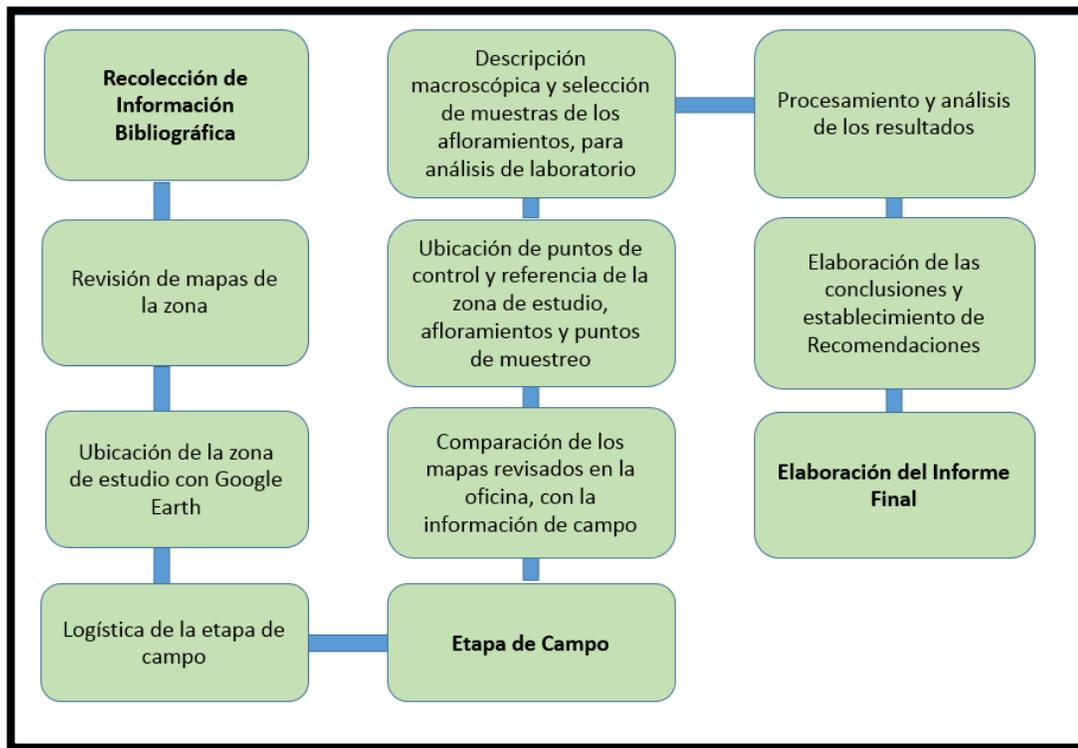


Figura 4.1 Flujograma de la Investigación.

Se hizo una selección de la información geológica actualizada que permitió discutir y discernir los puntos más resaltantes relacionados con el tema en estudio. Se consultó a profesionales de la geología con experiencia de trabajo en la zona de La Gran Sabana, Icabarú, Santa Elena de Uairén, etc., que mantuvieran relación con el tema, trabajos de grado, informes técnicos, entre otros; también imágenes de radar e Informes de Avance de la C.V.G. Tecmín C.A, relacionadas con el área de trabajo. De gran utilidad resultaron las imágenes y la ubicación general de la zona mediante la plataforma Google Earth. Para la cartografía, se utilizó la hoja cartográfica de la zona en estudio a escala 1:25.000, para posteriormente discutir y establecer la logística para el trabajo de campo.

### 4.3.2 Etapa de Campo

El trabajo de campo se realizó en tres (3) días; los necesarios para lograr los objetivos planteados y concernientes a esta etapa, donde los detalles y actividades realizadas se especifican a continuación.

Primeramente, se realizó la verificación de coordenadas UTM y geográficas de los puntos de control ubicados en los afloramientos de la Formación Pacaraima. El cual se llevó a cabo utilizando un G.P.S. MAP. 330 marca Magellan. Ya verificadas la exactitud y ajuste del GPS, se procedió a la observación y estudio en campo.



Figura 4.2 Verificación de coordenadas geográficas y UTM del afloramiento, utilizando GPS.



Figura 4.3 Ubicación de puntos de muestreo en el mapa de Cartografía Nacional.

Para la recolección de las muestras de roca fresca (no alterada) se utilizó una piqueta de geólogo y mandarina de 2 kg, con la finalidad de poder fracturar la roca y así, obtener una muestra representativa y fresca de los afloramientos en las zonas de estudio. Se observaron cuatro (4) afloramientos rocosos, los cuales todos representan rocas piroclásticas. De 20 muestras de rocas analizadas en campo macroscópicamente, se seleccionaron cuatro (4) muestras representativas, una (1) de cada afloramiento, realizándoseles análisis petrográfico a solo tres (3) de ellas en la sede del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), ya que una de las mismas (ubicada en el corte de carretera vía Waramasén) no resultó lo suficientemente consistente para realizarle el corte en sección delgada. Sin embargo, fue observada al microscopio en el laboratorio de petrografía de la Escuela de Ciencias de La Tierra (UDO) por los profesores Anna Bandini (petrógrafo de la UDO) y Miguel Gómez (asesor académico de la investigación) a través de fragmentos granulares de la roca.

En cuanto a la geoquímica, se logró pulverizar con éxito en las instalaciones de INGEOMIN parte de cada una de las muestras de cada afloramiento, para así poder realizar análisis geoquímico (Espectrometría de Absorción Atómica) en los laboratorios de la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, ya que INGEOMIN actualmente no realiza este tipo de análisis.



Figura 4.4 Obtención de muestra fresca de roca piroclástica en la vía Santa Elena de Uairén-La Línea (Pacaraima).

Una vez lograda la obtención de las muestras, se procedió a la descripción macroscópica utilizando la lupa de geólogo (con aumento 10x), con la cual se logró la identificación de minerales, textura, delgada pátina de color blanco-crema debido a la abundancia de minerales félsicos. El suelo, en la vía Santa Elena de Uairén-Pacaraima, muy poco desarrollados típico de la Gran Sabana, son de un aspecto moteado tipo *tigrato*; es una respuesta a la meteorización de rocas de composición granítica (en este caso posiblemente dacítica a riodacítica).

Ya concluida la fase de muestreo de rocas en el campo, se procedió a la preparación de las muestras seleccionadas, en este caso cuatro (4), (una muestra por cada afloramiento) para su embalaje y posterior traslado hasta la Escuela de Ciencias de la Tierra en Ciudad Bolívar para el análisis químico y al INGEOMIN, ubicado en la misma ciudad, para la preparación de secciones delgadas (sólo 3, cuyos motivos fueron ya aclarados en párrafos anteriores) y análisis petrográficos.

#### **4.3.3 Etapa de Laboratorio**

Esta etapa permitió efectuar los análisis de laboratorio previstos en la planificación de este proyecto. También realizar la ubicación de los resultados geoquímicos y petrográficos en los gráficos o diagramas respectivos, además de llevar a cabo los cálculos correspondientes para las debidas evaluaciones geoquímicas. A saber, uso de los diagramas de Streckeisen (petrografía), TAS (Sílice versus Alcalis Total) (geoquímicos), Miyasiro (geoquímica) y aplicación de criterios de clasificación de acuerdo al grado de saturación en alúmina y contenido de álcalis.

Durante esta etapa se ejecutaron las modificaciones procedentes en el mapa geológico, bajo la supervisión del asesor académico, para la elaboración del mapa geológico definitivo de este trabajo. La elaboración del mapa geológico fue realizada haciendo uso del software AutoCAD 2011, teniendo como base una parte del mapa geológico de Tecmín C.A de la hoja NB-20-15, y actualizado por Gómez M. (2013).

#### **4.3.4 Discusión de resultados y elaboración del informe final**

Esta etapa o fase de oficina permitió, después de las consultas respectivas con geólogos con experiencia y conocimiento de la zona en estudio, la elaboración del informe final de este trabajo.

#### **4.4 Población de la investigación**

La población estudiada es de tipo finita y está constituida por toda la extensión del área con los cuatro afloramientos evaluados.

La población está conformada por cuatro (4) muestras obtenidas de los cuatro (4) afloramientos de la Formación Pacaraima. Las 4 muestras seleccionadas fueron analizadas petrográficamente y, sólo a 3 se les evaluó geoquímicamente, con el propósito de obtener la información necesaria para así validar la investigación.

#### **4.5 Muestra de la investigación**

La muestra es, en esencia un subgrupo de la población. Al seleccionarla es conveniente que ésta sea representativa de la población. Pocas veces es posible medir la población por lo que se obtiene o seleccionan subgrupos que sean un reflejo fiel de la misma. En atención a esto, se enuncia lo siguiente, según Fidias, 2006 (op. cit.) “cuando no es posible medir cada uno de los individuos de la población se toma una muestra representativa de la misma”.

Según esta definición, en la presente investigación la muestra está representada por cuatro (4) especies, provenientes de los afloramientos seleccionados de la Formación Pacaraima, aflorante en el sector San Antonio vía Santa Elena de Uairén-Pacaraima (Brasil), cantera de Waramasén, sector puente sobre el río Uairén (vía Maurack) y vía Maurack-Waramasén, que fueron analizadas a través de petrografía y espectrometría de absorción atómica.

#### **4.6 Equipos e instrumentos de recolección de datos y desplazamiento en la zona de trabajo**

Para ello se requirió de los siguientes instrumentos y/o equipos que facilitaron el trabajo: Hojas 6835-IV, escala 1:25.000, de Cartografía Nacional, hoja de radar NB-20-15 a escala 1:250.000, imagen 3D de la zona (año 2016) obtenida del programa Google Earth, bolsas plásticas, libretas de campo, brújula Brunton profesional, marcadores, lupa de geólogo (aumento 10x), escalímetro, cinta métrica, mandarina, martillo de geólogo, cámara fotográfica, G.P.S. MAP. 330 (con programa WAAS incorporado), marca Magellan, termómetro digital, calculadora, computadora, monitor e impresora, software AutoCAD 2011 y Windows 2007.

Para el desplazamiento en la zona de trabajo, se contrató vehículo de doble tracción (sólo así se accede a la cantera Waramasén). Mientras que para el traslado de muestras de roca e investigadores se utilizó transporte comercial (ruta comercial Santa Elena de Uairén-Ciudad Bolívar).

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En esta oportunidad, se ha considerado conveniente realizar en primer lugar, la descripción geológica de los afloramientos observados, por sector, para luego continuar con los análisis de laboratorios e interpretación de resultados de las muestras seleccionadas, cuya ubicación y respectivas claves de identificación, se expone en la Tabla 5.1. También, como complemento gráfico, se incluye en el Apéndice A, una imagen de Google Earth con la ubicación relativa de los sectores investigados, ubicación de muestras y superficie aproximada de trabajo.

#### **5.1 Descripción de la geología del área de estudio**

##### **5.1.1 Sector Waramasén**

El sector Waramasén está ubicado en la vía Santa Elena de Uairén - El Paují, con coordenadas U.T.M. E: 691.973 y N: 504.780 de referencia.

En el área de estudio no se tiene registro ni presencia de los grandes tepuys, típicos de La Gran Sabana. Como aspecto más resaltante que ha condicionado la evolución del relieve, se presenta una marcada y contrastante litología, conformada en la zona de estudio por rocas básicas de la Asociación Avanavero intrusivas en la Formación Pacaraima y Grupo Roraima (hasta la parte media).

En la zona investigada, la geomorfología está representada predominantemente por lomas disimétricas con pendientes suaves de unos 16°-20°, además de llanuras extensas y de suave, o sin inclinación. No se observan lagos, lagunas, ni vegas. Solo

bosques de galería, y morichales que actúan como zona protectora de ciertos cauces de agua.

Macroscópicamente, estas rocas presentan textura y color completamente distinta a las observadas en Maurack y en la vía Santa Elena de Uairén-La Línea. En la zona denominada Cantera de Waramasén, se observan fragmentos de material piroclástico (tobas) de distintos tamaños (5, 10 y hasta 100 centímetros de diámetro), de color verdoso, con cuarzo, clorita, sericita, pirita y pequeñas y escasas esquirlas oscuras de vidrio volcánico. Tales rocas se han considerado perteneciente a la Formación Pacaraima de la Provincia Geológica de Cuchivero.

A unos 750 metros antes de la población de Maurack, se observa un afloramiento de rocas piroclásticas, esquistasas y cizalladas. La Figura 5.1 muestra este afloramiento, mientras que la Figura F.1 del Apéndice F, muestra el afloramiento de la Formación Pacaraima en la Cantera de Waramasén.



Figura 5.1 Afloramiento de tobas piroclásticas esquistasas muy cizalladas color verde pistacho. Vía Waramasén.

### 5.1.2 Sector Maurack

Este sector se encuentra ubicado al Suroeste de la población de Santa Elena de Uairén, a unos cinco kilómetros del desvío de la carretera de tierra vía Icabarú. El afloramiento Maurack tiene coordenadas de referencia U.T.M, N: 504.607 y E: 702.052. A unos 100 metros del puente sobre el río Uairén, cerca del balneario Maurack, con rasgos, algo difusos, se observan estructuras de flujo, lo cual pareció de interés y refleja el desplazamiento del flujo piroclástico ocurridos durante la actividad volcánicas que afectó esa región, dando lugar a las rocas piroclásticas que, discordantemente, sirvieron de basamento a las sedimentarias del Grupo Roraima.

La vegetación del área es arbórea con altura de 15 a 20 m en el bosque de galería y zona de humedad del río Uairén y, de manera diseminada y poco densa hay presencia de Merey, Manteco, Moreillo, Cucurillo y Llagrume. A medida que se avanza hacia el poblado indígena de Maurack, la vegetación es de sabana y gramíneo-arbustiva.

La geomorfología está constituida predominantemente por lomas disimétricas con pendientes suaves de unos 16°-20°. No se observan lagos, lagunas, ni vegas.

En la margen izquierda del río Uairén se presentan afloramientos de rocas volcánicas ácidas (posiblemente riolíticas a riodacíticas) con estructuras de flujo (Figuras 5.2 y 5.3) con replegamiento de rumbo NW-SE y presencia de falla sinixtral de rumbo N60°-70°W, pertenecientes a la Formación Pacaraima de la Provincia de Cuchivero. El flujo de las lavas es aproximadamente de dirección SE con foliación preferencial de rumbo S40°E.



Figura 5.2 Afloramiento con estructuras de flujo, pliegue y falla sinistral ( $N70^{\circ}W$ ). Adyacencias al puente Maurack sobre el río Uairén.

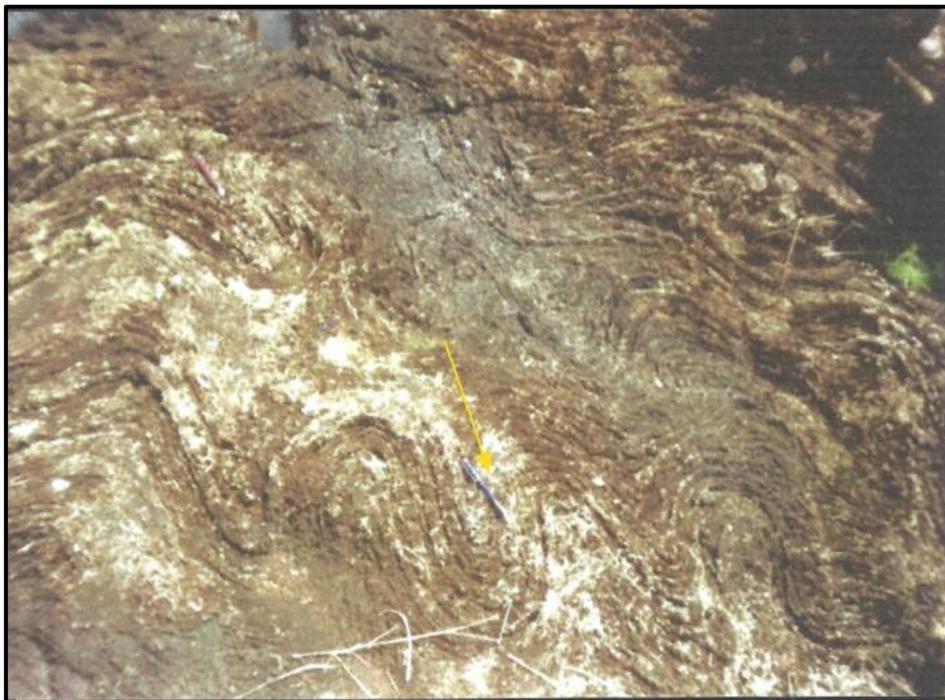


Figura 5.3 Estructuras de flujo piroclástico. Afloramiento de la Formación Pacaraima vía Maurack.

### 5.1.3 Sector Santa Elena de Uairén – La Línea (Pacaraima)

Tobas cristalinas de La Línea-Pacaraima. Las Coordenadas UTM de referencia son: E: 706.320 y N: 499.134.

La geomorfología local se presenta con un sistema de lomas de pendientes muy suaves y relieve de peneplano, mientras que la vegetación está representada por gramíneas y arbustos muy diseminados.

En la zona abundan los afloramientos, igualmente son observables bloques grandes y angulosos de rocas ácidas de posible composición riodacítica y de textura porfídica. Su meteorización origina suelos muy arcillosos de color amarillentos con pátinas rojizas, llamados *tigritos* en el léxico coloquial del geólogo, y los cuales son típicos de la meteorización tropical de rocas de composición granítica. Tales rocas han sido consideradas por autores como Mendoza (2000), como pertenecientes a la Formación Pacaraima, equivalente a las Volcánicas de Caicara, que es la parte basal y más antigua del Grupo Cuchivero.

Se tomaron muestras frescas de estos ejemplares para ser analizadas petrográfica y químicamente en la Escuela de Ciencias de la Tierra (UDO) y cuyos resultados son expuestos en el presente texto.

La Figura 5.4 muestra grandes bloques de rocas volcánicas piroclásticas en afloramiento de la Formación Pacaraima del Grupo Cuchivero. También se aprecia, al fondo de la imagen, el paisaje de lomas suaves, con vegetación gramíneo-arbustiva, típica de La Gran Sabana. La Figura F.2 del Apéndice F muestra tales rasgos con mayor detalle.

En la zona, el patrón de drenaje es dendrítico, con dirección preferencial hacia el Este, y luego cambiar de rumbo hacia el Norte en las cercanías del aeropuerto de Santa Elena de Uairén.

Cabe destacar que los suelos ubicados al Sur y adyacentes a Santa Elena de Uairén, por espacio de unos 500 metros, aproximadamente, muestran una coloración rojiza, son ferruginosos, arcillosos y con muy poco cuarzo, esto, a pesar de estar en contacto con areniscas cuarzosas de la Formación Uairén. Sin lugar a dudas, tal horizonte pedológico responde a la meteorización profunda del dique máfico de Santa Elena de Uairén, perteneciente a la Asociación Avanavero que, con un espesor todavía no definido, se extiende con un rumbo Noroeste, entre Santa Elena de Uairén y Norte de Maurack.



Figura 5.4 Afloramiento de las tobas de Santa Elena, Troncal 10, vía hacia la frontera Venezuela-Brasil.

Tabla 5.1 Ubicación geográfica e identificación de muestras analizadas.

MUESTRA	COORDENADAS U.T.M.		SECTOR
	ESTE	NORTE	
MPCW-1	687.560	503.670	Cantera Waramasén
MPVW-1	691.972	504.930	Desvío - Vía Waramasén
MPPMRC-1	702.052	504.607	Vía Maurack. A unos 10 metros del puente sobre río Uairén.
MPSEUL-1	707.043	497.980	Vía Santa Elena de Uairén-La Línea

## 5.2 Análisis petrográficos

La elaboración de las secciones delgadas para realizar los análisis petrográficos se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), los análisis petrográficos fueron realizados en el laboratorio de petrografía y mineralogía óptica de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente. A continuación se especifican los resultados de estos últimos.

### 5.2.1 Muestra MPCW-1

Al microscopio se observa gran abundancia de fragmentos de minerales y rocas con tamaños que varían desde 0,20 mm hasta 5 mm, en su mayoría de forma subhedral. Todos se presentan rotos, incompletos y la mayoría con bordes de reacción con la matriz que los rodea. La relación matriz/componentes es de 25%/75%.

El feldespato más abundante es tipo plagioclasa (25%) de composición intermedia (oligoclasa-andesina), con maclas polisintéticas y algunas combinadas con la macla de la albita. La mayoría de la plagioclasa se presenta en grupos de cristales conformando fragmentos de rocas, que aún conservan parte de la textura de la roca de la cual provienen, posiblemente textura intergranular, en la cual se puede observar algo de cuarzo anhedral (1%) entre los espacios que forman las plagioclasas.

También hay presencia de cristales de feldespato potásico en sus dos variedades: pertita (micropertita) (10%) y ortoclasa (5%), ambas en cristales generalmente subhedrales y de menor tamaño que la plagioclasa.

Todos los cristaloclastos están embebidos en una matriz microcristalina, la cual muestra en ciertas zonas una incipiente textura hialopilítica, caracterizada por microcristales o microlitos de feldespato potásico (15%) euhedrales, alargados, dispuestos sin orientación y asociados con cuarzo anhedral (5%) y vidrio (5%); ambos alojados en los espacios entre los feldespatos.

Toda la muestra (fragmentos y matriz) presenta una alteración clorítica (10%) y sericítica (10%), en microcristales alargados y orientados paralelamente formando bandas y bordeando a algunos fragmentos de rocas. Hay calcita (5%) como alteración en los cristales de plagioclasa. También se identifica escasa presencia de epidoto (1%).

Como minerales accesorios se observan microcristales euhedrales de circón (1%) y apatita (1%), ambos euhedrales y distribuidos aleatoriamente en la matriz. Igualmente, hay pequeños cristales subhedrales de minerales opacos (5%), los cuales generalmente están asociados con esfena (1%).

Tabla 5.2 Composición mineralógica de la muestra MPCW-1.

<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Recálculo al 100%</b>
Plagioclasa (intermedia)	25	29,41
K-feldespató	15	17,64
Clorita	10	11,76
Sericita	10	11,76
Cuarzo	6	7,05
Vidrio	5	5,88
Calcita	5	5,88
Opacos	5	5,88
Epidota	1	1,17
Circón	1	1,17
Esfena	1	1,17
Apatito	1	1,17
<b>Total</b>	<b>85</b>	<b>99,94</b>

La Tabla 5.3 es contentiva de la abundancia relativa de los minerales esenciales a utilizar para la ubicación de la muestra en el Diagrama de Streckeisen. También se ofrece en ella el recálculo al 100% de los parámetros APQ.

Tabla 5.3 Recálculo al 100% de los parámetros APQ de la muestra MPCW-1.

<b>Minerales considerados en el Diagrama APQ</b>	<b>Recálculo</b>
K Feldespato (Feldespato potásico): 17,64%	<b>A: 17,64/54,1= 32,61 %</b>
Plagioclasa: 29,41%	<b>P: 29,41/54,1= 54,36%</b>
Cuarzo: 7,05%	<b>Q: 7,05/54,1= 13,03 %</b>



A esta roca no fue posible realizarle análisis petrográfico a través de sección delgada, ya que los laboratorios alegaron mucha dificultad para efectuar el corte, debido al alto grado de alteración, etc. En virtud de lo expuesto, se usó la técnica de observación de fragmentos a través de microscopio electrónico de luz polarizada.

Es importante considerar, que estos minerales no representan fielmente y con exactitud la composición del magma original; pero si dan una idea aproximada del mismo. También, es notable la presencia de minerales de alteración (clorita, epidota, sericita), un textura esquistosa bien definida, lo cual es bastante significativo, e indicativo de un efecto por metamorfismo de grado bajo o, posiblemente de contacto. A tal efecto, el dique máfico de Santa Elena de Uairén, intrusivo en estas rocas de la Formación Pacaraima, está presente muy cercano y al norte de la zona de estudio.

Esta roca fue analizada químicamente en los laboratorios del Centro de Geociencias de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente, utilizando el método de Espectrometría de Absorción Atómica. Los resultados son expuestos en la Tabla 5.8 en la sección de Análisis químicos del presente capítulo, y son muy similares a los de la muestra MPPMRC-1.

### **5.2.3 Muestra MPPMRC-1**

Ubicación: Vía Santa Elena de Uairén - El Paují. Geográficamente con las coordenadas UTM de referencia E: 702.052 y N: 504.607. Al Oeste del estribo Norte del primer puente sobre el río Uairén, vía hacia la población indígena Maurack.

Al microscopio se observa que el componente predominante y de mayor importancia son los fragmentos de cristales, con tamaños que varían desde 0,25 mm hasta 3 mm, en su mayoría son de forma euhedral y subhedral, y pocos anhedrales, pero todos se muestran rotos, angulosos, corroídos y la mayoría con bordes de

reacción con la matriz que los rodea. La relación matriz/componentes es de 30%/70%.

De todos estos cristaloclastos, el más abundante es el feldespato potásico en sus dos variedades: pertita (micropertita) (20%) y ortoclasa (5%), ambas en cristales generalmente subhedrales. Le sigue en abundancia el feldespato tipo plagioclasa (15%) de composición intermedia (oligoclasa-andesina), con maclas polisintéticas y algunas combinadas con la macla de la albita. La plagioclasa se presenta en cristales individuales o también unidos a otros conformando fragmentos de rocas, los cuales aún conservan parte de la textura original, posiblemente, en la cual se puede observar algo de cuarzo anhedral (1%), junto a reliquias de posibles minerales ferromagnesianos alterados a clorita.

Todos los cristaloclastos están embebidos en una matriz felsítica, la cual muestra una incipiente textura hialopilitica, caracterizada por microcristales de feldespatos potásicos (20%) euhedrales, alargados, dispuestos sin orientación y asociados con cuarzo anhedral (5%) y vidrio (5%); ambos alojados en los espacios entre los feldespatos.

Dispersos por toda la muestra se observan pequeños cristales euhedrales (cúbicos) y subhedrales de minerales opacos (5%), ya sea en la matriz o formando parte de los fragmentos de roca.

Toda la muestra (fragmentos y matriz) presenta una alteración sericítica (10%) en microcristales alargados y orientados paralelamente. Además hay clorita (5%) como alteración en los fragmentos de roca, bordeando los cristales individuales y en ciertas zonas de la matriz. También se observa calcita (5%) y epidoto (1%) sobre todo en los cristales de plagioclasa. Como minerales accesorios se observan microcristales

euhedrales de circón (1%) y apatita (1%) dispersos en la matriz, y esfena (1%) subhedral asociada con algunos de los minerales opacos.

Tabla 5.4 Composición mineralógica de la muestra MPPMRC-1.

<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Feldespato potásico	30
Cuarzo	10
Plagioclasa intermedia	20
Sericita	10
Pirita	5
Clorita	5
Calcita	5
Epidoto	1
Circón	1
Apatito	1
Esfena	1
Vidrio Volc.	5
Otros	6
<b>Total</b>	<b>100</b>

Tabla 5.5 Recálculo al 100% de los parámetros APQ de la muestra MPPMRC-1.

<b>Minerales considerados en el Diagrama APQ</b>	<b>Recálculo</b>
Feldespato potásico (pertita-ortoclasa): 30 %	<b>A:</b> $30/60 = 50,0\%$
Plagioclasa intermedia (oligoclasa-andesina): 20 %	<b>P:</b> $20/60 = 33,33\%$
Cuarzo: 10 %	<b>Q:</b> $10/60 = 16,67\%$



rotos y corroídos, de formas anhedrales y subhedrales, entre los cuales destacan los feldespatos potásicos peritita (15%) y ortoclasa (5%), y las plagioclasas (15%) tipo oligoclasa-andesina con maclas polisintéticas y algunas combinadas con la macla de la albita. Estos feldespatos se observan también formando fragmentos de rocas, los cuales no muestran claramente la textura original.

Estos fragmentos están rodeados por una matriz félsica en una relación matriz/componentes de 35%/65%. Es microcristalina con clara tendencia a formar una textura microporfídica, en la cual se destacan pequeñísimos cristales (0,5 mm) de feldespatos potásicos (15%), anhedrales y con bordes de reacción con la masa de microcristales en la cual están inmersos. Dicha masa se presenta de composición cuarzo-feldespática (15%) con vidrio intersticial (5%).

Hay minerales opacos (8%) en pequeños granos euhedrales (cúbicos) y dispersos homogéneamente por toda la muestra.

Toda la roca presenta una abundante alteración sericítica (10%) en microcristales alargados, orientados paralelamente, y ubicados especialmente en la matriz felsítica y dentro de las fracturas presentes en los fragmentos de feldespatos.

Hay calcita (2%) asociada con la sericita y escaso epidoto (1%) y clorita (1%), todos como minerales de alteración dispersos tanto en la matriz como en algunos de los cristaloclastos de feldespatos.

En la matriz se observan fracturas rellenas de oxi-hidróxidos de hierro (1%) al igual que bordeando algunos de los cristales de mayor tamaño. Y como accesorios, dispersos por la muestra, hay presencia de microcristales euhedrales de apatita (1%) y esfena (1%), esta última asociada generalmente con los minerales opacos.

La Tabla 5.6 presenta % y la composición mineralógica de la muestra MPSEUL-1, y la Tabla 5.7 el recálculo respectivo de los minerales APQ.

Tabla 5.6 Composición mineralógica de la muestra MPSEUL-1.

<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Recálculo al 100%</b>
Feldespato potásico	20	21,28
Cuarzo	15	15,96
Plagioclasas intermedia	25	26,60
Sericita	10	10,63
Pirita	8	8,50
Clorita	1	1,06
Calcita	2	2,12
Epidoto	1	1,06
Circón	1	1,06
Apatito	1	1,06
Esfena	5	5,32
Vidrio volcánico	5	5,32
<b>Total</b>	94	100

Tabla 5.7 Recálculo al 100% de los parámetros APQ de la muestra MPSEUL-1.

<b>Minerales considerados en el Triángulo APQ</b>	<b>Recálculo</b>
Feldespato potásico (pertita-ortoclasa): 21,28% ~ 21,3	A : $21,3/64 = 33,33 \%$
Plagioclase intermedia: 26,60%	P : $26,6/64 = 41,56 \%$
Cuarzo: 15,96% ~ 16	Q : $16/64 = 25,0 \%$



del hierro, se determinó el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , y es el que se utilizará en la relación  $\text{FeO}/\text{MgO}$  como parámetro de clasificación en el Diagrama de Miyasiro.

A continuación se expone en forma de tablas, los % en peso de los óxidos mayoritarios de las 3 muestras analizadas.

### 5.3.1.1 Muestra MPVW-1 (Vía Waramasén)

Tabla 5.8 Análisis químico de la muestra MPVW-1.

<b>% EN PESO DE ÓXIDOS MAYORITARIOS (Muestra MPVW-1)</b>							
$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$
65,01	16,27	0,26	3,15	3,41	6,89	2,03	1,02
$\text{SiO}_2 = 65,01$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO} = 0,92$				$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3,05$		
$\text{Al}_2\text{O}_3 = 16,27$					$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} = 9,94$		

### 5.3.1.2 Muestra MPPMRC-1 (Vía Puente Maurack)

Tabla 5.9 Análisis químico de la muestra MPPMRC-1.

<b>% EN PESO DE ÓXIDOS MAYORITARIOS (Muestra MPPMRC-1)</b>							
$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$
65,42	15,01	2,85	0,37	5,16	3,37	3,53	1,51
$\text{SiO}_2 = 65,42$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO} = 0,85$				$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5,04$		
$\text{Al}_2\text{O}_3 = 15,01$					$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} = 10,2$		

### 5.3.1.3 Muestra MPSEUL-1 (Vía Santa Elena de Uairén-La Línea)

Tabla 5.10 Análisis químico de la muestra MPSEUL-1.

% EN PESO DE ÓXIDOS MAYORITARIOS (Muestra MPSEUL-1)							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
67,17	16,89	3,24	0,40	5,03	2,75	1,21	2,17
SiO <sub>2</sub> = 67,17		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /MgO = 1,18		Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O = 3,38			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =16,89				Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O +CaO = 8,41			

A continuación se hace uso de los diagramas de clasificación TAS y Miyasiro, respectivamente, para la ubicación y clasificación de las muestras analizadas químicamente. También se realiza una evaluación de estos ejemplares en base a los Criterios de Clasificación considerando la saturación en alúmina y contenido de álcalis.

## 5.4 Evaluación geoquímica con Diagrama TAS, Miyasiro y Criterios de Saturación en Alúmina y contenido de Álcalis

### 5.4.1 Muestra MPVW-1

El análisis químico de la muestra MPVW-1, permitió la consideración y cálculos de los parámetros pertinentes para su clasificación en los diagramas TAS y Miyasiro, respectivamente., los cuales son expuestos a continuación.

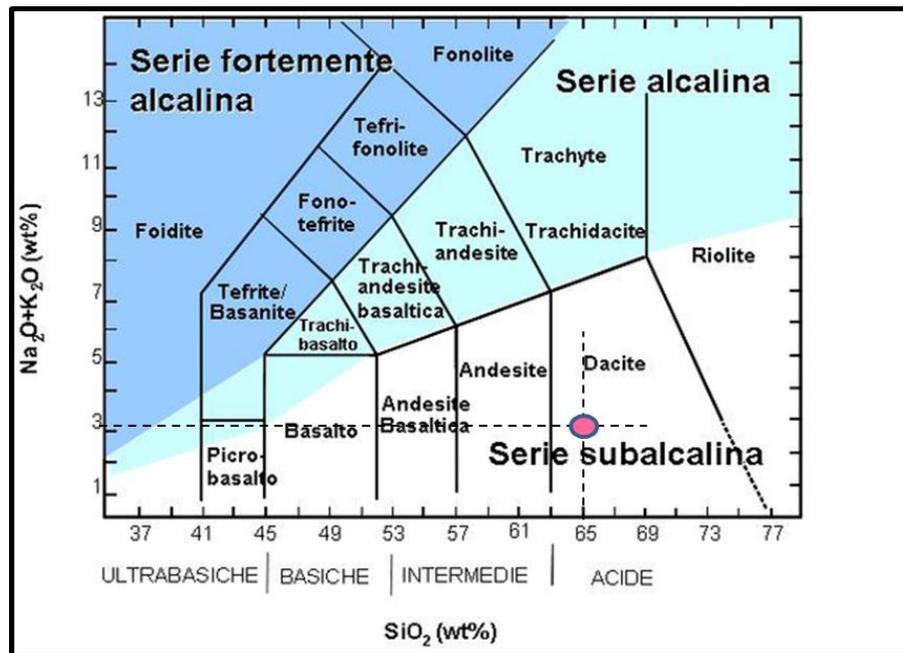


Figure 5.8 Ubicación de la muestra MPVW-1 en el Diagrama TAS.

De acuerdo a la ubicación de la muestra en el Diagrama TAS (Sílice *Versus* Álcalis Total), esta resultó ser de composición dacítica y de carácter subalcalino, lo cual permite continuar la evaluación haciendo uso del Diagrama Miyasiro.

Una vez identificado el carácter subalcalino de la roca, puede utilizarse el Diagrama Miyashiro, con el propósito de determinar la afinidad geoquímica de la roca (tholeítica o calcoalcalina). En esta oportunidad los valores a utilizar son: SiO<sub>2</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO, obtenidos de la Tabla 5.10.

En virtud de lo expuesto y considerando los valores de la Tabla 5.10, puede fácilmente ubicarse la muestra MPVW-1 en el Diagrama de Miyasiro, el cual es muy útil en la determinación del posible ambiente de formación de estas rocas. A tal efecto se presenta a continuación la Figura 5.9.

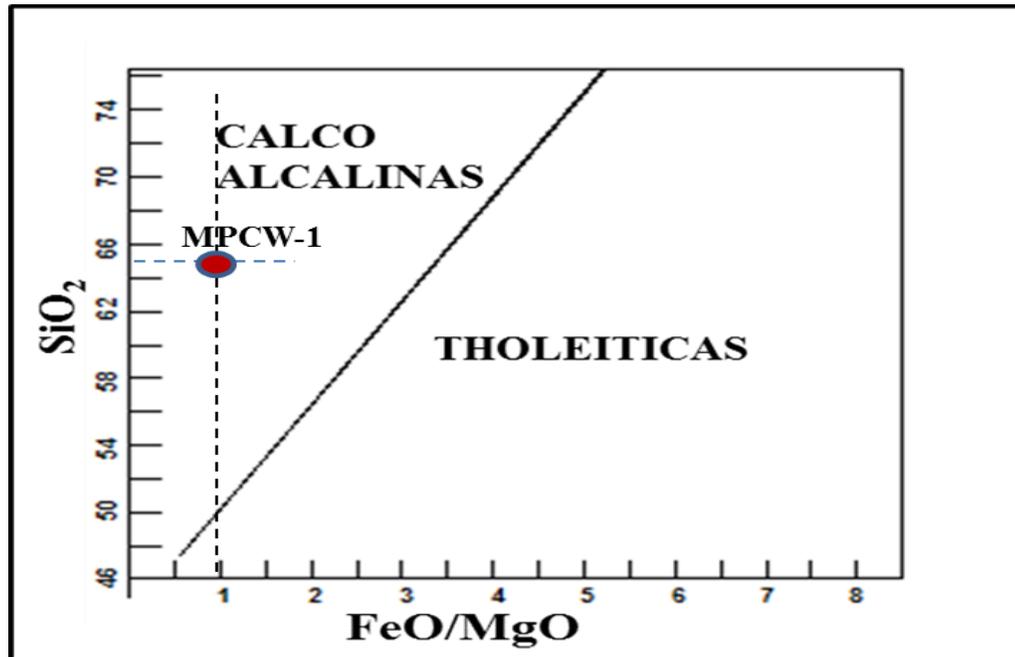


Figure 5.9 Ubicación de la muestra MPVW-1 en el Diagrama de Miyasiro.

Las rocas ubicadas en el afloramiento de la vía hacia Waramasén (MPVW-1) resultaron ser de afinidad calcoalcalina; lo cual sugiere un posible ambiente de formación de arco magmático continental.

A continuación se evaluará la muestra MPVW-1 utilizando los Criterios por Saturación en Alúmina y contenido de álcalis.

En esta oportunidad la evaluación geoquímica está basada en la aplicación de Criterios de Clasificación de acuerdo al grado de saturación en alúmina y contenido de álcalis expuestos en el Capítulo III del presente trabajo. Y para no redundar en cálculos, se ha utilizado las tablas con valores de óxidos mayoritarios respectivos de cada muestra, para aplicar los criterios respectivos. Así, de la Tabla 5.10 se tiene:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 16,27 \% ; \quad \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3,05 \% \quad \text{y} \quad \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} = 9,94\%$$

Criterio N°1: Si  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$  la roca es peralcalina. Obviamente el Criterio N°1 no se cumple.

Criterio N°2: Si  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$  la roca es peraluminosa.

Con  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} = 9,94 \%$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16,27 \%$  se cumple el Criterio N°2, resultando la roca peraluminosa, lo cual es normal en las rocas de ambiente de borde convergente continental.

#### 5.4.2 Muestra MPPMRC-1 (Vía Puente Maurack)

Para esta muestra, tomada del afloramiento con estructuras de flujo y plegadas, los valores a considerar se obtienen de la Tabla 5.11. Así, la Figura 5.10 muestra su ubicación en el Diagrama TAS y la Figura 5.11 en el Diagrama Miyasiro.

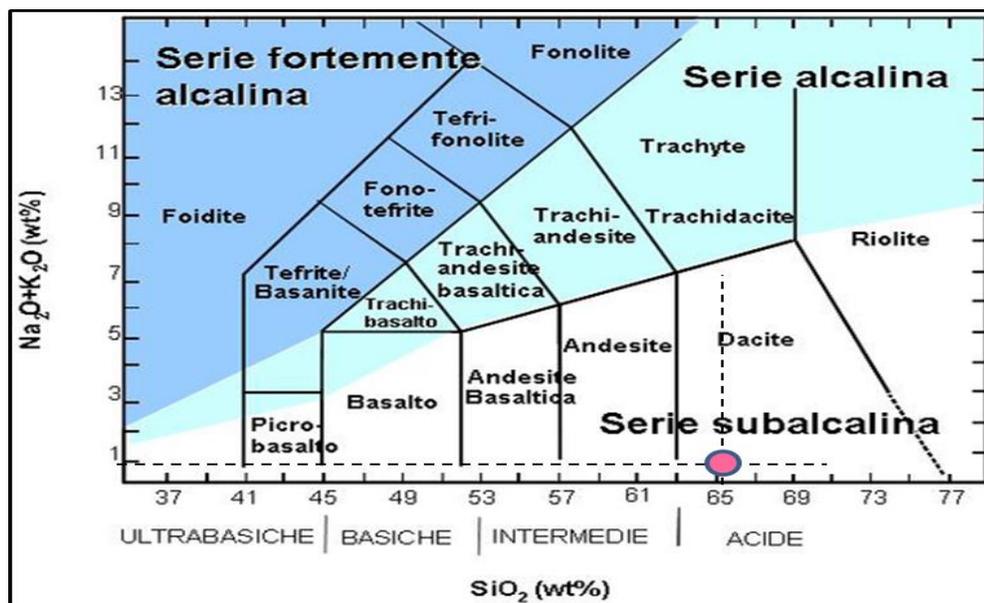


Figura 5.10 Ubicación de la muestra MPPMRC-1 en el Diagrama TAS.

Una vez establecido el carácter subalcalino de la muestra, es posible hacer uso del Diagrama de Miyasiro para determinar su afinidad geoquímica.

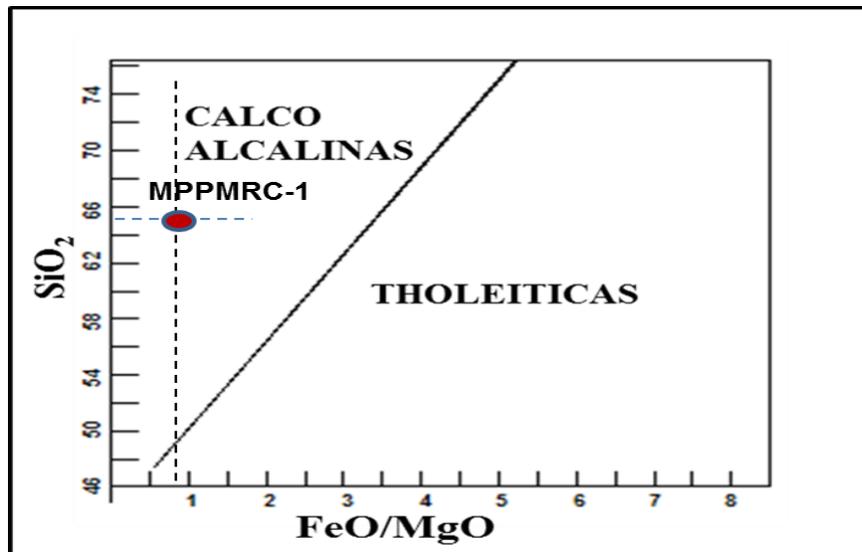


Figura 5.11 Ubicación de la muestra MPPMRC-1 (sector Maurack) en el Diagrama de Miyasiro.

Considerando la ubicación en el Diagrama Miyashiro, la roca del sector Maurack, representada por la muestra MPPMRC-1, resultó ser de afinidad calcoalcalina. Por lo tanto, la afinidad geoquímica de este afloramiento es similar al de la Vía de Waramasén, pero con un porcentaje mayor de sílice; lo cual permite, según el Diagrama TAS, ubicarla en el campo de las dacitas. Sin embargo, al tratarse de una roca piroclástica, su mineralogía no es totalmente concordante con este resultado, ya que en el Triángulo o Diagrama de Streckeisen, la roca se ubica como una latita cuarcífera (en realidad toba latítica cuarcífera).

Para la evaluación en base a los Criterios de Saturación en Alúmina y contenido de álcalis, se procede de manera similar a la muestra anterior. Así, para realizar cálculos considerando valores de la Tabla 5.11 se tiene:

$Al_2O_3 = 15,01$ ;  $Na_2O + K_2O = 5,04$  y  $Na_2O + K_2O + CaO = 10,20$

Aplicando criterios:

Criterio N°1: Si  $Na_2O + K_2O > Al_2O_3$  la roca es peralcalina.

Criterio N°2: Si  $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$  la roca es peraluminosa.

Examinado el Criterio N°2:  $15,01 > 10,2$  se cumple. Por lo tanto la roca es peraluminosa.

#### 5.4.3 Muestra MPSEUL-1 (Vía Santa Elena de Uairén-La Línea)

Con los valores de la Tabla 5.12, se puede ubicar la muestra MPSEUL-1 en el Diagrama TAS, tal como se expone en la Figura 5.11.

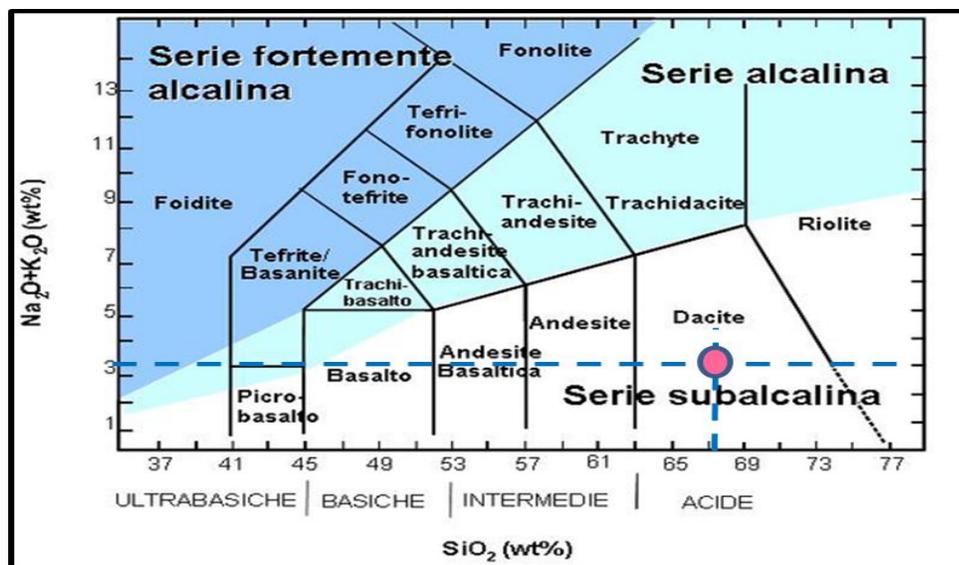


Figura 5.12 Ubicación de la muestra MPSEUL-1 en el Diagrama TAS.

De acuerdo a la ubicación de la muestra MPSEUL-1 en el Diagrama TAS, la misma puede ser clasificada como equivalente a una dacita de carácter subalcalino. Esto permite utilizar el Diagrama de Miyashiro, para la determinación de su afinidad geoquímica (tholeítica o, calcoalcalina).

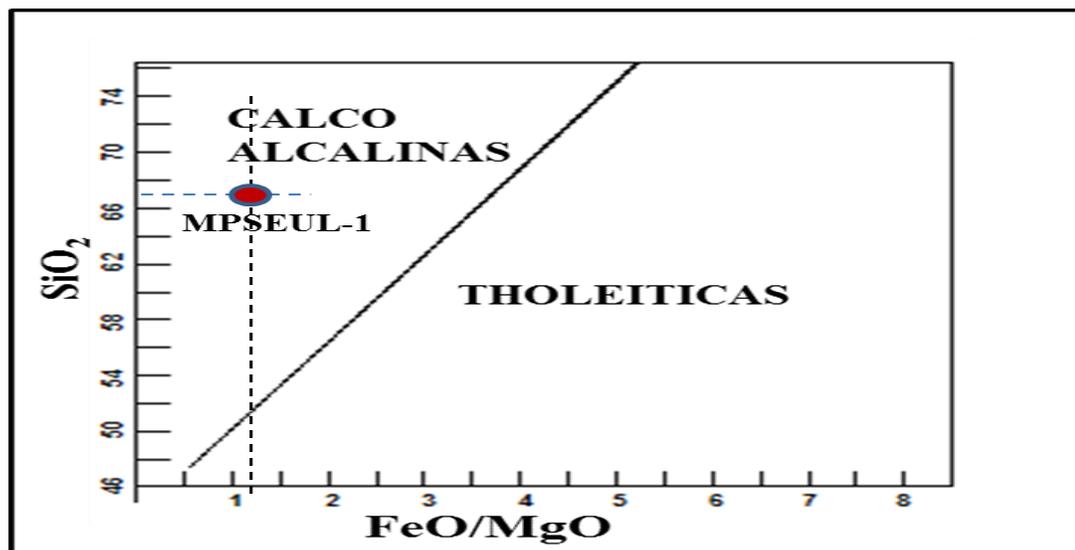


Figura 5.13 Ubicación de la muestra MPSEUL-1 en el Diagrama de Miyashiro.

De acuerdo al Diagrama de Miyashiro, las rocas piroclásticas (tobas) aflorantes en la vía Santa Elena de Uairén-La Línea, o también llamada Pacaraima, son de afinidad geoquímica calcoalcalinas.

De esta manera, resulta que las rocas de la Formación Pacaraima en zonas adyacentes a Santa Elena de Uairén, Maurack, Waramasén y Pacaraima, son de afinidad calcoalcalina, considerando los Diagramas TAS y Miyashiro, respectivamente, y responden a una composición química equivalente a la dacita.

A continuación la evaluación geoquímica en base a los Criterios por Saturación en Alúmina y contenido de álcalis.

Considerando los parámetros expuestos en la Tabla 5.12, se tiene:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 15,20 \% ; \quad \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6,40 \% \quad \text{y} \quad \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} = 10,2 \%$$

Y aplicando criterios de clasificación:

El criterio que se cumple es el N°2, el cual expresa que si  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ , la roca es peraluminica o peraluminosa. Así,  $15,20 > 10,2$  y la desigualdad se cumple.

En base a los resultados de este tipo de evaluación, todas las muestras analizadas son peraluminosas, muy similar geoquímicamente a las Volcánicas de Caicara del Grupo Cuchivero, las cuales también son de afinidad calcoalcalina.

Es muy importante realizar una clasificación de estas rocas bajo el fundamento de su composición, textura y grado de cristalinidad del material que la conforman. La química y petrografía, en este caso, marcan las pautas para tal tipificación.

### **5.5 Clasificación de las muestras en base a su composición, textura y grado de cristalinidad**

De acuerdo al tamaño de las partículas cristalinas, vidrio, fragmentos de roca, su abundancia relativa y el grado de cristalinidad alcanzado, determinado mediante análisis petrográfico de las muestras en estudio, la clasificación se realizó considerando los triángulos expuestos en la Figura 5.14.

Todas las muestras analizadas y evaluadas poseen más del 90% de partículas cristalinas con tamaños menores a los 3 mm, tienen muy poco vidrio, presentan pequeños fragmentos de roca, matriz afanítica. Estos resultados, obtenidos del estudio

petrográfico, permiten clasificar estas rocas dentro del rango de las tobas cristalinas. Su textura piroclástica, observable al microscopio, no aporta ninguna justificación que permita clasificarlas como ignimbritas.

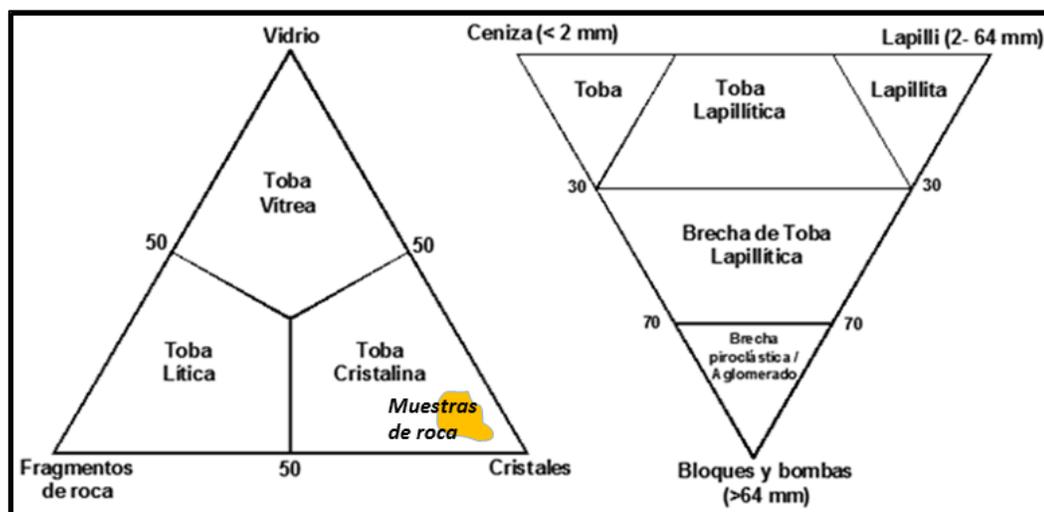


Figura 5.14 Ubicación de muestras de la Formación Pacaraima en las adyacencias de Santa Elena de Uairén en el triángulo de clasificación para rocas piroclásticas.

## 5.6 Interpretación de resultados

Los datos obtenidos del trabajo de campo y los análisis de laboratorio permiten clasificar y evaluar las rocas de la Formación Pacaraima desde un punto de vista petromineralógico y geoquímico. En este sentido y en base a la composición química, puede afirmarse que las mismas son de carácter subcalcalino (Diagrama TAS) y de afinidad geoquímica calcoalcalina (Miyasiro), peraluminosas, y se ubican en el Diagrama TAS en el campo de las dacitas. En base a la petrografía, se determinó que las rocas de la cantera Waramasén, son tobas cristalinas y se ubican en el Diagrama de Streckeisen en la zona de la riolita (muestra MPSEUL-1) con bajo %

de cuarzo, latita cuarcífera (MPPMRC-1) y MPCW-1, todas con poco vidrio, más de un 90% de cristales y cantidades menores de fragmentos de roca.

Los ejemplares del afloramiento con estructuras plegadas de flujo piroclástico, en las adyacencias del puente Maurack sobre el río Uairén, son tobas piroclásticas cristalinas con orientación mineral (sericita, clorita y epidota), lo cual sugiere efectos de metamorfismo de grado bajo; mientras que las rocas del afloramiento en la vía Santa Elena de Uairén-La Línea (Pacaraima) son también tobas cristalinas, pero de composición riolítica (con bajas cantidades de cuarzo) y pequeñas cantidades de pirita idiomórfica observable a simple vista.

Aunque las rocas aquí analizadas no son en *sensu strictus* volcánicas, tienen una estrecha relación con éstas últimas, si se considera la génesis del material que las conforman. De allí que el Diagrama TAS, de gran valor para determinar el carácter alcalino o serie alcalina a la cual pertenecen las rocas volcánicas o lávicas (lavas), es utilizado y de gran importancia en este trabajo; claro está, con sus respectivas reservas.

En virtud de lo expuesto, claramente puede notarse que estas rocas piroclásticas varían en su composición mineral y, obviamente geoquímica, de un lugar cercano a otro, como se observa en la ubicación de las muestras estudiadas en el área de trabajo. Esto se debe a que las rocas piroclásticas han sufrido contaminación con material de rocas preexistentes (máficas o félsicas). Además existen evidencias de un efecto metamórfico de bajo grado (minerales orientados, presencia de clorita, epidoto, sericita, etc.).

El carácter calcoalcalino de estas rocas sugieren un ambiente de formación de arco magmático continental hacia Venezuela y zona de subducción y trinchera más hacia el Sur en el norte de Brasil, extendiéndose dicho arco, posiblemente al

Noroeste, hacia la región de Caicara del Orinoco, donde a la Formación Pacaraima se le correlaciona geoquímicamente y en edad, con las Volcánicas de Caicara del Grupo Cuchivero.

### **5.7 Correlación estratigráfica de la Formación Pacaraima**

Estas rocas son, según sus características ya descritas y edad, correlacionables en Venezuela, con las Volcánicas de Caicara del Grupo Cuchivero, y este a su vez se correlaciona con rocas volcánicas piroclásticas del Grupo Iirí del Supergrupo Uatumá, Grupo Surumú, Grupo Iricoumé, en el Estado de Roraima (Brasil). En Surinam estas formaciones correlacionan con rocas de la Formación Dalbana, y en Guyana con la Formación Iwokrama del Grupo Burro Burro.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Litológicamente la zona en estudio está conformada por rocas de piroclásticas de la Formación Pacaraima del Grupo Cuchivero y rocas sedimentarias siliciclásticas (arenisca) de la Formación Uairén del Grupo Roraima.
2. El relieve está diseñado por un sistema de lomas disimétricas de pendiente no superior a los 20 grados de inclinación.
3. De acuerdo a la evaluación petrográfica, las rocas de la Formación Pacaraima en las cercanías de Santa Elena de Uairén, son tobas cristalinas de composición intermedia (latitas cuarcíferas) a ácidas (riolitas).
4. La petrografía determinó la presencia de minerales orientados e indicativos (clorita, epidota, sericita, etc.) de metamorfismo de grado bajo.
5. De acuerdo a la evaluación geoquímica por Diagrama TAS, las rocas de la Formación Pacaraima en las adyacencias de Santa Elena de Uairén son subalcalinas y responden a una composición dacítica.
6. Según el Diagrama de Miyasiro, las rocas analizadas son de afinidad calcoalcalina.

7. La afinidad geoquímica resultante de acuerdo al Diagrama TAS y Miyasiro, respectivamente, sugieren un posible ambiente de formación de arco magmático continental.
8. La evaluación geoquímica por los Criterios de Saturación en Alúmina versus Contenido de Álcalis, determinó que las rocas analizadas son peraluminosas.
9. Es posible efectos de metamorfismo de contacto en la zona investigada, ocasionada por la intrusión magmática más joven del dique máfico de Santa Elena de Uairén, perteneciente a la Asociación Avanavero.

### **Recomendaciones**

1. Continuar con esta investigación ampliando el área de estudio, por lo menos hasta Icabarú, y más hacia el Sur o Norte de Brasil (Estado de Roraima), y más al Este en la república de Surinam.
2. Realizar estudios por Difracción de Rayos X, que permitan, con mayor precisión, la determinación petrográfica de estas rocas (variedades de clorita y plagioclasa, minerales opacos y cantidad de cuarzo).
3. Para continuar con esta investigación, es necesario establecer enlaces interinstitucionales con las demás universidades de países como Brasil, Canadá, Estados Unidos, Francia, etc. para realizar una mayor cantidad de determinaciones geoquímicas, georadimétricas y otros complementarios, que permitan avanzar en este problema; ya que las incongruencias al respecto, al aplicar correlaciones puramente litológicas, son altamente significativas.

## REFERENCIAS

Briceño, H., Tapia, J., Estanga, Y., (1989). **FORMACIÓN ICHÚM, VOLCANISMO ÁCIDO DEL GRUPO RORAIMA**. En: VII Cong. Geol. Venezolano, T5, p. 52-81.

C.V.G. Técnica Minera, (1989). **INFORME DE AVANCE. HOJAS NB-20-15 Y NA-20-3**. Tomo I. Gerencia de Proyectos Especiales - Proyecto Inventario de los Recursos Naturales de la Región de Guayana. Ciudad Bolívar. Venezuela.

Dohrenwend, J.C., Yanez, G. y Lowry, G., (1995). **CENOZOIC LANDSCAPE EVOLUTION OF THE SOUTHERN PART OF THE GRAN SABANA SUR, SOUTHEASTERN VENEZUELA – IMPLICATIONS FOR THE OCURRENCE OF GOLD AND DIAMOND PLACERS**. En: U.S. Geol. Surv.Bull. Núm. 2.124-K, p. K1- K17.

E.W.H., Heinrich, (1972). **PETROGRAFÍA MICROSCÓPICA**. 2da. Edic. Edic. Omega, S.A. Barcelona, España, 1972. . 43-264.

Fidias, A., (2006). **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. 5ª Edic. Edit. Episteme. 2006. Caracas. Venezuela.

Gómez, M., (2013). **ESTUDIO PETROMINERALÓGICO Y GEOLOGIA ECONÓMICA DE LOS GRUPOS CUCHIVERO Y RORAIMA, RESPECTIVAMENTE, UBICADOS EN EL CUADRÁNGULO PACARAIMA, SANTA ELENA DE UAIRÉN, MAURAC Y GUARAMASÉN, MUNICIPIO GRAN SABANA, SUR DEL ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trab. De Ascenso Asociado. Universidad de Oriente. Núcleo Bolívar.

Gonzales de Juana, C., Iturralde de Arozena, J.M. y Cadillat, X.P. (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Tomo I. Ediciones Foninves. Caracas. Venezuela.

Le Maitre, R.W., 1989. **A CLASSIFICATION OF IGNEOUS ROCKS AND GLOSSARY OF TERMS**. Blackwell, 193 p. Oxford.

Méndez B, J. (2006). **PETROLOGÍA - AMBIENTES SEDIMENTARIOS**. Instituto de Ciencias de la Tierra. Universidad Central de Venezuela. PDVSA. INTEVEP. Facultad de Ciencias, U.C.V. p. 77-106.

Mendoza, V., (1977). **PETROGÉNESIS DE ROCAS VOLCÁNICAS (PIROCLÁSTICAS) PRECÁMBRICAS DEL NOROESTE DEL ESCUDO DE GUAYANA, VENEZUELA**. En: V cong. Geol. Venezolano, Mem. Núm. T.2, p. 555-589.

Mendoza, V. (2005). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA: ESCUDO DE GUAYANA, ANDES VENEZOLANOS Y SISTEMA MONTAÑOSO DEL CARIBE**. Tomo I. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de La Tierra. Ciudad Bolívar. Venezuela. p. 51-120.

Mendoza, V. (2012). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA: EVOLUCIÓN GEOLÓGICA, RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA Y REVISIÓN DEL PRECÁMBRICO MUNDIAL**. Tomo I. 2da. Edición, abril 2012. Edit. Gran Colombia Gold Corp. Bogotá 2012. Pág. 242- 343.

PDVSA- Intevep. (1999). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA**. Documento patrocinado por Petróleos de Venezuela y editado por el Comité Interperfil de Estratigrafía y Nomenclatura. 10 de junio 2007. Disponible en: (<http://PDVSA.com/lexico/museo/Rocas/r-glosario.htm>)

Reid, A.R., (1974). **STRATIGRAPHY OF THE TYPE AREA OF THE RORAIMA GROUP, VENEZUELA**. En: Conf. Geol. Interguayanas, Mem, publ. Espec. Núm. 6, p. 343-354.

Ríos, J.H., (1972). **GEOLOGÍA DE LA REGIÓN DE CAICARA, ESTADO BOLÍVAR**. En: IV Cong. Geol. Venezolano, Mem. Publ. Esp. Vol. 5, Núm. 3, p. 1.759-1.782.

Santos, J.O.S. Van Breemen, O.B.V., Groves, D.I., L.A., Almeida, M.E., McNaughton, N.J. y Fletcher, I.R., (2004). **TIMING AND EVOLUTION OF MULTIPLE PALEOPROTEROZOIC MAGMATIC ARCS IN THE TAPAJÓS DOMAIN, AMAZON CRATON**: constraints from SHRIMP a TIMS zircon, baddeleyite and titanite U-Pb geochronology. En Precam. Research, Vol. 131, Núm. 1-2, p. 73-109.

Salazar, E., (2009). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN UAIMAPUÉ, PERTENECIENTE A LA PROVINCIA GEOLÓGICA DE RORAIMA, ENTRE CINCO KM AL SUR DEL RÍO KUKENÁN Y EL RÍO MAPAURÍ, ZONA SANTA ELENA DE UAIRÉN, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.** Trab. De Asc. UDO. p. 75-80.

Soto G.M.T., (2005). **TEXTO UNIVERSITARIO DE PETROLOGÍA.** Universidad Nacional de Altiplano. Dpto. Acad. De Ing. Geol. Edit. Puno. Perú.

Tassinari, C.C.G y Macambira, M.J.B., (1999). **GEOCHRONOLOGICAL PROVINCES OF THE AMAZONIAN CRATON.** En: Episodes, Vol. 22, Núm. 3, p. 174-182.

Tarbuck, J.E. y Lutgens, F.K., (2005). **CIENCIAS DE LA TIERRA. UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA FÍSICA.** 8va. Edic. <http://www.librosite.net/tarbuck>.

Insugeo (2016). **TRIÁNGULO DE CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS PIROCLÁSTICAS.** 15 de Noviembre de 2016. <http://www.insugeo.org.ar>.

Urbani, F., Talukdar S., Szczerban, E. y Colvee, P. (1977). **METAMORFISMO EN LAS ROCAS DEL GRUPO RORAIMA, ESTADO BOLÍVAR Y TERRITORIO FEDERAL AMAZONAS.** En: Mem. V Cong. Geol. Venezolano, Caracas, Vol. 2. p. 623- 638.

USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), (2014). **USDA SOIL TAXONOMY SOIL SURVEY STAFF.** Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Décima segunda Edición.

W. Grien. Museo Virtual, Geología. **APUNTES DE GEOLOGÍA GENERAL. EL TRIÁNGULO DE STRECKEISEN.** 10 de Febrero de 2017. <http://www.geovirtual2.cl>

Wikipedia, (2017). **DIAGRAMA TAS.** 15 de Noviembre de 2017. [https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificacion\\_TAS](https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificacion_TAS)

W.S. MacKenzie and C. Guilford, (1980). **ATLAS OF ROCK-FORMING MINERALS IN THIN SECTION**. Edic. Longman Scientific & Technical. Copublished in the United State with John Wiley & Sons, Inc., New York. p. 01-98.

W.S. MacKenzie, C.H. Donaldson and C. Guilford, (1982). **ATLAS OF IGNEOUS ROCKS AND THEIR TEXTURES**. Edic. Longman Scientific & Technical. Copublished in the United State with John Wiley & Sons, Inc., New York. p. 01-170.

W.S. MacKenzie, C.H. Donaldson and C. Guilford, (1990). **ATLAS OF METAMORPHIC ROCKS AND THEIR TEXTURES**. Edic. Longman Scientific & Technical. Copublished in the United State with John Wiley & Sons, Inc., New York. p. 01-120.

Yanez, P.G., (1992). **ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICOS DE LA FRONTERA CON BRASIL, EN EL TERRITORIO FEDERAL AMAZONAS (VENEZUELA)**. Bol. SVG, Vol. 44, p. 3-14.

## **APÉNDICES**

**APÉNDICE A**  
**Resumen de los análisis químicos**

**A.1** Resumen de análisis químicos y cálculo de parámetros de clasificación

	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>MgO</b>	<b>CaO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
<b>MPCW-1</b>	65,01	17,14	0,26	3,15	3,41	6,89	2,03	1,02
	SiO <sub>2</sub> = 65,01		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /MgO = 0,92			Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O + CaO = 9,94		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 16,27					Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O = 3,05		
	<b>MPPMRC</b>	65,42	15,01	0,37	2,85	3,37	5,16	3,53
SiO <sub>2</sub> = 65,42		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /MgO = 0,84			Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O + CaO = 10,20			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 15,01					Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O = 5,04			
<b>MPSEUL-1</b>	67,17	16,89	0,40	3,24	2,75	5,03	1,21	2,17
	SiO <sub>2</sub> = 67,17		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /MgO = 1,2			Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O + CaO = 8,41		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 16,89					Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O = 3,38		

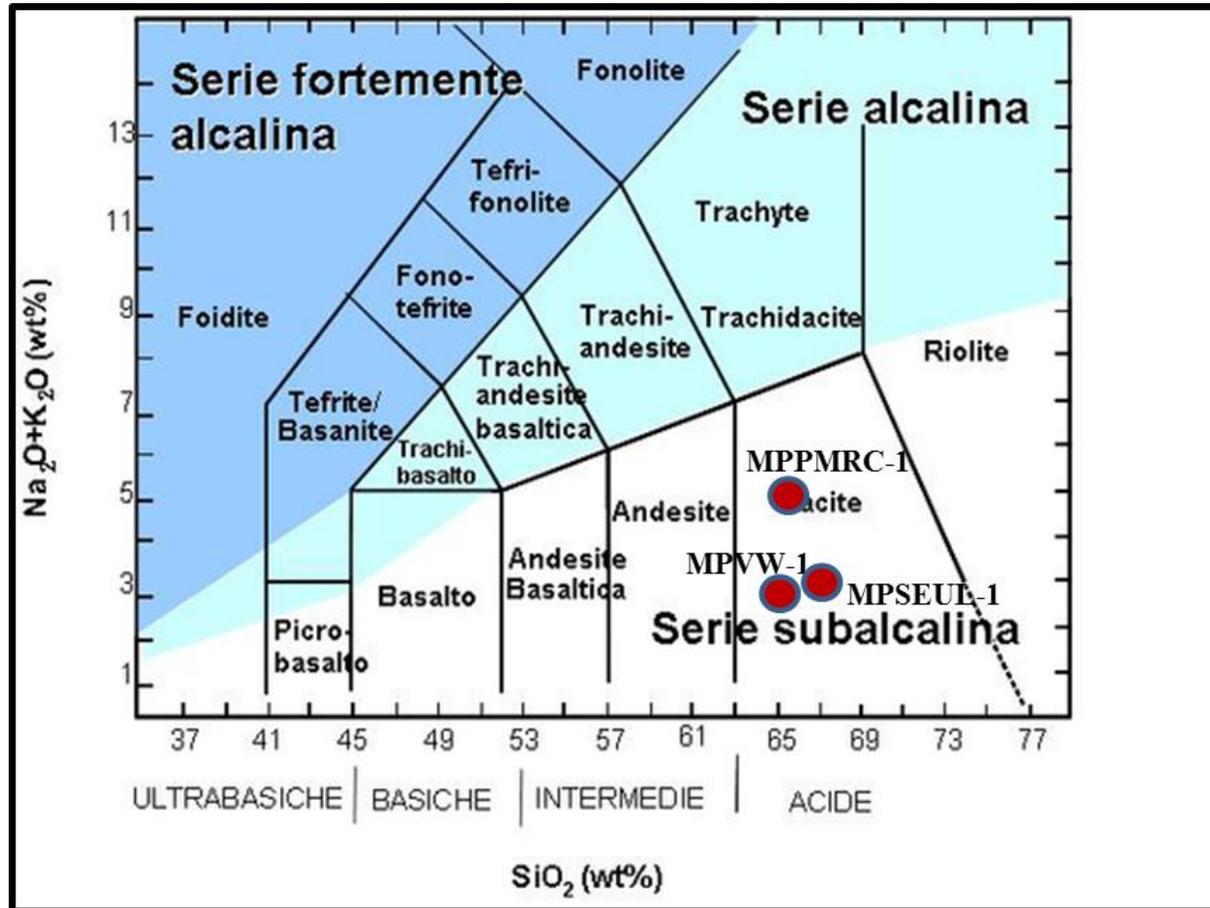
**APÉNDICE B**  
**Imagen de Google Earth del área investigada**



**B.1** Imagen de Google Earth con ubicación de muestras y área investigada.

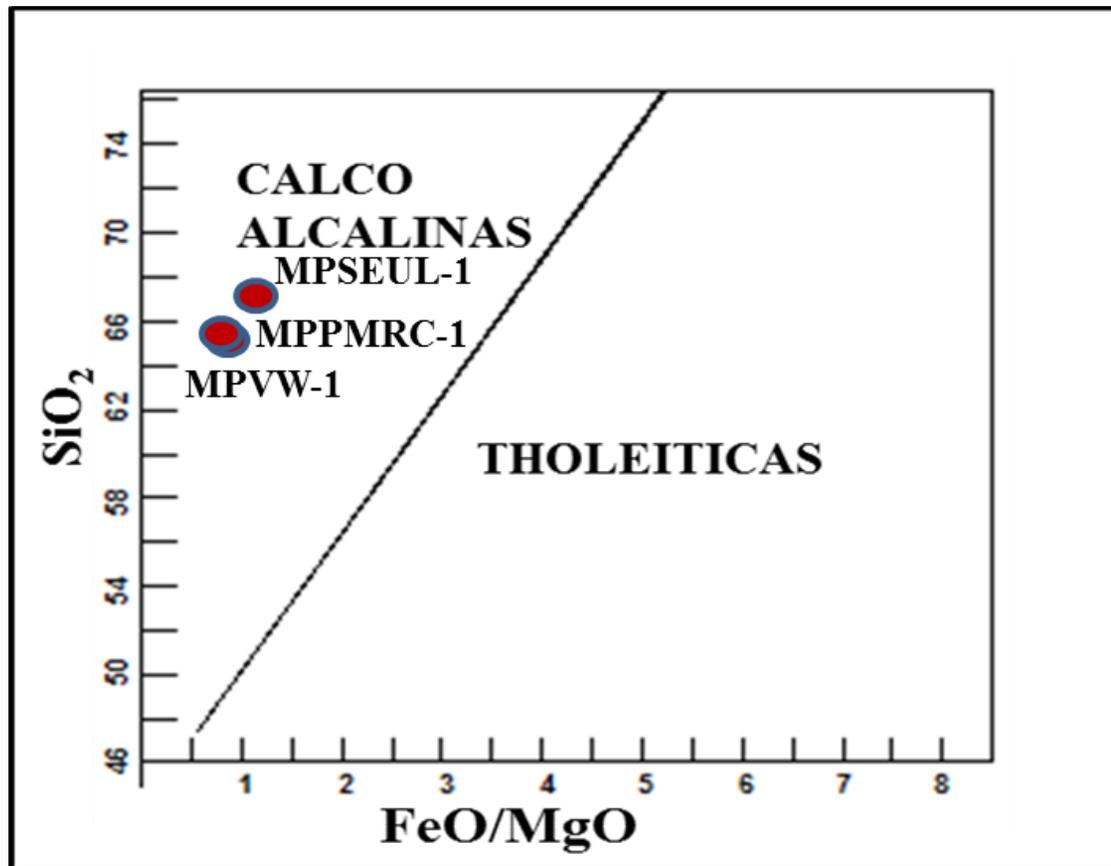
## **APÉNDICE C**

### **Diagramas de clasificación con ubicación de muestras**



C.1 Diagrama TAS con ubicación de muestras.



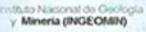


C.3 Diagrama de Miyashiro con ubicación de muestras.

**APÉNDICE D**  
**Análisis petrográficos realizados por INGEOMIN**

## D.1 Resumen de análisis y fotomicrografías realizados por INGEOMIN

*LAB-MIC.*


 Gobierno Bolivariano de Venezuela |
 
 Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería |
 
 Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN)

**ANÁLISIS PETROGRÁFICO**

FORMATO: PRAC-MIC-002-1 Total Págs.: 03

**Solicitud de servicio:** SS-059-15  
**Muestra N°1:** EST1  
**Fecha:** 15-12-15  
**Colector o solicitante:** Jesús López  
**Analista:** Ing. Cherlis Moreno  
**Localidad o procedencia:** La Gran Sabana, Edo-Bolívar  
**Coordenadas:**  
**X:** 706320 **Y:** 499134

**MUESTRA MPSEUL-1**



**Muestra EST-1 (NX) 10X/2X:** textura porfídica-seriada con matriz felsítica-microporfídica, formado por fenocristales de plagioclasa (Pl) con inclusión de opaco (Op), matriz formada por cuarzo, plagioclasa, clorita, epidota y carbonato.

**Descripción macroscópica de la muestra de mano:** en muestra de mano es una roca dura, homogénea, de grano fino, afanítica, en general es de color gris verdoso.

**Descripción microscópica de la sección delgada:**

**Textura:** al microscopio se observa holocristalina, una textura porfídica con matriz felsítica-microporfídica, seriada, fenocristales de gran tamaño, idiomorfos y subidiomorfos, otra inferior (matriz) formada por microcristales, xenomorfos, en general recristalizados, fracturados y fuertemente alterados.

**Estructura:** masiva

**Minerales en orden de abundancia decreciente:**

Pórfidos	(%)	Matriz	(%)	Accesorios	(%)
Plagioclasa	~30-25	Mezcla de plagioclasa, cuarzo, clorita y epidota.	~55-50	Clorita, minerales opacos, óxido e hidróxido de hierro, epidota y fragmentos de roca.	<2
Feldespato	~8-7				
Cuarzo	~5-4				

**Clasificación o tipo de roca:** Andesita  
**Origen:** Ígneo-volcánico  
**Descripción composicional:**

**Plagioclasa:** probable andesina-labradorita, en cristales idiomorfos a subidiomorfos, algunos fragmentos puntiagudos, seriada, observándose desde fenocristales de tamaño grueso, hasta muy fino, los de mayor tamaño presenta maclas polisintéticas tipo albita, algunas Carlsbad y escasos están zonados; en general bordes corroídos, con fuerte alteración propilítica (epidota, clorita, carbonato y sericita), en los bordes (cloritizada y sericitizada), y centro; además se observan relictos de mineral primario rellenos de opaco, clorita y carbonato.

**Feldespato:** subidiomorfos, de tamaño medio a fino, escasos gruesos, estos se encuentran bordeados por cristales finos y muy finos (matriz), bordes corroídos, fuertemente alterados (caolinizados), algunos cristales presentan inclusiones de opaco y fracturas rellenas de óxido e hidróxido de hierro.

  
 INGEOMIN  
 INGEOMIN, Avenida Libertador, Edificio INGEOMIN-MEM, Telefax: 0285-8519219  
 R. L. F.: Q-20007989-3  
 www.ingenomin.gov.ve

*J. 23/02/2016.1*  


## D.1 Continuación. Resumen de análisis y fotomicrografías realizados por INGEOMIN



Gobierno Bolivariano  
de Venezuela

Ministerio del Poder Popular  
de Petróleo y Minería

Instituto Nacional de Geología  
y Minería (INGEOMIN)



---

**ANÁLISIS PETROGRÁFICO**

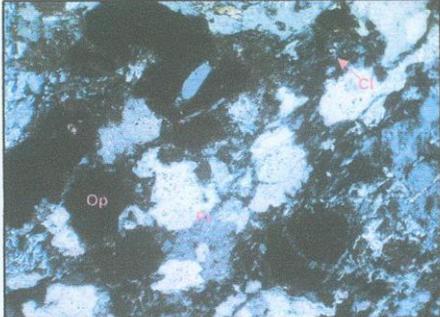
FORMATO: PRAC-MIC-002-1
Total Págs. : 05

**Cuarzo:** se presenta en cristales xenomorfos, de tamaño fino y dispersos heterogéneamente, monocristalino como micropórfidos.

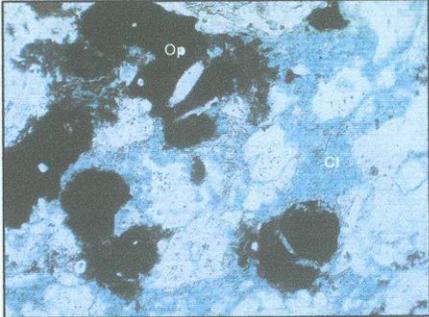
**Matriz:** compuesta por una desmezcla de minerales formados por agregados minerales felsíticos y minerales producto de alteración, principalmente clorita dispersa homogéneamente, así como también formando agregados laminares que bordean a los fenocristales y micropórfidos, además hay agregados granulares de epidota y relictos de mineral primario de opaco y plagioclasa.

**Accesorios:** clorita, tamaño fino, bordeando los micropórfidos y en la desmezcla de la matriz; minerales opaco, tamaño medio y fino, subidiomorfos, y como inclusión en los minerales; le sigue óxido e hidróxido de hierro, diseminado en la muestra y rellenando fracturas; epidota granudo y como inclusión en los pórfidos y matriz; finalmente fragmentos de roca muy escaso en la lámina.

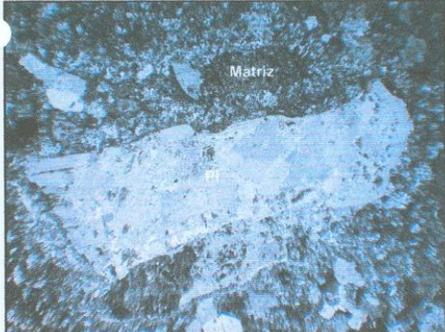
**Fotomicrografía muestra EST1: Andesita**



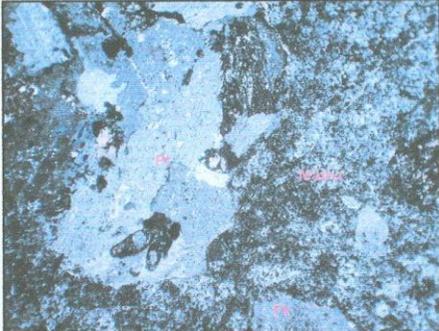
**Muestra EST-1 (NX) 10X/10X:** se observan plagioclasa (Pl), subidiomorfos, bordeado por clorita, la cual es de forma irregular y finalmente cuarzo (Q).



**Muestra EST-1(N//) 10X/10X:** se observan mineral opaco (Op), tamaño fino, bordeado de clorita.



**Muestra EST-1 (NX) 10X/2X:** se observa relict de fenocristal de plagioclasa (Pl), fuertemente alterado carbonatizado, bordeado por cristales más fino (matriz) formada por diminutos minerales de plagioclasa, cuarzo y clorita.



**Muestra EST-1 (NX) 10X/4X:** se observa textura felsítica-microporfídica, con pórfidos de plagioclasa (Pl) y feldespato (Fk), embebidos en esta.



INGEOMIN  
Instituto Nacional de Geología y Minería

INGEOMIN, Avenida Libertador, Edificio INGEOMIN-MEM, Telefax: 0285-4516219  
R. I. F.: G-20007898-3  
[www.ingecomin.gob.ve](http://www.ingecomin.gob.ve)

2



## D.1 Continuación. Resumen de análisis y fotomicrografías realizados por INGEOMIN



Gobierno Bolivariano  
de Venezuela

Ministerio del Poder Popular  
de Petróleo y Minería

Instituto Nacional de Geología  
y Minería (INGEOMIN)

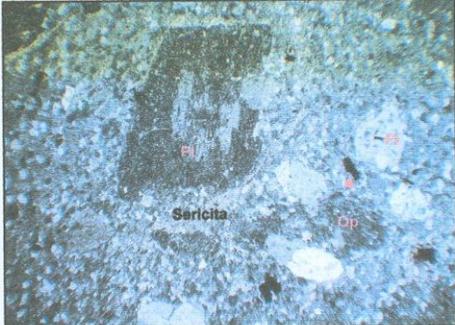


---

**ANÁLISIS PETROGRÁFICO**

FORMATO: PRAC-MIC-002-1
Total Págs.: 05

**Solicitud de servicio:** SS-059-15  
**Muestra N°2:** EST2  
**Fecha:** 15-12-2015  
**Colector o solicitante:** Jesús López  
**Analista:** Geól. Niya Murillo  
**Localidad o procedencia:** La Gran Sabana  
**Coordenadas:**  
**X:** 702052 **Y:** 504607



**MUESTRA MPPMRC-1**

**Muestra EST2 (NX) 10X/2X:** se observa textura porfídica seriada formada por fenocristales de plagioclasa (PI), embudada en una matriz microporfídica felsítica de plagioclasa y cuarzo, y una mezcla de clorita y sericita.

**Descripción macroscópica de la muestra de mano:** a simple vista es una roca dura, densa, homogénea, afanítica, con una cubierta de pátina de aproximadamente 2 cm de espesor. La muestra se observa porfídica, cristales dispersos homogéneamente dentro de una matriz muy fina, en general es de color verde oscuro con tonos claros.

**Descripción microscópica de la sección delgada:**

**Textura:** vista bajo el microscopio se observa una textura holocristalina porfídica seriada, definida por fenocristales subhedrales y algunos anhedrales, de tamaño variable mayormente grueso, todos inmersos en una matriz formada por microfenocristales y una mezcla de agregados microcristalinos de minerales felsíticos (cuarzo y feldespato) y minerales de alteración. En un extremo de la muestra se observa un contacto con textura porfídica en una matriz felsítica.

**Estructura:** Masiva-porfídica.

**Minerales en orden de abundancia decreciente:**

Pórfidos	(%)	Matriz	(%)	Accesorios	(%)
Plagioclasa	~35-30	Mezcla de plagioclasa, cuarzo, sericita, clorita y epidota.	~50-45	Opacos, esfena y circón.	≤1
Feldespato	~10-5				
Cuarzo	~5-3				

**Clasificación o tipo de roca:** Andesita.  
**Origen:** Ígneo-Volcánico.

**Descripción composicional:**  
**Plagioclasa,** probable andesina, de tamaño grueso y medio, en cristales tabulares subhedral y a veces anhedrales con bordes corroídos, se observa en cristales individuales y a veces en paquetes, con fracturas rellenas de agregados sericítico y óxido e hidróxido de hierro, algunos cristales han sufrido deformación, con maclas difusas polisintéticas, otras periclina, escasa Carlsbad, parcial y en ocasiones totalmente



INGEOMIN, Avenida Libertador, Edificio INGEOMIN-MEM, Telefax: 0285-8519219  
 R. I. F.: 0-29007899-3  
[www.ingeminellujay.vg](http://www.ingeminellujay.vg)

3



## D.1 Continuación. Resumen de análisis y fotomicrografías realizados por INGEOMIN



Gobierno Bolivariano  
de Venezuela

Ministerio del Poder Popular  
de Petróleo y Minería

Instituto Nacional de Geología  
y Minería (INGEOMIN)



ANÁLISIS PETROGRÁFICO

FORMATO: PRAC-MIC-002-1
Total Págs. : 05

sericitizada y carbonitizada a partir de los bordes y fracturas y se observa inclusiones de minerales opacos y esfena en algunas.

**Feldespatos potásicos:** tipo pertita y microclino pertítico, subhedral y anhedral con bordes irregulares.

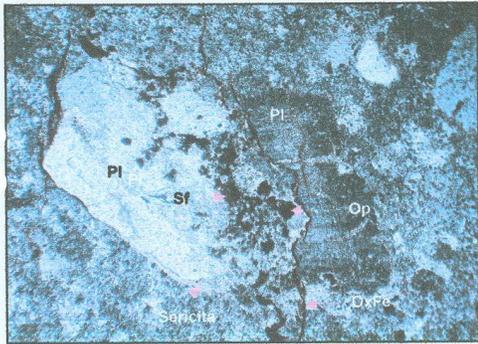
**Cuarzo:** se presenta en cristales anhedrales, de tamaño medio y dispersos heterogéneamente en la muestra.

**Matriz:** compuesta por micropórfidos de plagioclasa y algunos de cuarzo mezclados por agregados equigranulares de minerales felsíticos y minerales producto de alteración (sericita, clorita y muy escasa epidota), en general se observan homogéneos, en varias zonas se observa la sericita bien orientada y fluidal y además bordean a los fenocristales y rellenan microfracturas junto con óxido e hidróxido de hierro y también se observó relictos del mineral primario y en algunos solo ha quedado la huella, que ha sido bordeado por agregados de minerales opacos y reemplazado por minerales de alteración (sericita y clorita).

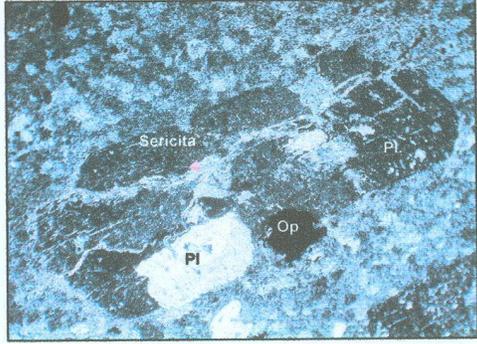
**Accesorios:** entre los accesorios se observan minerales opacos, en agregados granulares de tamaño fino, anhedral y asociados al titanio (esfena), algunos están incluidos en los fenocristales de plagioclasa y otros están dispersos heterogéneamente; hay óxido e hidróxido de hierro, de tamaño fino, se observa bordeando algunos cristales y relleno de las microfracturas; y por último hay circón de tamaño muy fino y granudo.

**Observación:** En contacto con la muestra se observa un borde de similar composición que la muestra descrita, pero la textura sólo es porfídica con matriz felsítica; no se observa minerales de alteración.

**Fotomicrografía muestra EST2: Andesita**



**Muestra EST2 (NX) 10X/4X:** se observa plagioclasa (PI), bordeado por óxido e hidróxido de hierro (ÓxFe) y sericita, con inclusiones de opacos (Op) y esfena (Sf).



**Muestra EST2 (NX) 10X/4X:** se observa un cristal de plagioclasa (PI) sericitizada a partir de las fracturas y bordeada por sericita y con inclusión de opaco (Op).



INGEOMIN  
Instituto Nacional de Geología y Minería

INGEOMIN, Avenida Libertador, Edificio INGEOMIN-MEM, Telefax: 0285-6519219  
R. I. F.: G-20007869-3  
[www.ingemin.gov.ve](http://www.ingemin.gov.ve)

4



**D.1 Continuación.** Resumen de análisis y fotomicrográficas realizados por INGEOMIN




---

**ANÁLISIS PETROGRÁFICO**

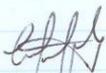
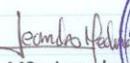
FORMATO: PRAC-MIC-002-1 Total Págs.: 05



**Muestra EST2 (N/) 10X/10X:** se observa la huella del mineral primario (plagioclasa) que ha sido sustituido por agregados de minerales opacos y minerales de alteración



**Muestra EST2 (NX) 10X/10X:** se observa dos tipos de texturas a la derecha es porfídica seriada en una matriz microporfídica felsítica y minerales de alteración (sericita y clorita). En la izquierda matriz porfídica en una matriz felsítica.

 Ing. Cherlis Moreno Analista	 Geól. Niya Murillo Analista	 Geól. Yecy Pomonti Responsable de Área	 MSc. Leandro Medina Coordinador Regional
--	---	---	--





INGEOMIN, Avenida Libertador, Edificio INGEOMIN-MEM, Teléfono: 0295-6519219  
R. L. F.: G-20057860-3  
[www.ingenomin.gov.ve](http://www.ingenomin.gov.ve)

5

**APÉNDICE E**

**Análisis petrográficos realizados por la Petrografa Geóloga Anna Bandini en la  
Escuela de Ciencias de la Tierra. UDO.**

**Muestra MPCW-1**

Ubicación: E: 687.560 N: 503.670.

Al microscopio se observa gran abundancia de fragmentos de minerales y rocas con tamaños que varían desde 0,20 mm hasta 5 mm, en su mayoría de forma subhedral. Todos se presentan rotos, incompletos y la mayoría con bordes de reacción con la matriz que los rodea. La relación matriz/componentes es de 25%/75%.

El Feldespato más abundante es tipo Plagioclasa (25%) de composición intermedia (Oligoclasa-Andesina), con maclas polisintéticas y algunas combinadas con la macla de la Albita. La mayoría de la Plagioclasa se presenta en grupos de cristales conformando fragmentos de rocas, que aún conservan parte de la textura de la roca de la cual provienen, posiblemente textura intergranular, en la cual se puede observar algo de Cuarzo anhedral (1%) entre los espacios que forman las Plagioclasas.

También hay presencia de cristales de Feldespato potásico en sus dos variedades: Pertita (micropertita) (10%) y Ortoclasa (5%), ambas en cristales generalmente subhedrales y de menor tamaño que la Plagioclasa.

Todos los cristaloclastos están embebidos en una matriz microcristalina, la cual muestra en ciertas zonas una incipiente textura hialopilítica, caracterizada por microcristales o microlitos de feldespatos potásicos (15%) euhedrales, alargados, dispuestos sin orientación y asociados con Cuarzo anhedral (5%) y vidrio (5%); ambos alojados en los espacios entre los feldespatos.

Toda la muestra (fragmentos y matriz) presenta una alteración Clorítica (10%) y Sericítica (10%), en microcristales alargados y orientados paralelamente formando bandas y bordeando a algunos fragmentos de rocas. Hay Calcita (5%) como alteración en los cristales de Plagioclasa. También se identifica escasa presencia de Epidoto (1%).

Como minerales accesorios se observan microcristales euhedrales de Circón (1%) y Apatita (1%), ambos euhedrales y distribuidos aleatoriamente en la matriz. Igualmente, hay pequeños cristales subhedrales de minerales opacos (5%), los cuales generalmente están asociados con Esfena (1%).

#### **Muestra MPPMRC-1. Toba cristalina.**

Ubicación: E: 702.052 y N: 504.607

Al microscopio se observa que el componente predominante y de mayor importancia son los fragmentos de cristales, con tamaños que varían desde 0,25 mm hasta 3 mm, en su mayoría son de forma euhedral y subhedral, y pocos anhedrales, pero todos se muestran rotos, angulosos, corroídos y la mayoría con bordes de reacción con la matriz que los rodea. La relación matriz/componentes es de 30%/70%.

De todos estos cristaloclastos, el más abundante es el Feldespato potásico en sus dos variedades: Pertita (micropertita) (20%) y Ortoclasa (5%), ambas en cristales generalmente subhedrales. Le sigue en abundancia el Feldespato tipo Plagioclasa (15%) de composición intermedia (Oligoclasa-Andesina), con maclas polisintéticas y algunas combinadas con la macla de la Albita. La Plagioclasa se presenta en cristales individuales o también unidos a otros conformando fragmentos de rocas, los cuales aún conservan parte de la textura original, posiblemente intergranular, en la cual se

puede observar algo de Cuarzo anhedral (1%), junto a reliquias de posibles minerales ferromagnesianos alterados a Clorita.

Todos los cristaloclastos están embebidos en una matriz felsítica, la cual muestra una incipiente textura hialopilitica, caracterizada por microcristales de feldespatos potásicos (20%) euhedrales, alargados, dispuestos sin orientación y asociados con Cuarzo anhedral (5%) y vidrio (5%); ambos alojados en los espacios entre los feldespatos.

Dispersos por toda la muestra se observan pequeños cristales euhedrales (cúbicos) y subhedrales de minerales opacos (5%), ya sea en la matriz o formando parte de los fragmentos de roca.

Toda la muestra (fragmentos y matriz) presenta una alteración Sericítica (10%) en microcristales alargados y orientados paralelamente. Además hay Clorita (5%) como alteración en los fragmentos de roca, bordeando los cristales individuales y en ciertas zonas de la matriz. También se observa Calcita (5%) y Epidoto (1%) sobre todo en los cristales de Plagioclasa.

Como minerales accesorios se observan microcristales euhedrales de Circón (1%) y Apatita (1%) dispersos en la matriz, y Esfena (1%) subhedral asociada con algunos de los minerales opacos.

**Muestra MPSEUL-1. Toba cristalina.**

Ubicación: E: 706.320 y N: 499.134

Al microscopio se observa gran cantidad de fragmentos de cristaloclastos de feldespatos con tamaños que varían desde 0,20 mm hasta 4 mm, todos fracturados, rotos y corroídos, de formas anhedrales y subhedrales, entre los cuales destacan los Feldespatos potásicos Pertita (15%) y Ortoclasa (5%), y las Plagioclasas (15%) tipo Oligoclasa-Andesina con maclas polisintéticas y algunas combinadas con la macla de la Albita. Estos feldespatos se observan también formando fragmentos de rocas, los cuales no muestran claramente la textura original.

Estos fragmentos están rodeados por una matriz félsica en una relación matriz/componentes de 35%/65%. Es microcristalina con clara tendencia a formar una textura microporfídica, en la cual se destacan pequeñísimos cristales (0,5 mm) de feldespatos potásicos (15%), anhedrales y con bordes de reacción con la masa de microcristales en la cual están inmersos. Dicha masa se presenta de composición Cuarzo-feldespática (15%) con vidrio intersticial (5%).

Hay minerales opacos (8%) en pequeños granos euhedrales (cúbicos) y dispersos homogéneamente por toda la muestra.

Toda la roca presenta una abundante alteración Sericítica (15%) en microcristales alargados, orientados paralelamente, y ubicados especialmente en la matriz felsítica y dentro de las fracturas presentes en los fragmentos de feldespatos.

Hay Calcita (2%) asociada con la Sericita y escaso Epidoto (1%) y Clorita (1%), todos como minerales de alteración dispersos tanto en la matriz como en algunos de los cristaloclastos de feldespatos.

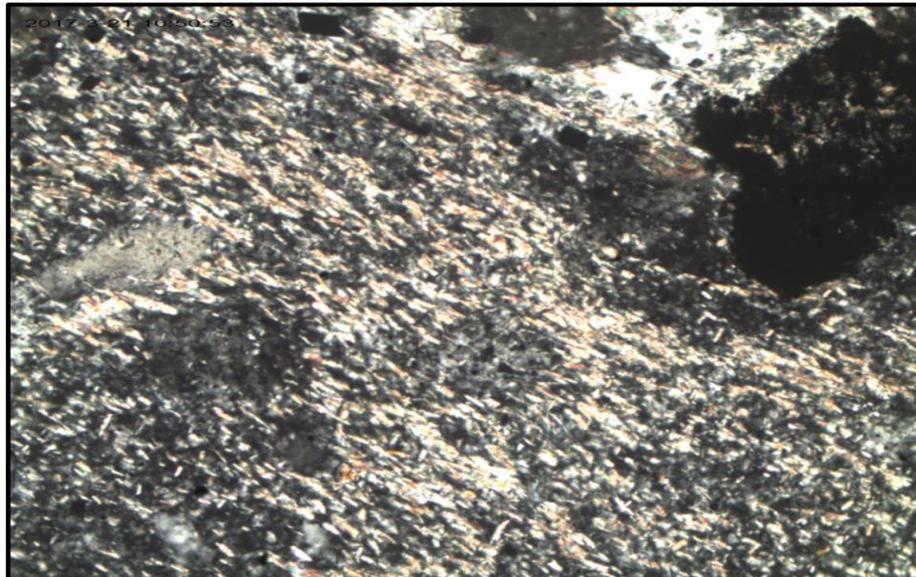
En la matriz se observan fracturas rellenas de Oxi-hidróxidos de hierro (1%) al igual que bordeando algunos de los cristales de mayor tamaño.

Como accesorios, dispersos por la muestra, hay presencia de microcristales euhedrales de Apatita (1%) y Esfena (1%), esta última asociada generalmente con los minerales opacos.

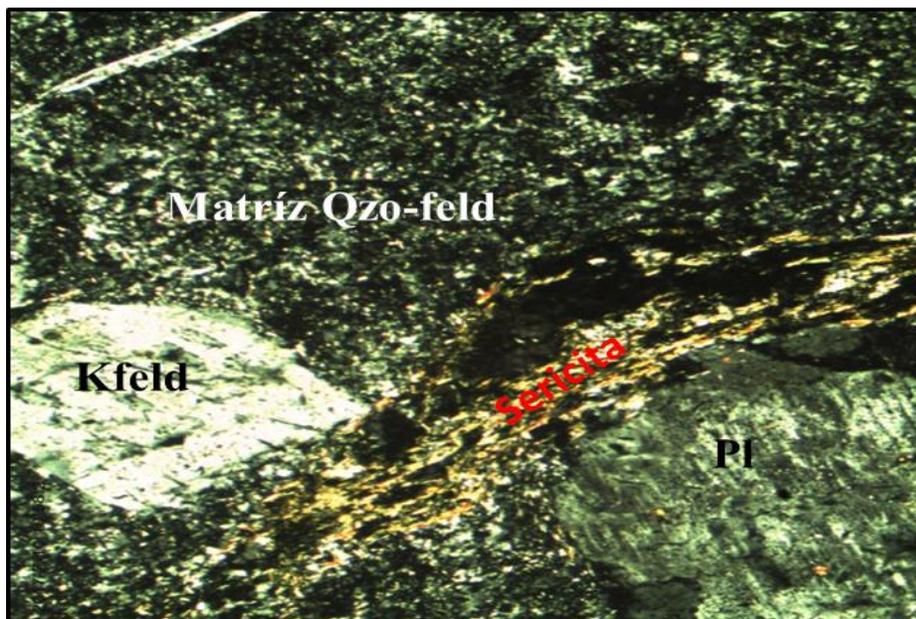
-----  
**Geól. Anna Bandini B.**  
**PETROGRAFO-MINERALOGISTA**

**APÉNDICE F**

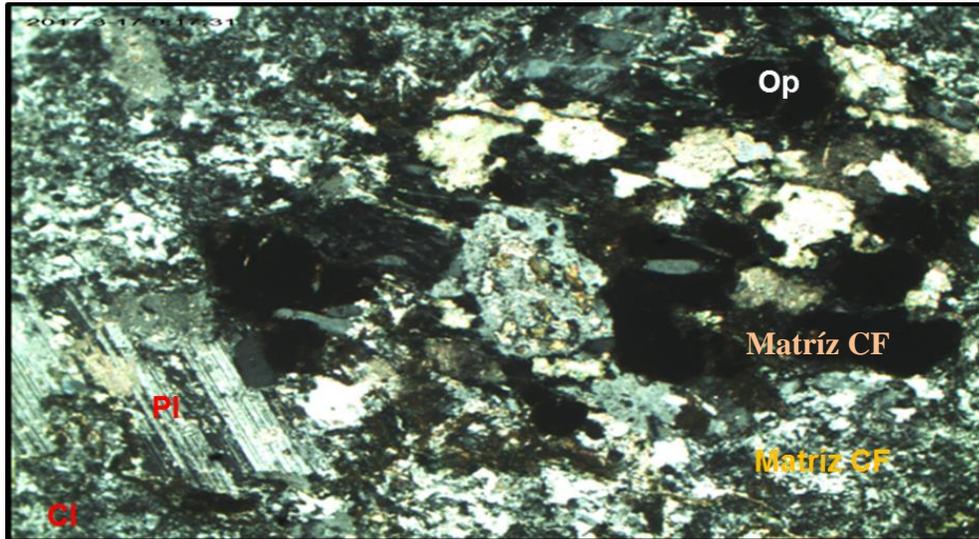
**Fotomicrografías de secciones delgadas de muestras analizadas por la  
Petrógrafa Anna Bandini en la Escuela de Ciencias de la Tierra. UDO.**



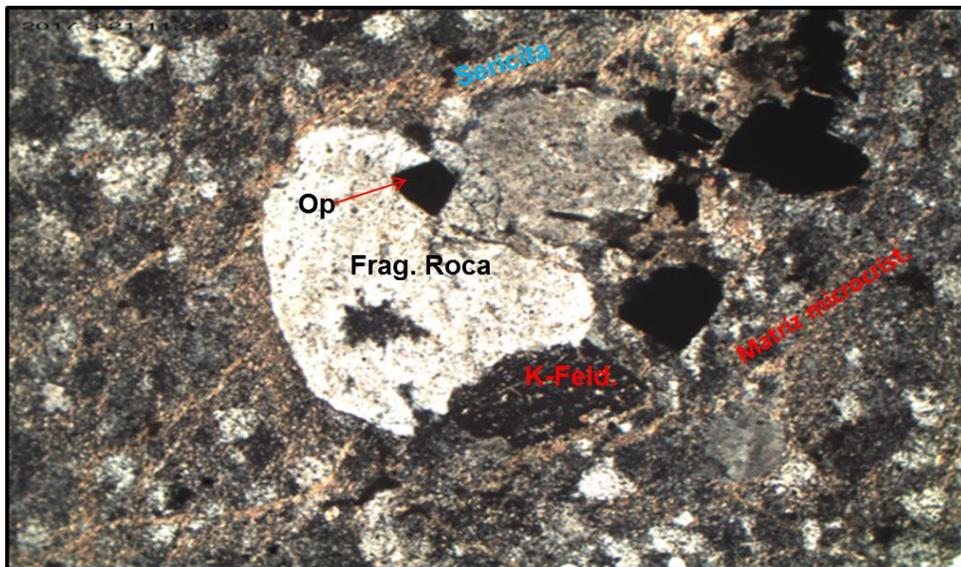
**F.1** Fotomicrografía de la muestra MPPMRC-1. Nicoles Cruzados, aumento 10x/0.20. Nótese el mineral sericita en microcristales alargados y orientados paralelamente.



**F.2** Fotomicrografía de la muestra MPCW-1. Nicoles Cruzados, aumento 10x/0.20. Nótese los cristaloclastos de feldespato, rodeados por matríz cuarzo feldespática y asociados a una banda de sericita orientada en la parte central de la imagen.



**F.3** Fotomicrografía de la muestra MPSEUL-1. Nícoles Cruzados, aumento 10x/0.20. Presencia de plagioclasa, feldespato potásico (pertita, ortoclasa), matriz cuarzo-feldespática (15%) con vidrio intersticial (5%) y opacos (8%).



**F.4** Fotomicrografía de la muestra MPSEUL-1. Nícoles Cruzados, aumento 10x/0.20. Fragmento de roca formado por varios cristales de feldespato potásico con bordes corroídos rodeados por matriz microcristalina y bandas de sericita.

**APÉNDICE G**

**Análisis químico realizado en los Laboratorios del Centro de Geociencias de la  
Escuela de Ciencias de la Tierra. UDO.**

## G.1 Análisis químico de las muestras MPCW-1, MPPMRC-1 y MPSEUL-1.



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NUCLEO DE BOLIVAR – ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA**  
**CENTRO DE GEOCIENCIAS**

**Solicitante:** ALEJANDRO RONDON / JESUS LOPEZ  
**Muestra:** Rocas  
**Lugar:** Santa Elena de Uairen, Municipio Gran Sabana  
**Fecha:** 09 / Marzo / 2016

**CLAVES DE NOMENCLATURA DE MUESTRAS**

01: MPPMRC-1  
02: MPVW-1  
03: MPSEUL-1

**ANALISIS QUIMICO**

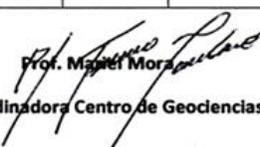
Estación	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	KO <sub>2</sub>	Unidades
01	65.42	15.01	0.37	2.85	5.16	3.37	3.53	1.51	%
02	65.01	16.27	0.26	3.15	6.89	3.41	2.03	1.02	%
03	67.17	16.89	0.40	3.24	5.03	2.75	1.21	2.17	%

**ELEMENTOS TRAZAS**

Estación	Cromo	Cobre	cinc	Plomo	Níquel	Cobalto	Vanadio	Unidades
01	29	17	29	5	4	9	31	Ppm
02	15	23	20	9	7	11	22	Ppm
03	23	21	24	11	3	10	29	Ppm



Técnico Isidro Fariás  
Analista



Prof. Magali Mora  
Coordinadora Centro de Geociencias

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS  
Calle san Simón, Campo Universitario J.N.Perfetti-la sabanita-Ciudad Bolívar-8001



## **APÉNDICE H**

**Promedio normal de algunos elementos trazas (contenido < 0.1 % en peso) y su asociación con unidades litológicas típicas (tomado de Rose et al., 1979)**

**H.1** Promedio normal de algunos elementos trazas (contenido < 0.1% en peso) y su asociación a suelos y unidades litológicas típicas (tomado de Rose et al., 1979).

<b>Elemento</b>	<b>Contenido en suelo (ppm)</b>	<b>Unidades Litológicas típicas</b>	<b>Movilidad superficial</b>
<b>Cromo</b>	<b>45</b>	<b>Ultramáficas</b>	<b>Baja</b>
<b>Cobalto</b>	<b>10</b>	<b>Ultramáficas</b>	<b>Moderada</b>
<b>Cobre</b>	<b>15</b>	<b>Ígneas básicas</b>	<b>Moderada</b>
<b>Plomo</b>	<b>15</b>	<b>Arenisca</b>	<b>Baja</b>
<b>Níquel</b>	<b>17</b>	<b>Ultramáficas</b>	<b>Baja</b>
<b>Vanadio</b>	<b>55</b>	<b>Ígneas máficas</b>	<b>Moderada</b>
<b>Zinc</b>	<b>35</b>	<b>Arcillitas Negras</b>	<b>Alta</b>

**APÉNDICE I**

**Afloramientos de la Formación Pacaraima en las adyacencias de  
Santa Elena de Uairén**



**I.1** Afloramiento de la Formación Pacaraima en la Cantera Waramasén. (Foto: archivo pers. de Miguel G.)



**I.2** Bloques de la Formación Pacaraima (vía Santa Elena de Uairén - La Línea (Brasil)), vegetación de sabana, y al fondo, vista panorámica de la conformación geomorfológica de la zona investigada. (Foto: archivo pers. de Alejandro R. y Jesús L.).

## **ANEXOS**

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

<b>Título</b>	<b>EVALUACIÓN PETROQUÍMICA DE LAS ROCAS DE LA FORMACIÓN PACARAIMA AFLORANTE EN EL EJE SANTA ELENA DE UAIRÉN-PACARAIMA, MUNICIPIO GRAN SABANA, FRONTERA ENTRE VENEZUELA Y BRASIL</b>
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>López T., Jesús A.</b>	<b>CVLAC</b>	<b>V – 19.941.574</b>
	<b>e-mail</b>	<b>jesuslopez4x40591@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>Rondón S., Alejandro J.</b>	<b>CVLAC</b>	<b>V – 16.759.574</b>
	<b>e-mail</b>	<b>rondon24_jose@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

<b>Evaluación</b>
<b>Petroquímica</b>
<b>Petrografía</b>
<b>Geoquímica</b>
<b>Streckeisen</b>
<b>Rocas Piroclásticas</b>

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de Geología	Geología

### Resumen (abstract):

El área de Santa Elena de Uairén y zonas adyacentes, objeto del presente estudio, está conformada litológicamente por rocas piroclásticas cristalinas, con muy poco vidrio y algo de fragmentos de roca, y pertenecen a la Formación Pacaraima, infrayacente y discordante con las rocas siliciclásticas de la Formación Uairén, a las cuales sirve de basamento. Los minerales predominantes en estas rocas piroclásticas son la plagioclasa intermedia, el feldespato alcalino (ortoclasa y pertita) y cuarzo en menor cantidad, en la mayoría de los casos menor al 20%. La geomorfología responde a un sistema de lomeríos, de poca elevación sobre el terreno y con pendiente poco pronunciada, comprendida entre 15% - 20%. La hidrografía se manifiesta con ríos de corriente intermitente y drenaje predominantemente dendrítico, pertenecientes a la cuenca del río Kukenán. Las principales corrientes fluviales son el río Uairén y Sampoy, respectivamente. Durante el trabajo de campo se visitaron cuatro afloramientos rocosos de la Formación Pacaraima, a saber: Maurack, Vía Waramasén, Cantera Waramasén y trayecto Vía Santa Elena de Uairén-La Línea (Pacaraima), seleccionándose 4 muestras: 1 por cada afloramiento. De las cuatro muestras se analizaron 3 mediante estudio petrográfico de secciones delgadas y, 1 macroscópicamente con lupa electrónica y observación de fragmentos en el microscopio. La ubicación de 3 muestras en el Diagrama de Streckeisen corresponde a rocas intermedias (latita cuarcífera) y 1 riolita con poco cuarzo. Dos de las muestras (MPPMRC-1 y MPCW-1) presentaron orientación mineral y presencia de clorita, epidota y sericita, lo cual sugiere un efecto metamórfico de grado bajo. Tres (3) muestras fueron analizadas geoquímicamente por el método de Espectrometría de Absorción Atómica, lo cual permitió su ubicación en la zona de la dacita, del Diagrama TAS, mientras que en el Diagrama de Miyasiro, su clasificación fue de afinidad calcoalcalina. La evaluación por los Criterios de Saturación en Alúmina y contenido de álcalis, determinó que las rocas son peraluminosas. Se acota, que las

---

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

rocas aquí evaluadas son piroclásticas y no volcánicas o lávicas; de allí, que debe ser considerada esta observación, ya que este tipo de litología muestra, por lo general, contaminación con fragmentos de rocas y minerales de especies preexistentes. La afinidad geoquímica calcoalcalina en este tipo de rocas, se les relaciona en muchos casos, a nivel mundial, con un ambiente de arco magmático continental. Desde el punto de vista económico y la observación de campo, las rocas piroclásticas de la Formación Pacaraima no representan prospecto alguno como roca ornamental, áridos o material de construcción. En Venezuela se les correlaciona a las Volcánicas de Caicara y éstas, a su vez, con el Grupo Irirí (1,88 Ga) de Brasil, en la provincia aurífera de Tapajós.

---

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
<b>Gómez, Miguel</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>V - 4.031.652</b>
	<b>e-mail</b>	<b>mingomezh@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	<b>ing_miguelgomezh@yahoo.com</b>
<b>Salazar, Edixón</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>V - 4.910.127</b>
	<b>e-mail</b>	<b>edixonsal@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>Bandinni, Ana</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>V - 12.601.683</b>
	<b>e-mail</b>	<b>bandinianna@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	

### Fecha de discusión y aprobación:

**Año Mes Díag**

<b>2018</b>	<b>03</b>	<b>02</b>
-------------	-----------	-----------

**Lenguaje:** spa

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6

### Archivo(s):

Nombre de archivo
Evaluacion Petroquimica de la Formacion Pacaraima.docx

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F  
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m  
n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 \_ - .**

### Alcance:

Espacial: \_\_\_\_\_ (Opcional)

Temporal: \_\_\_\_\_ (Opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo:** Geólogo

**Nivel Asociado con el Trabajo:** Pre - grado

**Área de Estudio:** Departamento de Geología

**Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:** Universidad de Oriente

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

**Derechos:**

De acuerdo al artículo de reglamento de Trabajos de Grado

“Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la  
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros  
fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo,  
quien lo participará al Consejo Universitario”

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

  
\_\_\_\_\_  
López T. Jesús A.

Autor 1

  
\_\_\_\_\_  
Rondón S. Alejandro J.

Autor 2

  
\_\_\_\_\_  
Miguel Gómez  
Asesor

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

