

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
CARRERA DE GEOLOGÍA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y PETROGRÁFICO DEL GRANITO  
UBICADO AL SUROESTE DEL RÍO NAHUALATE**

**YÁNETH ALEJANDRA MARÍA REICHE ALVARADO**

**COBÁN, ALTA VERAPAZ, MARZO DE 2017**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
CARRERA DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

INFORME FINAL DE TESIS

ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y PETROGRÁFICO DEL GRANITO  
UBICADO AL SUROESTE DEL RÍO NAHUALATE

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR

YÁNETH ALEJANDRA MARÍA REICHE ALVARADO  
200944086

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA GEÓLOGA

COBÁN, ALTA VERAPAZ, MARZO DE 2017

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

### **RECTOR MAGNÍFICO**

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

### **CONSEJO DIRECTIVO**

PRESIDENTE: Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales  
SECRETARIO: Ing. Geól. César Fernando Monterroso Rey  
REPRESENTANTE DOCENTE: Lcda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj  
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES: Br. Fredy Enrique Gereda Milián  
PEM. César Oswaldo Bol Cú

### **COORDINADOR ACADÉMICO**

Ing. Ind. Francisco David Ruiz Herrera

### **COORDINADOR DE LA CARRERA**

Ing. Geól. Sergio David Moran Ical

### **COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

COORDINADOR: Ing. Geól. Ricardo Enrique Milián de la Cruz  
SECRETARIO: Ing. Geól. Edwin Orlando Yash Asencio  
VOCAL: Ing. Geól. Silvia Friné Cortez Bendfeldt

### **REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO**

Ing. Civil *M.Sc.* Julio Enrique Reynosa Mejía

### **REVISOR TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

Ing. Geól. Luis Gustavo Chiquín Marroquín

### **ASESOR**

Ing. Geol. *M.Sc.* Osmín Jared Vásquez Hernández

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE (CUNOR)  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz

PBX: 79 566 600 Ext. 209

Guatemala, C. A.

c. c.: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

Ref. 15-CG-278/2016  
10 de octubre de 2016

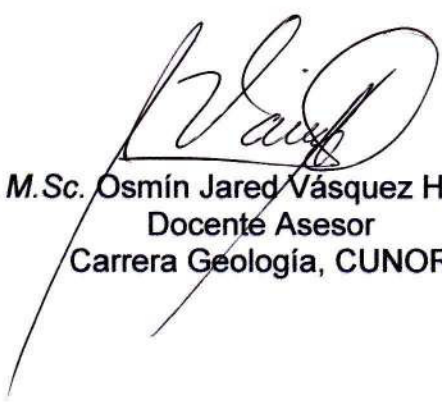
Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **ASESORÍA** del informe final de Trabajo de Graduación de la **T.U. GEÓL. YÁNETH ALEJANDRA MARÍA REICHE ALVARADO**, carné n.º **200944086**, titulado: **“ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y PETROGRÁFICO DEL GRANITO UBICADO AL SUROESTE DEL RÍO NAHUALATE”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

  
Ing. M.Sc. Osmin Jared Vásquez Hernández  
Docente Asesor  
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE (CUNOR)  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz

PBX: 79 566 600 Ext. 209

Guatemala, C. A.

c. e.: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

Ref. 15-CG-54/2017  
08 de febrero de 2017


Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final de Trabajo de Graduación de la T.U. **GEÓL. YÁNETH ALEJANDRA MARÍA REICHE ALVARADO**, carné n.º **200944086**, titulado: **"ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y PETROGRÁFICO DEL GRANITO UBICADO AL SUROESTE DEL RÍO NAHUALATE"**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
Ing. Geó. Luis Gustavo Chiquín Marroquín  
Docente Revisor  
Carrera Geología  
CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE (CUNOR)  
CARRERA GEOLOGÍA**  
Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX: 79 566 600 Ext. 209  
Guatemala, C. A.  
c. e.: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

Ref. 15-CG-82/2017  
10 de marzo de 2017

Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio remito el informe Final de Trabajo de Graduación a nivel de grado titulado: **“ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y PETROGRÁFICO DEL GRANITO UBICADO AL SUROESTE DEL RÍO NAHUALATE”**, realizado por el (la) T.U. GEÓL. YÁNETH ALEJANDRA MARÍA REICHE ALVARADO, carné n.º 200944086, el cual ya fue revisado por la **COMISIÓN DE REDACCIÓN Y ESTILO** de la Carrera de Geología, quienes consideramos llena los requisitos establecidos para su aprobación.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

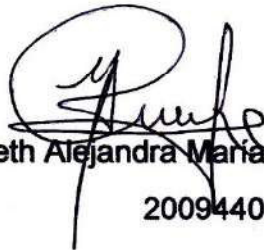
  
Ing. Julio Enrique Reynosa Mejía  
Comisión Redacción y Estilo  
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

## HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y PETROGRÁFICO DEL GRANITO UBICADO AL SURESTE DEL RÍO NAHUALATE**, como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniera Geóloga.



Yáneth Alejandra María Reiche Alvarado

200944086

## **RESPONSABILIDAD**

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es: Del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor; la Comisión de Redacción y Estilo de cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma”.

Aprobado en punto SEGUNDO, inciso 2 .4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de Sesión extraordinaria de Consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012.



**ACTO QUE DEDICO A:**

Francisco Alvarado Gómez, por ser mi alentador y apoyo durante todo este tiempo, porque sé lo orgulloso que se ha de sentir por esta meta alcanzada. Con todo mi amor para usted papi.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **DIOS**

Por medio de la Santísima Trinidad; siendo mi maestro, guía y aliento en todo momento, permitiéndome lograr cada una de las metas y sueños que ha puesto en mi corazón. Te daré gracias de todo corazón, Señor, Dios mío, pues tu amor hacía mí ha sido grande. Sal 86: 12-13.

### **MIS PADRES**

Alfredo y Emma; por apoyarme incondicionalmente durante todos estos años, por su trabajo, esfuerzo, sacrificio, consejos y amor para lograr esta meta, esto también es suyo.

### **MIS PAPITOS**

Papi Paco y Mami Rome, por cuidar de mí en los desvelos y apoyarme en todo momento a través de su cariño, amor y paciencia, por creer en mí y mis capacidades.

### **MIS HERMANAS**

Romelia y Daniela, por su apoyo incondicional, oraciones, risas y alegrías, por corregirme y guiarme, sin ustedes nada hubiese sido igual.

### **MI FAMILIA**

A Carmelina del Valle (Mama Mina), a mis tíos Alvarado Toc y a mi tía Sandra Reiche, a mis primos Alvarado Toc, Alvarado Juárez, Vaides Reiche y familia Paau Yat, por su cariño y apoyo.

## **MI AMOR**

Por alentarme con paciencia y amor en esta etapa, para animarme y no desmayar, aunque el viento soplara fuerte, por ser mi luz y pilar.

## **MIS AMIGOS**

Siendo la familia que escogí durante estos años, por celebrar triunfos y llorar los fracasos, por compartir su cariño y amistad. A ustedes; Karen, TH, Anny y demás amigas y amigos que estuvieron al pendiente de mí durante estos años.

**A *Dioritic Army***; por haberme apoyado con sus conocimientos, por compartir sueños y proyectos enfocados a la geología, espero podamos cumplir con ellos.

## **LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Al CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE, por permitirme ser mi *Alma Máter*, formarme y construir mis conocimientos tanto académicos como personales, para ser una profesional al servicio de mi país.

## **LA CARRERA DE GEOLOGÍA**

Por abrirme las puertas que me permitieron transformarme en un ser humano consiente de la belleza geológica que tiene nuestro planeta, y por ende el potencial que tiene Guatemala.

## **LOS CATEDRÁTICOS DE LA CARRERA DE GEOLOGÍA**

Dr. Jesús de la Cruz Escoto, a los Ingenieros: Verónica Juárez, Sergio Morán, Julio Reynosa, Osmín Vásquez, Ricardo Milián, Juanángel Díaz, César Fernando Monterroso, Silvia Cortez, Aroldo López, Bernie Castillo y Luis Chiquin, y a los Licds. Carlos Gómez y Byron Oliva y demás catedráticos que me transmitieron conocimientos, experiencias, consejos y amistad en mi formación académica.

## **A MIS ASESORES**

Ing. Osmín Vásquez e Ing. Ricardo Milián por guiarme, orientarme y ser mis facilitadores para culminar esta meta.

**Infinitas gracias**

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	v
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1

### **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN**

1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Justificación	3
1.3 Hipótesis	4
1.4 Antecedentes	4
1.5 Objetivos	5
1.5.1 Objetivo general	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
1.6 Ubicación y extensión del área	6
1.7 Accesos	7
1.8 Marco geológico regional	8
1.8.1 Estratigrafía terciaria	9
a. Rocas graníticas (Tbg)	9
b. Estratigrafía cuaternaria o terciaria no divididos	10
1. Depósitos volcánicos andesíticos (QTa)	10
2. Depósitos volcánicos no divididos (QTV)	10
c. Estratigrafía cuaternaria	11
1. Depósitos volcánicos de domo de lava riolítica (Qrdf)	11
2. Depósitos piroclásticos de caída post – Los Chocoyos (Qpa4)	12
3. Depósitos aluviales (Qal)	13
1.8.2 Geología estructural	13
1.9 Marco teórico	15
1.9.1 Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP – MS)	15
1.9.2 Normas CIPW	16
1.9.3 Concepto de saturación	17
1.9.4 Criterio base en base a la alcalinidad	19
1.9.5 Elementos traza y tierras raras	20
1.9.6 Origen y ambiente tectónicos	20
1.9.7 Petrografía	22

## **CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA**

2.1. Métodos: cualitativo y cuantitativo	23
2.1.1 Cuantitativo	23
2.1.2 Cualitativo	24
2.2. Marco metodológico o metodología validada	24
2.2.1 Etapa de recopilación y análisis bibliográfico	24
2.2.2 Etapa de trabajo de campo	24
2.2.3 Etapa de trabajo de laboratorio	25
2.2.4 Etapa de gabinete	25

## **CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

3.1. Petrografía	27
3.1.1 Unidad de Diorita (TDr)	29
3.1.2 Unidad de Granodiorita (TGr)	34
3.1.3 Unidad de Granito (Tg)	42
3.2. Geoquímica	47
3.2.1 Elementos mayores	48
3.2.2 Elementos traza	54
3.3. Discusión de resultados	57
3.3.1 Unidad de Granodiorita (TGr)	57
3.3.2 Unidad de Diorita (TDr)	59
3.3.3 Unidad de Granito (Tg)	60
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	73
1. Mapa geológico	75
2. Perfil geológico	77
3. Geoquímica de elementos traza y mayores	79

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>No.</b>		<b>Página</b>
1.	Área de estudio	6
2.	Vías de acceso: Guatemala – aldea Guineales	8
3.	Secuencia cronológica relativa de las unidades litológicas	9
4.	Ubicaciones de volcanes y calderas	14
5.	Diagrama de saturación de alúmina de Shand, 1927	19
6.	Diagramas de total de álcalis vs. SiO <sub>2</sub> y K <sub>2</sub> O Vs. Na <sub>2</sub> O	20

7.	Diagrama de QPA de muestras de la Unidad de Diorita	32
8.	Diagrama de QPA de muestras de la Unidad de Granodiorita	39
9.	Diagrama de QPA de muestras de la Unidad de Granito	45
10.	Diagramas de series ígneas	48
11.	Diagramas de clasificación geoquímica	51
12.	Gráficos multielementos tipo Harker para los elementos mayores	52
13.	Clasificación de rocas graníticas	53
14.	Diagrama de elementos traza normalizados al manto primitivo; Sun and Mcdonough, 1989	56
15.	Diagrama de elementos REE normalizadas a Condrito, Nakamura (1974)	57
16.	Formación de fase poquilítica tardía	59
17.	Clasificación geotectónicas de rocas volcánicas Schandl and Gorton (2002)	63

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

No.		Página
1.	Afloramiento de Unidad de Diorita	30
2.	Unidad de Diorita en vista macroscópica	31
3.	Sección delgada de la Unidad de Diorita	34
4.	Afloramiento de Granodiorita <i>insitu</i>	36
5.	Afloramiento de Granodiorita en bloques	37
6.	Unidad de Granodiorita en vista macroscópica	38
7.	Sección delgada de Granodiorita	41
8.	Afloramiento de Unidad de Granito	43
9.	Unidad de Granito en vista macroscópica	44
10.	Sección delgada de la Unidad de Granito	46

## ÍNDICE DE TABLAS

No.		Página
1.	Coordenadas GTM del área	6
2.	Elementos e iones detectados mediante ICP-MS	16
3.	Criterio del índice de saturación de sílice (ISS)	17
4.	Clasificación alfabética de los granitos	22
5.	Contenido de la norma CIPW de los minerales normativos; albita, anortita y ortoclasa	50
6.	Comparación de las características según Barker (1979) y la muestra AR-MT13	50

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>No.</b>		<b>Página</b>
1.	Muestras recolectadas	28
2.	Localización de muestras con análisis geoquímico	47



## LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

<b>Afs:</b>	Feldespató alcalino
<b>Amp:</b>	Anfíbol
<b>Bt:</b>	Biotita
<b>Fd:</b>	Feldespató
<b>M:</b>	Máficos
<b>Mo:</b>	Minerales opacos
<b>Ox:</b>	Óxidos
<b>Pl:</b>	Plagioclasa
<b>Qal:</b>	Depósitos aluviales.
<b>Qpa4:</b>	Depósitos piroclásticos de caída post-Los Chocoyos
<b>Qrdf:</b>	Depósitos volcánicos de domo de lava riolítica
<b>QTa:</b>	Depósitos volcánicos andesíticos
<b>QTV:</b>	Depósitos volcánicos no divididos
<b>Qz:</b>	Cuarzo
<b>Tbg:</b>	Rocas graníticas
<b>TDr:</b>	Unidad de Diorita
<b>Tg:</b>	Unidad de Granito
<b>TGr:</b>	Unidad de Granodiorita
<b>Zrn:</b>	Circón



## RESUMEN

Los cuerpos intrusivos al sureste de Guatemala carecen de información detallada, lo cual nos permite establecer características propias de dichas unidades. Por ello se procedió a analizar geoquímica y petrográficamente las rocas graníticas que se ubican al suroeste del río Nahualate.

La metodología utilizada para este análisis fue a través del método cuantitativo; para determinar la composición química de las muestras de las rocas plutónicas recolectadas por medio del análisis petrográfico, se tomó en consideración el contenido de óxidos y de saturación de alúmina representados en los diagramas de dos o tres variables, para la determinación del ambiente de génesis y otras características.

El método cualitativo, fue utilizado para la descripción e interpretación de los caracteres primordiales de la investigación en base a los resultados obtenidos en el método cuantitativo y así detallar los aspectos litológicos, mineralógicos y estructurales de las unidades de Granodiorita (TGr), Diorita (TDr) y Granito (Tg).

Se analizaron 8 muestras petrográficamente de las cuales se clasificaron 5 para realizar el análisis geoquímico, de todas ellas se determinaron tres unidades: Unidad de Diorita y Unidad de Granodiorita ambas pertenecientes a una serie calcoalcalina y de contenido de álcalis metaluminosa y la Unidad de Granito de serie calcoalcalina alta en potasio y de contenido álcalis peraluminosa, clasificándose estas unidades como cuerpos intrusivos de Granitos Tipo I.

Como recomendaciones principales se citan las siguientes: Realizar la geocronología del cuerpo intrusivo Nahuatlé ubicado al noreste de la caldera Tzanjuyub, por medio del método de U-Pb, para correlacionarlo con los eventos geodinámicos de la cordillera volcánica de Guatemala. Realizar un estudio isotópico, con el sistema Rb-Sr para los granitoides localizados en el área de estudio.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio titulado: Análisis geoquímico y petrográfico del granito ubicado al suroeste del río Nahualate, aporta información científica de las cámaras magmáticas que se encuentran al occidente de la cordillera volcánica de Guatemala.

La identificación de los cuerpos intrusivos en Guatemala es muy escasa, por ello es necesario caracterizar los granitos e interpretar su génesis y relaciones de campo, para la definición de los eventos que han afectado la reconstrucción de la historia geológica del valle del río Nahualate.

La cartografía elaborada y la clasificación contribuyen al desarrollo del país, teniendo un mayor detalle de las delimitaciones de unidades geológicas, que son utilizadas para estudios de manejo ambiental, manejo de desastres e interés económico de la población.

El granito del río Nahualate es un cuerpo mesocrático de grano fino a medio de contactos graduales y discordantes con la roca encajante. Mineralógicamente se caracteriza por contener: cuarzo, plagioclasas andesinas y labradoritas, varía composicionalmente en el contenido de anfíboles. El cuerpo ígneo pertenece a una serie calcoalcalina de alto potasio, clasificándose como un granito tipo I.

Con base a las características geoquímicas y petrográficas de las rocas graníticas permiten asociarlas a los procesos geológicos de zona de subducción de la costa del Pacífico de Guatemala. Este granito posee anomalías negativas en el P, Ti y Nb, distintivas de granitos del arco volcánico (VAG), y anomalías

2

positivas en U, K y Sr, lo que indica la interacción de la corteza continental, siendo un cuerpo ígneo de origen mixto (corteza + manto).

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Planteamiento de problema**

¿Cuáles son las características petrográficas del granito ubicado al sureste del río Nahualate?

#### **1.2 Justificación**

Los cuerpos intrusivos al suroeste de Guatemala se ven descritos de manera general en estudios previos, dentro de los cuales no se ha logrado establecer una característica propia de dicha unidad.

Pudiendo determinarse el tipo granito a través de la geoquímica el ambiente del cuerpo tectónico, al establecer el grado de saturación de sílice y posteriormente la clasificación de la roca según el contenido de alúmina, relacionando las características petrográficas que esta unidad presenta.

El estudio de la unidad granítica ubicada al suroeste del río Nahualate contribuye a la determinación de las diferentes pulsaciones magmáticas que se han presentado por medio de las colisiones ocasionadas en la zona de subducción al suroeste de Guatemala, se logra así caracterizar este punto específicamente y la variación de las características que se pueden presentar.

### 1.3 Hipótesis

Las características petrográficas y geoquímicas del granito ubicado al sureste del río Nahualate corresponden a un granito calcoalcalino.

### 1.4 Antecedentes

Este granito se encuentra ubicado dentro de la unidad intrusiva al suroeste del río Nahualate, la cual ha sido caracterizada por algunos autores en años anteriores, como se describen a continuación.

Bonis (1984), recopiló el trabajo de cartografía de varios estudiantes realizados durante los años setenta y editó el mapa geológico Sololá a escala 1: 50 000 (Hoja 1960 II), en la cual se definen unidades terciarias como: Granodiorita y Diorita (Thbd), sin definir detalladamente las características de los cuerpos intrusivos del área.<sup>1</sup>

Hughes (1978), realizó la investigación titulada: *Geology and pretology of Caldera Tzanjuyub*, considera al granito que se ubica al oeste de la caldera Tzanjuyub en las cercanías de los ríos Pachamiyá y Samalá, como un granito biótítico (Tbg) de grano medio, tipo leucocrático; donde establece al cuerpo intrusivo como basamento plutónico.<sup>2</sup>

Newhall (1986), en *Geology of the lake Atitlán region, western Guatemala*; plantea los ciclos de las calderas que se encuentran alrededor

---

<sup>1</sup> Sam Bonis. *Mapa geológico 1: 50,000, Sololá* (Guatemala: Instituto Geográfico Nacional, 1984).

<sup>2</sup>, Jhon M. Hughes. *Geology and Pretology of Caldera Tzanjuyub, western Guatemala* (Hanover, New Hampshire: Dartmouth College, 1978), 12-76.



del lago Atitlán, que durante el ciclo de Atitlán se encuentra el basamento plutónico Miocénico.<sup>3</sup>

Dentro del mismo documento Newhall, menciona el estudio realizado por Williams y McBirney (1979) donde a través de dataciones de zircones hacen referencia del granito de grano grueso ubicado al oeste del río Nahualate, con una edad de 8,3 Ma aproximadamente.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 General**

Analizar geoquímica y petrográficamente las rocas graníticas que se ubican al suroeste del río Nahualate.

### **1.5.2 Específicos**

Identificar las características mineralógicas y petrográficas de las rocas graníticas analizadas

Reconocer el ambiente tectónico en que se generó el cuerpo intrusivo

Determinar las características geoquímicas del intrusivo para fines de clasificación

---

<sup>3</sup> Christopher G. Newhall. *Geology of the Lake Atitlán region, western Guatemala* (Hanover, Alemania: Dartmouth College, 1986), 23-53.

## 1.6 Ubicación y extensión del área de investigación

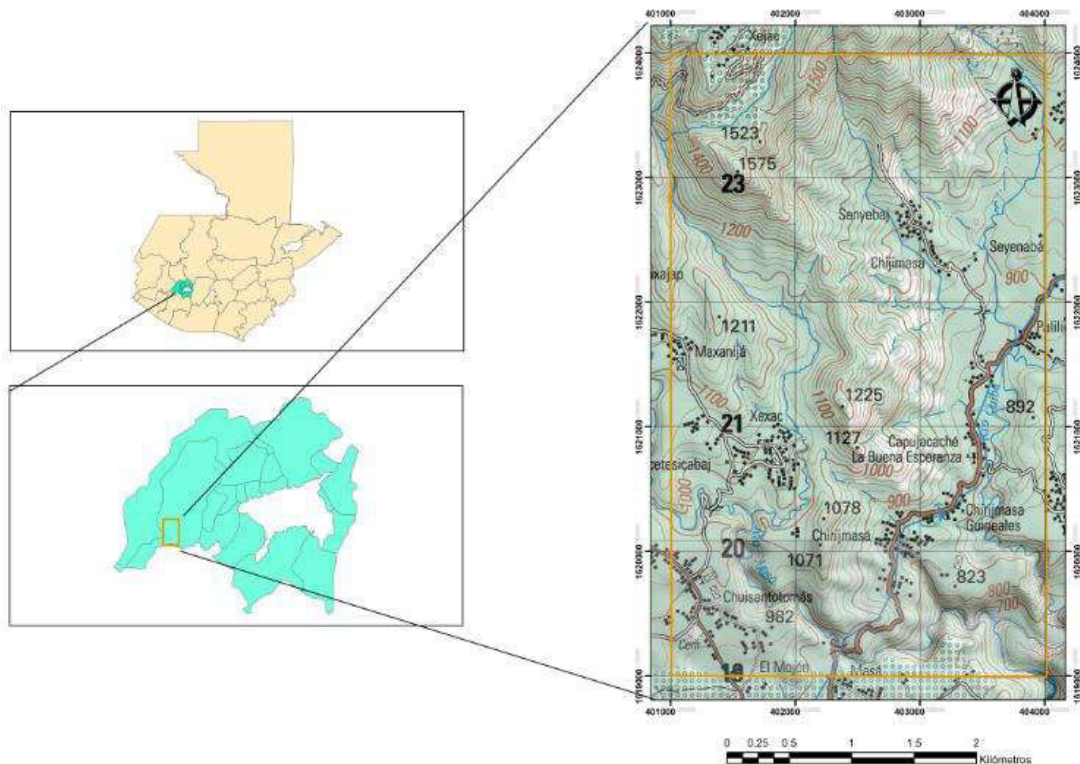
El granito se localiza al oeste de la aldea Xejuyub, Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá. La unidad del granito que se estudió abarca una extensión de 15 km<sup>2</sup> aproximadamente, la cual se delimita en la tabla 1.

**TABLA 1**  
**COORDENADAS GTM DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Vértice	X	Y
A	401000	1624000
B	404000	1624000
C	401000	1619000
D	404000	1619000

Fuente: Investigación de campo. 2015.

**FIGURA 1**  
**ÁREA DE ESTUDIO**



Fuente: Investigación campo. 2015.

## 1.7 Accesos

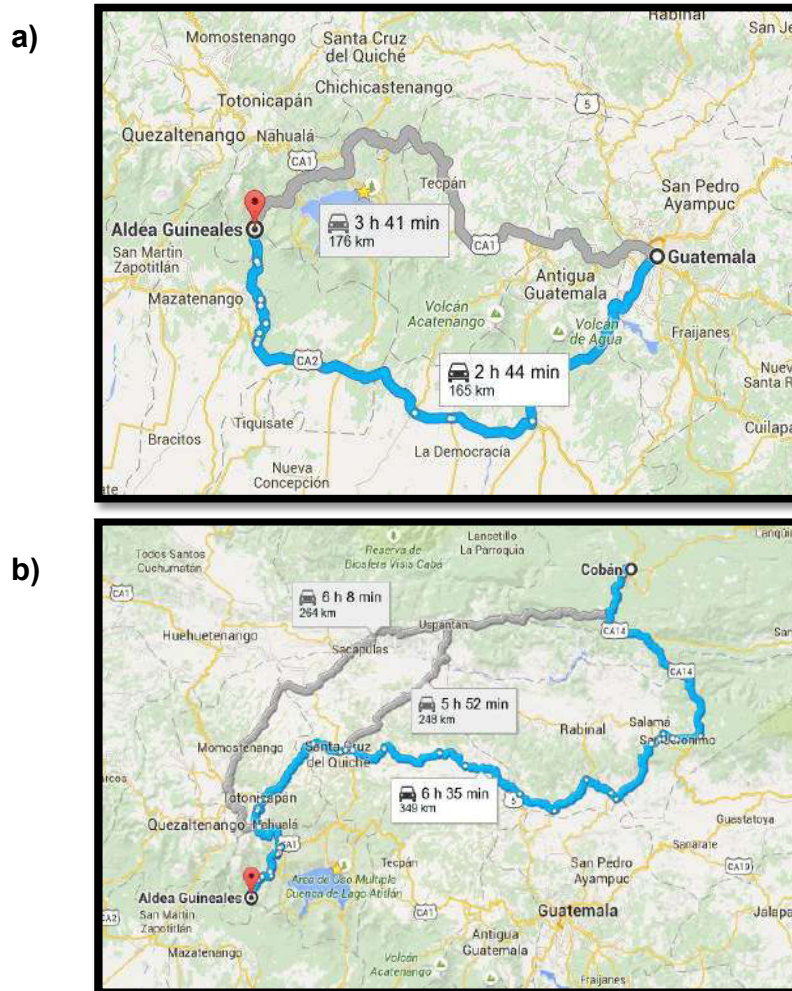
El área de estudio se localiza al oeste de la aldea Guineales y al este de la aldea Xejuyub.

Para acceder al área se puede tener cualquiera de los siguientes recorridos:

- a) De Guatemala a la aldea Guineales se debe tomar la carretera CA-2 con el recorrido marcado en línea celeste con una distancia de 165 km, o bien tomar la CA-1 marcada en línea gris de la figura 2 superior, con una distancia de 176 km (Ver figura 2).
- b) De Cobán, Alta Verapaz hacía la aldea Guineales, se toma la CA-14 rumbo a Guatemala, seguidamente de la ciudad capital se accede a la CA-1 o bien a la CA-2, teniendo un recorrido de 349 km, como se puede observar en la figura 2 con la línea celeste.

Los puntos de muestreo se establecieron en base a la etapa exploratoria de la investigación y a la variabilidad que presente el cuerpo intrusivo.

**FIGURA 2**  
**VÍAS DE ACCESO**

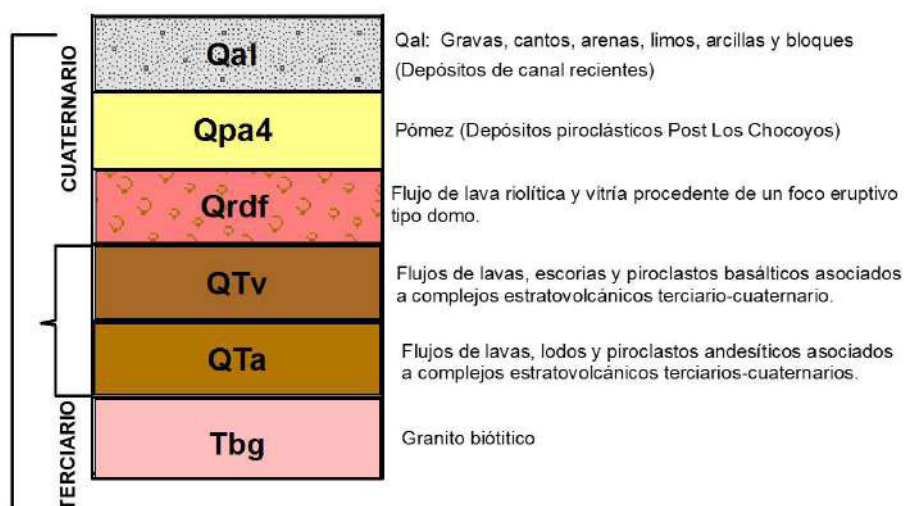


Fuente: © Google maps. 2015.

## 1.8 Marco geológico regional

El encuadre litoestratigráfico del área se encuentra delimitado por diversos depósitos terciarios y cuaternarios, según lo citan diversos autores. Bonis S. *Et. Al.* (1970) propone la secuencia descrita en la figura 3: rocas graníticas, rocas lávicas, flujos y lodos piroclásticos, depósitos piroclásticos de caída y depósitos cuaternarios.

**FIGURA 3**  
**SECUENCIA CRONOLÓGICA RELATIVA**  
**DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS**



**Fuente:** Yáneth Reiche, Informe de la cartografía geológica y geomorfológica de la microcuenca del río Masá. 2015.

### 1.8.1 Estratigrafía terciaria

#### a. Rocas graníticas (Tbg)

Según Hughes, Jhon (1978), describe que esta unidad está compuesta por minerales oscuros como: biotitas con un 40 % y un 60 % entre cuarzo y feldspatos alterados de color blanco a beige, por las características antes mencionadas se consideró ser un granito tipo biótítico (Tbg), tipo leucocrático. Reiche (2014), describe que se encuentra meteorizada con un grado medio- alto (2- 4).

Están en contacto con la Unidad de Flujos andesíticos (QTa), que en ocasiones se encuentra cubierta por la Unidad de Ceniza (Qpa4).

Reiche (2014), propone que debido a las características que se presentan en esta unidad y según su naturaleza, la cual es considerada bajo un control estructural, relaciona estas rocas graníticas con los granitoides plutónicos de grano medio identificados al oeste de la caldera Tzanjuyub por Hughes (1978); quien lo estableció como un basamento plutónico, los cuales se encuentran expuestos en las cercanías de la confluencia de los ríos Pachamiyá y Samalá.

**b. Estratigrafía cuaternaria o terciaria no divididos**

**1. Depósitos volcánicos andesíticos (QTa)**

Reiche (2015), describe esta unidad como flujos de lava y bloques subrectangulares de contenido andesítico, con un contenido mineralógico de feldespatos, micas, vidrio, matriz de grano fino, y ocasionalmente fracturado según el nivel de meteorización que llegan a presentar.

La coloración que presenta esta unidad es grisácea oscura- clara y ocasionalmente verdosa, esta última asociada a algún tipo de alteración geoquímica.

Con una dirección de flujo de: N210/65, N079/62, N140/57, N010/20 y N017/26.

**2. Depósitos volcánicos no divididos (QTV)**

Según Bonis (1970), asocia esta unidad al complejo estratovolcánico, dentro de la cual se presentan

coladas de lava piroclásticas, coladas de lodo y depósitos menores de proyección aérea.

Reiche (2014), la caracteriza con una matriz arenosa, bloques y clastos de 2 mm a 60 cm de composición andesítica, brechas piroclásticas, brechas piroclásticas conformadas de andesita y escoria, con una coloración marrón, rosáceo a gris y espesores variables entre 5 m  $\pm$  100 m aproximadamente.

### **c. Estratigrafía Cuaternaria**

#### **1. Depósitos volcánicos de domo de lava riolítica (Qrdf)**

Reiche (2014) define que las Lavas riolíticas (Qrdf) presentan una coloración grisácea- blanquecina, con un grado medio-alto de meteorización y levemente fracturada, en ocasiones se observa con bandeamiento intercalado entre capas de riolita de color marrón en forma de pequeñas esférulas dentro de una matriz de vidrio de coloración oscura (obsidiana), con una textura vesicular, esta unidad se encuentra cubierta por una delgada capa de ceniza (Qpa4), con una orientación de flujo N015/72.

Hughes, Jhon (1978), data estos flujos riolíticos localizados en lo que el describe como una estructura de tipo domo (El pico Zunil) en una edad de  $84\ 068 \pm 8\ 871$  ambas en miles de años, los cuales los caracteriza como un domo de riolita-obsidiana no erosionado.

Otro atributo que este autor agrega es que en pequeñas exposiciones hacia los flancos de este domo son obsidianas de color gris oscuro y la presencia de estructuras perlíticas dispuestas en bandas finas, las cuales contienen un 5 % de fenocristales que consisten en granos finos de feldespatos en una matriz de vidrio, por lo que cataloga esta unidad como una riolita vitrofírica.<sup>4</sup>

## **2. Depósitos piroclásticos de caída post – Los Chocoyos (Qpa4)**

Núñez (2011), es una unidad que se encuentra representada por capas de tephra, formadas por depósitos pomáceos de al menos cinco erupciones silíceas posteriores a Los Chocoyos y dos o tres periodos de erupciones basálticas y andesíticas.

En la parte inferior de tephra de Los Chocoyos se encuentran depositadas pumita con hornblenda y andesita que fue expulsada después de la erupción de Los Chocoyos al oeste de la caldera Atitlán.

Reiche (2014), define que la unidad está compuesta de diversos estratos de ceniza, las cuales se diferencian por su granulometría (ceniza y lapilli), los cuales indican diferentes eventos de erupción. Su composición es silícea, las cuales se exponen en afloramientos de espesores de 1 m a 30 m de altura, cuya

---

<sup>4</sup> Yáneth Reiche. *Informe de la cartografía geológica y geomorfológica de la microcuenca del río Masá* (Guatemala: Vivamos Mejor Guatemala, 2015), 26.



compactación es de grado bajo a medio, su coloración es de blanco- gris y en ocasiones de marrón a negra.

### **3. Depósitos aluviales (Qal)**

Según Reiche (2014), son depósitos conformados por clastos andesíticos, riolíticos, pomáceos y graníticos, los cuales contienen fracciones finas conformadas por arenas o material de grano fino de aristas redondeadas y subredondeadas, los cuales se ubican en quebradas y ríos.

#### **1.8.2 Geología estructural**

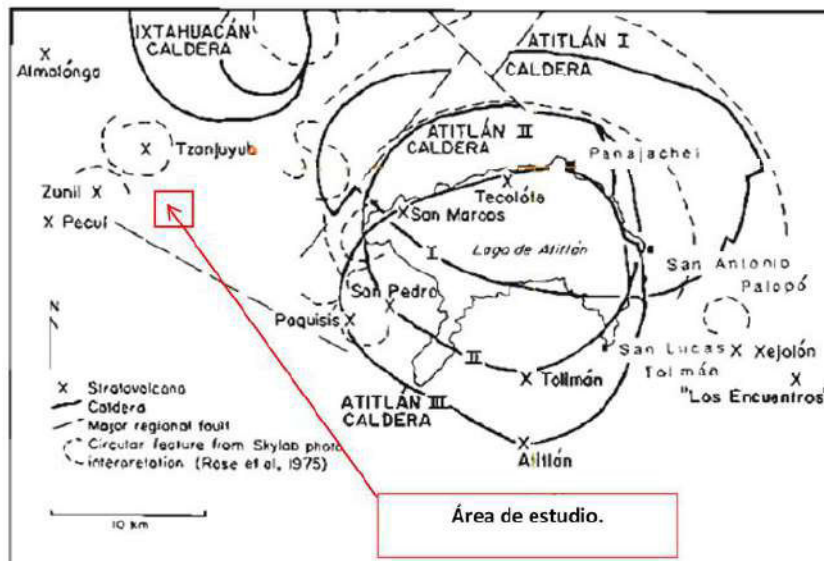
El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la cordillera volcánica del país, la limitan al norte la caldera Ixtahuacán, caldera Tzanjuyub y al *NW* los volcanes Santo Tomas y Zunil, valle Almolonga y hacia el este las calderas de Atitlán (I, II y III). Fig. 4.

Hughes (1978), propone que la caldera Tzanjuyub está delimitada hacia el oeste por un fallamiento que se asocia a la falla Zunil, la cual define Williams (1960) como una estructura de 600 m de longitud en dirección similar (*W*), proyectada de sur- norte (tiro arriba).

Quien también sugiere que el plegamiento de las zonas volcánicas más elevadas es secundario y se delimita a la deformación local a través de las zonas de falla y en algunos pliegues generales con tendencias de *N45- 60W* y *N30- 60E*, de rumbo dextral y sinistral, así mismo se encuentra orientado de *N-S* que provoca fracturas por la misma compresión y distensión los

cuales se reflejan en los grabens que controlan las lineaciones volcánicas y definen el curso de cauces de ríos.

#### FIGURA 4 UBICACIÓN DE VOLCANES Y CALDERAS



**Fuente:** Modificado de *Recent Geologic History of Lake Atitlán, a Caldera Lake in Western Guatemala*, Newhall, 1986, para fines ilustrativos. 2015.

Stoiber (1973), describe que la caldera Tzanjuyub es una estructura que se localiza en la zona límite intersegmentada entre el oeste y centro de la placa fraccionada de Guatemala, adyacente a la zona de la falla Zunil, dicha caldera se caracterizó de tipo erosiva por Williams (1960), similar a la descripción que propone Hughes (1978), como un colapso natural depresivo.

Reiche (2014) concluye que el comportamiento estructural del área está controlado por un sistema de fallamiento regional con orientación *NW-SE*.

## 1.9 Marco teórico

Las áreas principales que abarca la investigación son la geoquímica y petrografía, por ello es necesario tomar en cuenta las definiciones de los temas que se tomaran en cuenta para realizar el estudio, las cuales se describen a continuación.

### 1.9.1 Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)

La geoquímica será proporcionada por medio del método *ICP-MS* por sus siglas en inglés (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry). Es una técnica de análisis elemental e isotópico que se ha venido imponiendo para las más diversas aplicaciones, por la capacidad de discriminar isótopos y a sus bajos límites de detección que pueden llegar a ser inferiores a los 10 – 6 mg/L, dichos límites son mucho más bajos que otras técnicas analíticas más convencionales como la fluorescencia de rayos x, espectrometría de emisión o absorción atómica, etc.<sup>5</sup>

Es una técnica de análisis inorgánico que es capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango dinámico lineal de 8 órdenes de magnitud (ng/l – mg/l). Consiste en un equipo dotado de un monocromador posterior a la muestra y una serie de detectores dedicados a cada elemento en diferentes posiciones del plano foca”.<sup>6</sup>

Tiene como ventaja los bajos límites de detección para la mayoría de los elementos detectando unas pocas ppb- ppt lo que facilita el análisis de elementos traza, siendo más específico los elementos detectados por esta norma se enlistan en la tabla 2. También es aplicable a diferentes áreas como la biología, física de materiales, medioambiente y geoquímica.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> Haydn Barros, *Et.Al.*, *Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado* (Argentina: Cytel, 2015), 113.

<sup>6</sup> Robert Thomas. *A beginner's guide to ICP-MS. Part I, Spectroscopy* (Iselin, New Jersey: Estados Unidos, 2001), 1.

<sup>7</sup> Robert Thomas. *A beginner's guide to ICP-MS. Part I, Spectroscopy*, 1.

**TABLA 2**  
**ELEMENTOS E IONES DETECTADOS MEDIANTE ICP-MS**

Elemento	Límite de detección	Límite superior	Elemento	Límite de detección (ppm)	Límite superior (ppm)
SiO <sub>2</sub>	0,01 %	100 %	Er	0,03	10 000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 %	100 %	Eu	0,02	10 000
CaO	0,01 %	100 %	Ga	0,5	10 000
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,002 %	100 %	Gd	0,05	10 000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04 %	100 %	Hf	0,1	10 000
K <sub>2</sub> O	0,01 %	100 %	Ho	0,02	10 000
MgO	0,01 %	100 %	La	0,1	50 000
MnO	0,01 %	100 %	Lu	0,01	10 000
Na <sub>2</sub> O	0,01 %	100 %	Nb	0,1	50 000
P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0,01 %	100 %	Nd	0,3	10 000
TiO <sub>2</sub>	0,01 %	100 %	Pr	0,02	10 000
Ba	5 ppm	5 %	Rb	0,1	10 000
Nb	5 ppm	50 000 ppm	Sm	0,05	10 000
Ni	20 ppm	10 000 ppm	Sn	1	10 000
Sc	1 ppm	10 000 ppm	Sr	0,5	50 000
Sr	2 ppm	50 000 ppm	Ta	0,1	50 000
Y	3 ppm	50 000 ppm	Tb	0,01	10 000
Zn	5 ppm	50 000 ppm	Th	0,2	10 000
LOI	0,1 %	100 %	Tm	0,01	10 000
Sum	0,01 %	100 %	U	0,1	10 000
Ce	30 ppm	50 000 ppm	V	8	10 000
Co	20 ppm	10 000 ppm	W	0,5	10 000
Cu	5 ppm	10 000 ppm	Y	0,1	50 000
Zn	5 ppm	10 000 ppm	Yb	0,05	10 000
Ba	1 ppm	50 000 ppm	Zr	0,1	50 000
Be	1 ppm	10 000 ppm			
Ce	0,1 ppm	50 000 ppm			
Co	0,2 ppm	10 000 ppm			
Cs	0,1 ppm	10 000 ppm			
Dy	0,05 ppm	10 000 ppm			

**Fuente:** Modificado de Catalogo empresa *Bureau Veritas Minerals*. 2015 *Schedule of services an Fees* (CDN). 2015.

### 1.9.2 Norma CIPW

Es un método de clasificación normativa (norma), la cual involucra el re-cálculo de los análisis químicos de las rocas ígneas a un juego de fórmulas ideales. En los cálculos, los óxidos de los

análisis químicos son combinados en una secuencia de pasos prescritos para formar los “minerales componentes normativos”. Los minerales normativos fijados, corresponden a minerales anhidros que cristalizan desde magmas a bajas presiones.

Esta norma proporciona una terminología que resumen distintas características importantes de las rocas ígneas, incluyendo la saturación en sílice y alúmina.

### 1.9.3 Concepto de saturación

El concepto de desarrollo de saturación en sílice –  $\text{SiO}_2$  – depende, tanto de la concentración relativa de sílice, como de la concentración de otros constituyentes químicos de la roca, que se combinan con ella para formar silicatos.<sup>8</sup> (Ver tabla 3)

**TABLA 3**  
**CRITERIO DEL ÍNDICE DE SATURACIÓN DE SÍLICE (ISS)**

Clasificación	Contenido de $\text{SiO}_2$
Sobresaturada	> 70 %
Saturada	64 % - 70 %
Subsaturada	< 64 %

Fuente: *Granite Genesis: In-Situ Melting and Crustal Evolution*, Guo-Neng Chen, 2009.

El otro componente importante en la composición de todas las rocas ígneas es el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Que se expresa en proporción molecular, que es el porcentaje del óxido dividido por su peso molecular. (Prop. Mol. = % peso óxido/peso molecular).<sup>9</sup>

La saturación de alúmina, de acuerdo a Shand (1927) (Fig. 5), desarrolla tres clases de rocas:

<sup>8</sup> Universidad Nacional de Tucuman. *Clasificación y nomenclatura de las rocas ígneas*, 2015. [http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_18/02.htm](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/02.htm) (13 de agosto de 2015).

<sup>9</sup> *Ibíd.*

**a. Rocas peraluminosas**

La proporción molecular de  $[Al_2O_3 > (CaO + Na_2O + K_2O)]$  (valores mayores a 1) (también se expresa como ASI o ACNK). El corindón aparece en la norma y los minerales característicos son: moscovita, topacio, turmalina, espesartita, almandino, sillimanita, andalucita, cordierita, biotita.<sup>10</sup>

**b. Rocas metaluminosas**

La proporción molecular de  $[Al_2O_3 < (CaO + Na_2O + K_2O) > (Na_2O + K_2O)]$  (valores menores a 1). La anortita es prominente en la norma y contienen algunos minerales oscuros típicos como: biotita, hornblenda, diópsido, titanita y melilita.<sup>11</sup>

**c. Rocas peralcalinas**

En las cuales la proporción molecular de  $[Al_2O_3 < (Na_2O + K_2O)]$ . En la norma se forman: Acmita, silicato de sodio y raramente silicato de potasio. Contienen minerales alcalinos ferromagnesianos tales como: aegirina, riebeckita, richterita, acmita y fluorita.<sup>12</sup>

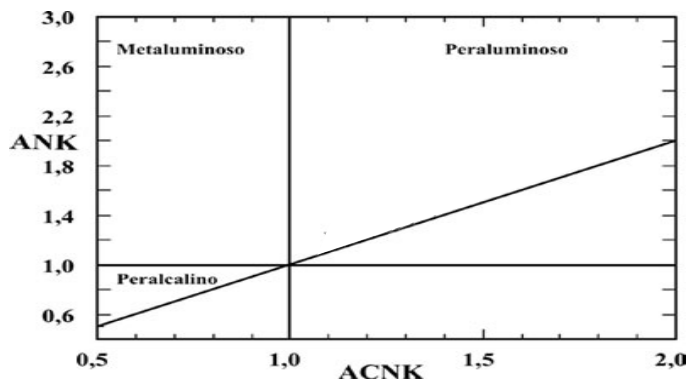
---

<sup>10</sup> Universidad Nacional de Tucuman. *Clasificación y nomenclatura de las rocas ígneas*, 2015. [http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_18/02.htm](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/02.htm).

<sup>11</sup> *Ibíd.*

<sup>12</sup> *Ibíd.*

**FIGURA 5**  
**DIAGRAMA DE SATURACIÓN DE ALÚMINA DE SHAND, 1927**



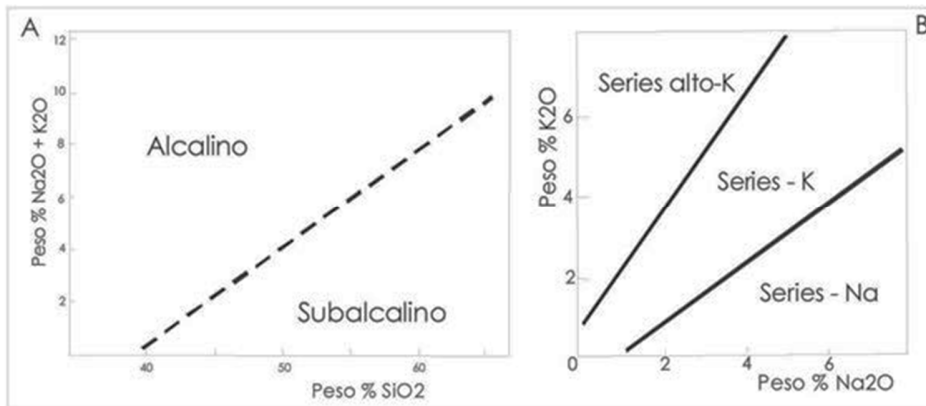
Fuente: *The Eruptive Rocks*, Shand, S.J. 1927.

#### 1.9.4 Criterio base en base a la alcalinidad

Se basa en la relación molar álcali-alúmina refiriéndose a  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$ , denominándose como un índice peralcalino. Las series originales definidas por Iddings, 1922, alcalinas y subalcalinas, se denominan actualmente como series toleíticas y calcoalcalinas, la cual se distingue en el gráfico del total de álcalis vs. Sílice.

Dentro de la clasificación de las rocas alcalinas se proyectan diferentes, en la parte superior de las subalcalinas y se diferencian por campos divididos en por una línea (McDonald, 1968 e Irvine y Baragar, 1971), quienes dividen las series alcalinas en sódicas y potásicas, de la cual Middlemost (1975) sugiere agregar las altas en potasio. (Figura 6).

**FIGURA 6**  
**DIAGRAMAS DE TOTAL DE ÁLCALIS vs. SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O Vs. Na<sub>2</sub>O**



**Fuente:** *Origin of basalt magmas: An experimental studies of natural and synthetic rock systems.* J. Petrol, Yoder, H.S. jr., y Tilley, C.E. 1962

### 1.9.5 Elementos traza y tierras raras

Los elementos traza se incorporan selectivamente en diferentes fases, los que se incorporan o excluyen dependiendo los procesos de fraccionamiento, dando como resultado el origen de sistemas fundidos y procesos evolutivos, los que se clasifican en base a su comportamiento geoquímico.

Los elementos más utilizados en petrología son los metales de transición (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn). Los lantánidos, denominados elementos de tierras raras (Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), así también el Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ca, Ba, Hf, Ta, Pb, Th y U.

### 1.9.6 Origen y ambiente tectónico

La manera más generalizada para caracterizar a los granitos es en base a parámetros geoquímicos, Chappell y White (1980) han



asentado su clasificación de granitos en base al rango total de  $\text{SiO}_2$  y la depresión de Na y Ca, como muestra la relación  $\text{K}/(\text{Na}+\text{K})$ , a la relación molecular de  $\text{Al}/(\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}/2)$  y al estado de oxidación que se expresa por  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$ . El último es menos específico, porque la  $\text{fO}_2$  no es una función del estado de oxidación original de la roca generadora (Beckinsale 1971) y algunos cambios inevitablemente ocurren durante la evolución magmática que también pueden influir en los valores.<sup>13</sup>

Asimismo, Ishihara (1977) y Takahashi *Et. Al.* (1998), proponen una clasificación alternativa de los granitoides en tipo de magnetita y de tipo ilmenita, los cuales serían una consecuencia de diferencias de oxidación y no es totalmente consonante con una división basada fundamentalmente en el desarrollo de diferenciación desde una fuente sedimentaria.<sup>14</sup>

Hay pocas localidades donde, el carácter distintivo de origen sedimentario del tipo-S, ha sido tan bien documentado y demostrado como en el SE de Australia (White y Chappell 1974; Hine et al. 1979). Los granitos de tipo-S de *Lachlan Fold Belt*, petrográficamente son diferentes de los granitos leucocráticos comunes de dos micas.<sup>15</sup>

Por otra parte, los granitos de tipo-I, se clasifican como temprano a sin-colisional, con composición metaluminosa y se forman en una etapa temprana de acortamiento cortical y apilamiento que se corresponde con los granitos Andinos. En contraste los tipo-I, tardío post-colisionales, son calco-alcalinos, ricos en potasio, se forman durante el levantamiento, extensión y fallamiento strike slip y corresponden a los Granitos Caledónicos, del Silúrico de las Islas Británicas. Estos granitos tipo-I Caledonianos, contrastan en composición y contexto con los granitos tipo-I de los Andes, como subtipos separados (Tabla 4).<sup>16</sup>

---

<sup>13</sup> Universidad Nacional de Tucuman. *Rocas plutónicas*, 2015. [http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_18/02.htm](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/02.htm).

<sup>14</sup> *Ibíd.*

<sup>15</sup> *Ibíd.*

<sup>16</sup> *Ibíd.*

**TABLA 4**  
**CLASIFICACIÓN ALFABÉTICA DE LOS GRANITOS**

Tipo M	Tipo I (Cordillerano)	Tipo I (Caledónico)	Tipo S	Tipo A
Plagiogranito subordinado y gabro	Tonalita varia de diorita a granito y SiO <sub>2</sub> variable	Granito-granodiorita asociada a dioritas y gabros	Granito homogéneo con alta SiO <sub>2</sub>	Granito biotítico, con granito alcalino y sienita
Hornblenda, biotita y piroxeno	Hornblenda-biotita, magnetita y titanita	Predomina biotita, ilmenita y magnetita	Moscovita, biotita roja, ilmenita, monacita, granate, cordierita	Biotita verde. Anfíbol y piroxeno alcalinos, astrofilita
Feld. K micrográfico intersticial	Feld. K intersticial y xenomórfico	Feld. K intersticial e invasivo, rico en Cz	Megacristales de Feld. K	Pertitas
Xenolitos ígneos básicos	Xenolitos dioríticos, representarían restitas	Poblaciones mixtas de xenolitos	Xenolitos meta-sedimentarios	Xenolitos cogenéticos y magma básico
-----	Al/(Na+K+Ca/2)<1,1	Al/(Na+K+Ca/2)-1	Al/(Na+K+Ca/2)>1,2	Peralcalino con F
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr - 0,704	<0,706	>0,705 <0,709	~0,708	0,703 - 0,712
Pequeños plutones de cz-diorita y gabro	Batolitos múltiples y lineales con alineación de calderas compuestas	Complejos dispersos y aislados de plutones y filones capa múltiples	Batolitos, plutones y filones capa múltiples comúnmente diapiros	Complejos de caldera centrales, volumen pequeño
Volcanismo de arco de islas	Asociación con andesitas y dacitas	Asociados con basalto-andesita.	Asoc. con lavas cordieríticas	Asoc. lavas alcalinas/ calderas
Plutonismo de corta duración sostenido	Plutonismo episódico de larga duración	Plutonismo de corta duración sostenido, post-cinemático	Plutonismo sostenido duración moderada sin- a post-cinemático	Plutonismo de corta duración
Arcos de islas oceánicas	Arco continental marginal tipo Andino	Alzamiento post-cierre tipo Caledoniano	Colisión continental tipo Hercínico y zonas cizalla dúctil	Zonas post-orogénicas o anorogénicas
Pliegues abiertos, metamorfismo soterramiento	Movimiento vertical, poco acortamiento. Met. soterramiento	Fallas de rumbo e inversas. Met. Retrógrado	Gran acortamiento, Met. de baja P y bajo grado	Domamiento y fallamiento distensivo
Mineralización de pórfiros de Cu y Au	Mineralización de pórfiros de Cu y Mo	Mineralización importante rara	Mineralización W y Sn en greisen	Columbita, casiterita, fluorita

**Fuente:** *Granite type and tectonic environment. In: Hsu, K. (Ed.) Mountain Building Process, Pitcher, W. 1983.*

### 1.9.7 Petrografía

Trata de la descripción y las características de las rocas cristalinas determinadas por examen microscópico con luz polarizada. Estudia a través de ella los cambios ocurridos de forma espontánea en las masas de roca cuando el magma se solidifica, cuando rocas sólidas se funden total o parcialmente, o cuando sedimentos experimentan transformaciones químicas o físicas.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Ciencias de la Tierra en educación. *Petrografía*, 2015. <http://bernietic.blogspot.com/2007/11/petrografia.html> (13 de agosto de 2015).

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Método: Cualitativo y cuantitativo**

##### **2.1.1 Cuantitativo**

Este método fue utilizado para determinar la composición química de las muestras de las rocas plutónicas recolectadas a través del análisis petrográfico, en donde se tomó en cuenta principalmente el contenido de óxidos como:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , etc.

El tipo de granito fue determinado por medio de diagramas que toman en cuenta dos variables basadas en las principales composiciones químicas como:  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{MgO}$ .

Por medio de los diagramas de dos o tres variables, las cuales se basan en Y, Yb, Rb, Ba, K, Nb, Ta, Ce, Sm, Zr y Hf, se determinó el ambiente en que se generó el cuerpo intrusivo a estudiar.

El grado de saturación de alúmina se clasificó con los diagramas de dos variables, proporcionadas por moles de óxidos de  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , diferenciados entre las categorías de peraluminoso, metaluminoso y peralcalino.

El método utilizado en este estudio se dividió de las características particulares hacia las generales.

### **2.1.2 Cualitativo**

Por medio de este método se describieron, interpretaron y determinaron los caracteres primordiales de la investigación en base a los resultados obtenidos en el método cuantitativo. Así mismo se pudieron detallar los aspectos litológicos, mineralógicos, estructurales, etc., de la misma roca.

## **2.2 Marco metodológico o metodología validada**

### **2.2.1 Etapa de recopilación y análisis bibliográfico**

Es la etapa que permitió recolectar la información necesaria para fundamentar y apoyar la investigación a través de artículos, tesis de grado o post grado, fotografías (ortofotos, áreas y etc.), mapas temáticos y todo lo que fueron necesarios para complementar el estudio.

### **2.2.2 Etapa de trabajo de campo**

En esta etapa se realizó una cartografía para la delimitación y distribución de la unidad granítica dentro del área propuesta, de lo cual se obtuvieron muestras representativas, estas fueron las más sanas (meteorización baja), pesando 1 kg aproximadamente y según las variaciones mineralógicas que se observaron macroscópicamente, para luego ser utilizadas en la etapa de laboratorio.

La escala a detalle utilizada para la realización de la cartografía en campo fue de 1: 10 000, para ser presentada a una

escala 1: 25 000. Fue necesario contar con implementos como: GPS, mapa base, libreta de campo, martillo, lupa, cinta métrica, brújula y todo lo que fuera necesario para complementar la información.

### **2.2.3 Etapa de trabajo de laboratorio**

Esta etapa se llevó a cabo después de la fase de campo, por lo que en ésta se utilizaron las muestras recolectadas y analizaron por medio de secciones delgadas y a través de la descripción petrográfica, para determinar la composición mineralógica, lo cual ayudo a elegir las muestras más representativas y ser analizadas geoquímicamente.

El análisis geoquímico se llevó a cabo en el laboratorio de la empresa *Inspectorate America Corp*, en la división *Metals & Minerals*. Se utilizó el método *ICP-MS*, en donde se procedió a la trituración de las muestras para obtener fragmentos menores a 4 mm, los cuales fueron desionizados, para luego descartar los fragmentos alterados, posteriormente se pulverizaron entre 30 g y 40 g de la muestra hasta un tamaño de 75 micras, generando la información de los elementos mayores y menores, siendo los primeros aquellos que presentaron concentraciones mayores a 0,1 % o 1 000 ppm en roca total. Los menores, fueron los que presentaron concentraciones menores a 0,1 % o 1 000 ppm en roca total.

### **2.2.4 Etapa de gabinete**

Esta fue la última etapa, en ella se recopilaron todos los resultados obtenidos en las diferentes fases, lo que proporcionó realizar la interpretación y elaboración del informe final.



## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

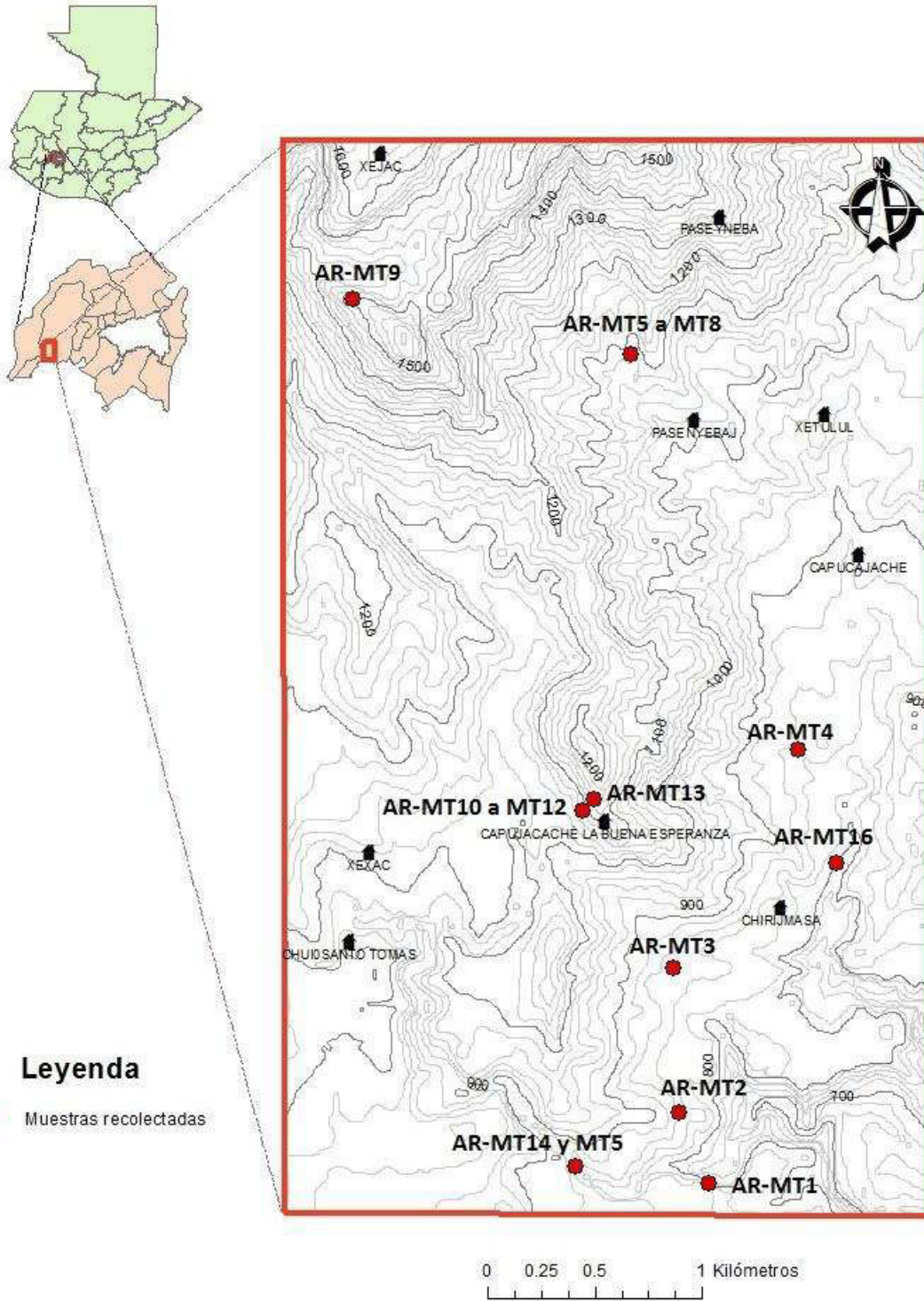
#### **3.1 Petrografía**

El Granito Nahualate es un intrusivo de gran extensión (100 km<sup>2</sup>) según se ha descrito anteriormente en el capítulo 1 (1.1.8), para ello este estudio consta únicamente sobre el extremo inferior izquierdo de dicha unidad (8,5 km<sup>2</sup>), la cual fue cartografiada y delimitada según observaciones de campo y análisis petrográfico.

Éste granito ha sido clasificado por la granulometría, textura, color y exposición, para detallar la descripción de los cambios que presenta.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del análisis petrográfico del Granito Nahualate en el área de estudio, del cual fueron elaboradas 8 secciones delgadas de las 16 muestras recolectadas durante la etapa de campo (Mapa 1), las que posteriormente permitieron hacer la clasificación previa para el análisis geoquímico.

# MAPA 1 MUESTRAS RECOLECTADAS



Fuente: Investigación campo. 2015



### 3.1.1 Unidad de Diorita (TDr)

Esta unidad se encuentra expuesta al sur del área, en las cercanías de la aldea Chirijmasá, (GTM: 402817E/1620134N, véase Mapa Geológico; anexo I).

Los afloramientos de esta unidad son bloques de 2 m a 4 m de longitud, se encuentran con estructuras (fracturas) con direcciones preferenciales de  $N270/86$  y  $N210/55$ . (Ver fotografía 1).

Los contactos litológicos de la Unidad de Diorita (TDr) se encuentran expuestos de la siguiente manera: al norte en contacto abrupto con la Unidad de Granito (Tg) pues ésta se observa con un cambio en el contenido mineralógico a la Diorita, con una cantidad menor de máficos y mayor de félsicos.

Hacia el sur se encuentra en contacto gradativo con la Unidad de Granodiorita (TGr) por lo que esta se muestra con una degradación de máficos y el leve aumento de félsicos, al este y oeste se encuentra en contacto discordante con la Unidad de Ceniza (Qpa4).

Macroscópicamente la Unidad de Diorita (TDr) se encuentra con una textura holocristalina, con un grano fino a medio tipo fanerítico, cristales subhedrales, con una distribución inequigranular. De color gris, tipo mesocrático, se encuentra sana y contiene enclaves. (Ver fotografía 1).

La mineralogía de la Diorita contiene: cuarzo (Qz) 20 %, feldespatos (Fd) 25 % y minerales máficos (M) 55 % (Ver fotografía 2).

## FOTOGRAFÍA 1 AFLORAMIENTO DE UNIDAD DE DIORITA

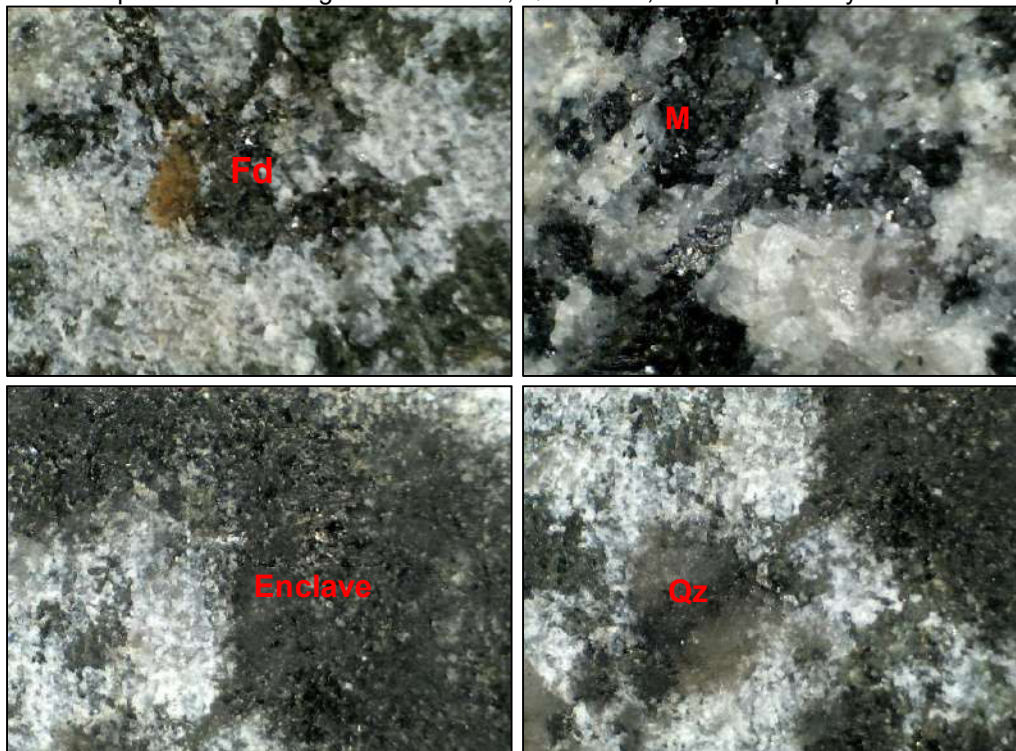
a y b) Afloramiento de diorita *in situ*, coordenadas GTM: 402817E/1620134N.



Tomada por: Yaneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2015.

## FOTOGRAFÍA 2 UNIDAD DE DIORITA EN VISTA MACROSCÓPICA

Composición mineralógica: M: máficos, Qz: cuarzo, Fd: feldespatos y enclaves.

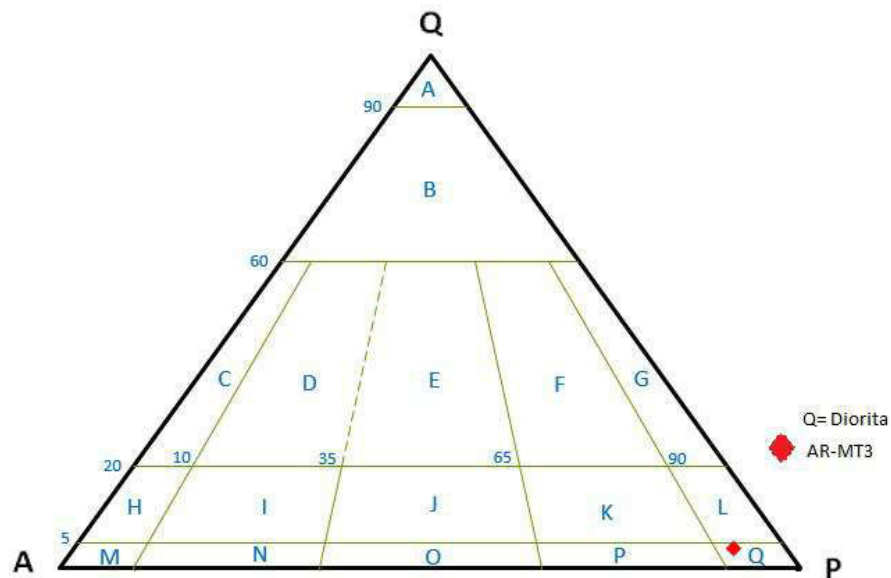


Tomada por: Yaneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2016.

Microscópicamente la Unidad de Diorita presenta una textura hipidiomórfica inequigranular, con un grado de cristalinidad holocristalina y de cristales subhedrales.

Esta unidad se gráfica en la figura 7, ubicada en el diagrama de QPA de Streckeisen, 1978, la cual se logró representar a partir del contenido mineralógico analizado microscópicamente, el que se describe a continuación:

**FIGURA 7**  
**DIAGRAMA DE QPA DE MUESTRAS DE LA UNIDAD DE DIORITA**



Fuente: Investigación de campo. 2015.

Cuarzo ( $Qz = 3\%$ ), sin nicoles cruzados (PPL), es incoloro, bajo relieve, con nicoles cruzados (XPL): colores de interferencia de primer orden (gris), presenta extinción ondulante, aristas anhedral, muestra un contacto con plagioclasas y feldespatos alcalinos. (Ver fotografía 3, a).

Los feldespatos alcalinos ( $Afs = 5\%$ ), se presentan como sanidinas, en PPL se observa: incoloro, relieve bajo, en XPL: colores de interferencia de primer orden (gris a blanco), con textura poiquilítica. (Ver fotografía 3, a).

Las plagioclasas ( $PI = 60\%$ ), sus características en PPL: incoloro, bajo relieve, en XPL se observan: colores de interferencia de primer orden (gris a blanco). Son polisintéticas, con un ángulo de extinción de  $20^\circ$ , tipo andesinas. (Ver fotografía 3, a).

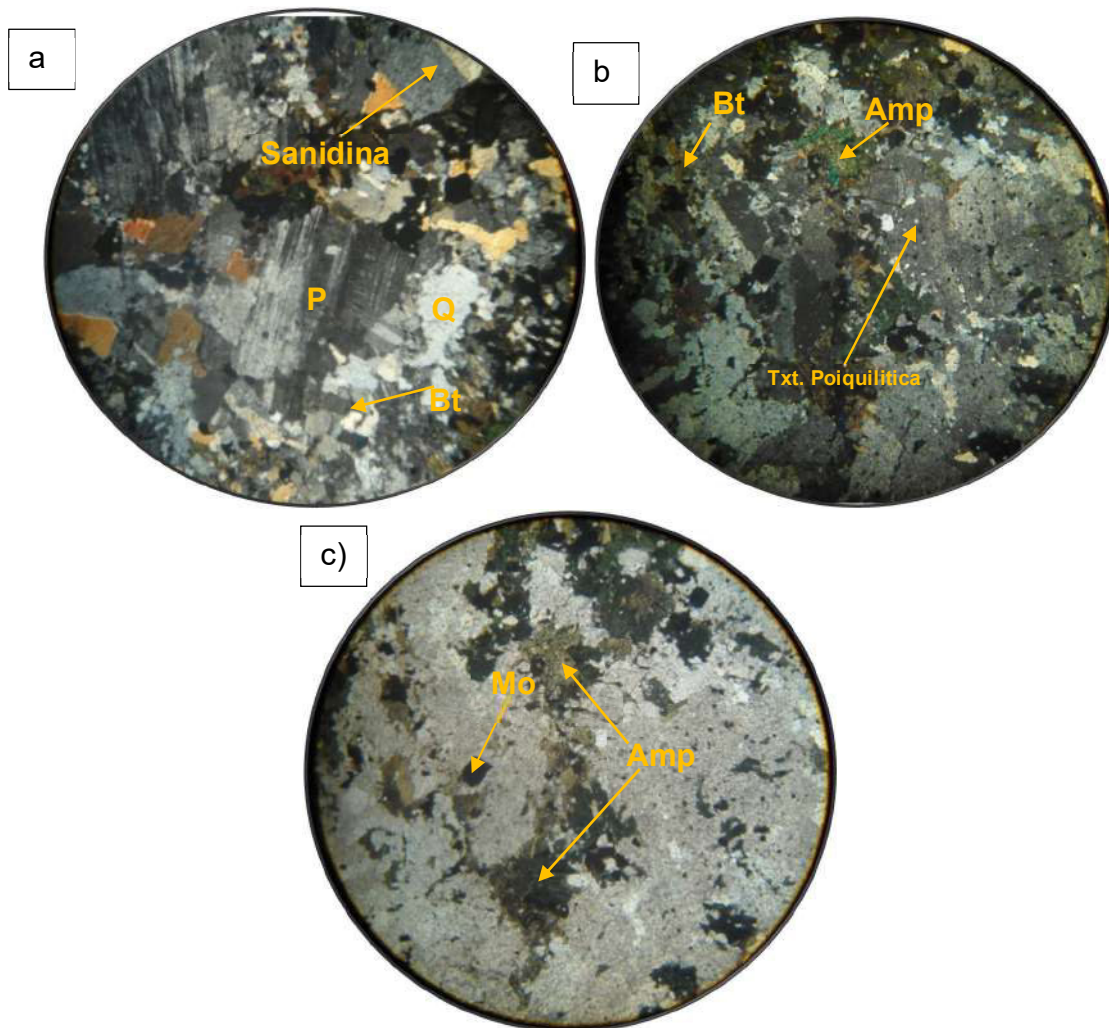
Los anfíboles (Amp = 25 %), las características en PPL: colores verdosos a café, relieve moderado, sus características XPL: color de interferencia de primero a segundo orden (colores verdosos), con aristas subhedrales, incluyendo a los feldespatos alcalinos y cuarzos. (Ver fotografía 3, c).

La biotita (Bt = 5 %), sus características en vista PPL: es de color café, relieve moderado-alto, en vista XPL: su color de interferencia es de primer orden (café), se encuentra en forma hojosa, se muestra como inclusiones en feldespatos alcalinos y cuarzo. (Ver fotografía 3, b y 3, c).

Los minerales opacos (Mo = 2 %), se observan de forma euهدral, opacos, los cuales se presentan sobre feldespatos alcalinos, plagioclasas y cuarzo. (Ver fotografía 3, b).

### FOTOGRAFÍA 3 SECCIÓN DELGADA DE LA UNIDAD DE DIORITA

a) Cuarzo (Qz), feldespato alcalino (Sanidina), anfíbol (Amp), plagioclasa polisintética (Pl), biotita (Bt). b) Minerales opacos (Mo), textura Poiquilitica (Txt. Poiquilitica). c) Biotita (Bt), minerales opacos (Mo) y anfíboles (Amp).



Tomada por: Yaneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2015.

#### 3.1.2 Unidad de Granodiorita (TGr)

Esta unidad se ubica en la zona este del área, se encuentra expuesta *insitu* y en bloques.

Las exposiciones *insitu* se observan al este del caserío Masá, frente al cerro Monte Horeb (GTM: 402844E/1619459N, fotografía 4, a, véase Mapa Geológico; anexo I), tiene estructuras (fracturas) con direcciones preferenciales de N230/82 y N200/58, y al sureste del río Masá (GTM 402980E/ 1619130N, fotografía 4, b), se encuentra en contacto con el Flujo Andesítico (dirección de flujo: N140), con estructuras (fracturas y fallas) con direcciones preferenciales de N00/20 y N100/30.

La Unidad de Granodiorita en bloques, se observa en los alrededores de Pasenyebaj (GTM: 403395E/1621154N), Xetulul y al sureste del área (GTM: 402619E/1623001N), los cuales presentan tamaños variados de 0,5 m a 4 m.

La Unidad de Granodiorita se encuentra en contacto litológico con las diferentes unidades de la siguiente manera:

Al noreste en contacto discordante con la Unidad de Ceniza (Qpa4), al noroeste en contacto discordante con la Unidad de Flujo Andesítico (QTa), en contacto transicional con la Unidad de Granito (Tg), y hacia el sur en contacto gradual con la Unidad de Diorita (TDr).

Macroscópicamente se presenta con una textura holocristalina, con un tamaño de grano fanerítico y forma de cristales subhedrales, con una distribución inequigranular. El color de esta unidad es de beige, rosáceo a blanco. Su grado de meteorización es de II a IV.

Mineralógicamente contiene: 45 % de cuarzo (Qz), 29 % de feldespatos (Fd), 20 % de minerales máficos (M), 2 % de biotita (Bt), 4 % de óxidos (Ox) (ver fotografía 6).

#### **FOTOGRAFÍA 4** **AFLORAMIENTO DE GRANODIORITA *INSITU***

- a) Afloramiento de Granodiorita meteorizado, coordenadas GTM: 402844E/1619459N.
- b) Afloramiento de Granodiorita, coordenadas GTM 402980E/ 1619130N.



Tomada por: Yáneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2015.



## FOTOGRAFÍA 5 AFLORAMIENTO DE GRANODIORITA EN BLOQUES

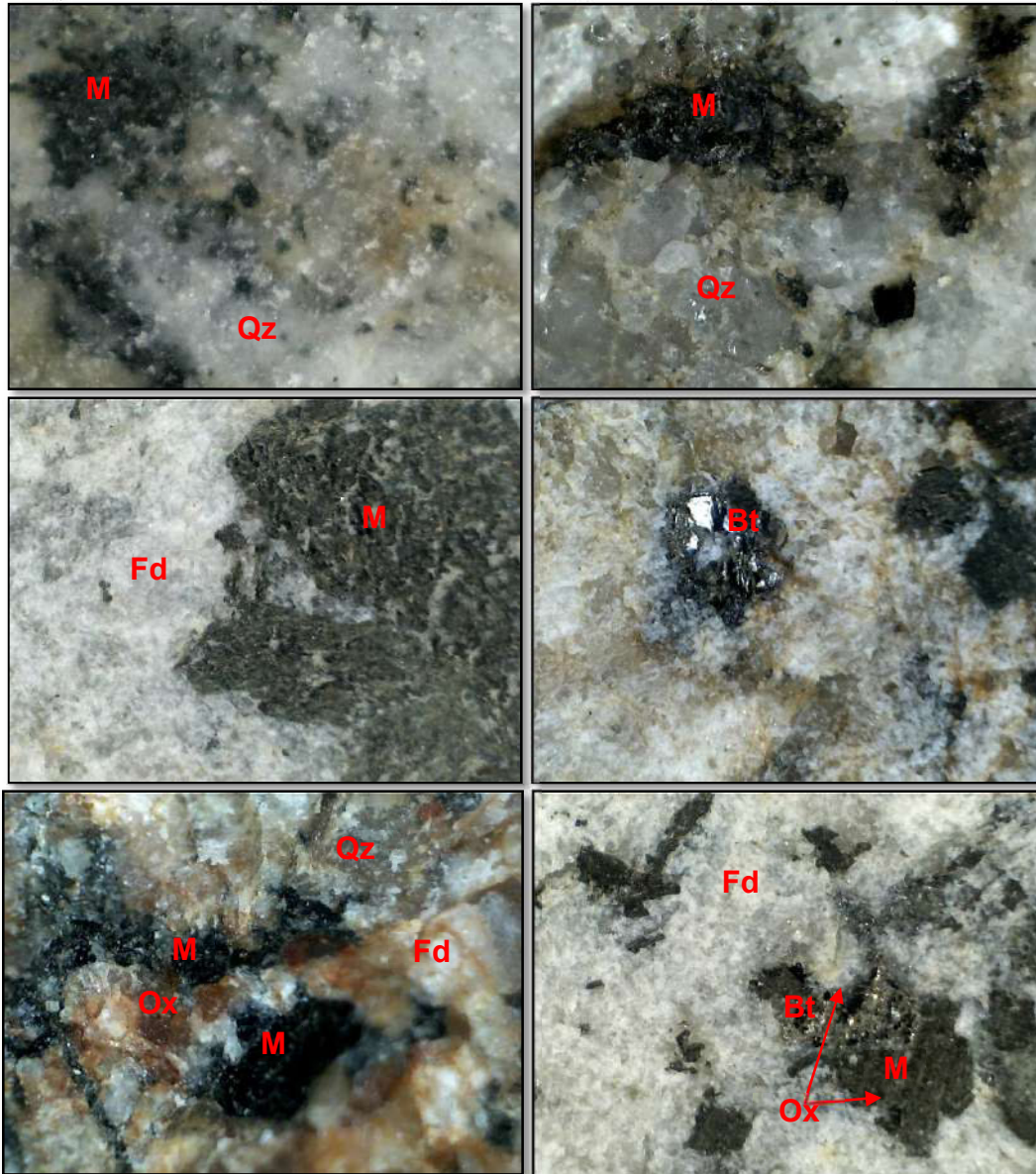
- a) Afloramiento de Granodiorita en bloques, coordenadas GTM: 403395E/ 1621154N.  
b) Afloramiento de Granodiorita en bloques, coordenadas GTM: 402619E/1623001N.



Tomada por: Yáneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2015.

## FOTOGRAFÍA 6 UNIDAD DE GRANODIORITA EN VISTA MACROSCÓPICA

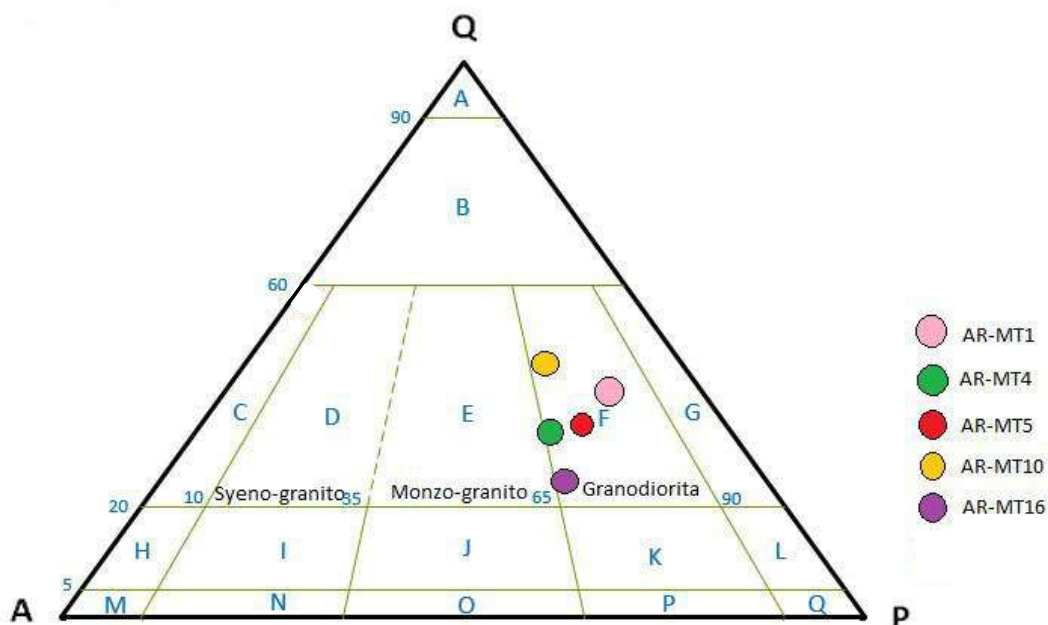
Composición mineralógica: M: máficos, Qz: cuarzo, Fd: feldespatos, Bt: biotita, Ox: óxidos.



Tomada por: Yáneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2016.

Derivado del análisis petrográfico, se clasificaron cinco muestras de rocas tipo Granodiorita, utilizando el diagrama QPA de Streckeisen, 1978 (Ver figura 8).

**FIGURA 8**  
**DIAGRAMA DE QPA DE MUESTRAS DE LA UNIDAD DE**  
**GRANODIORITA**



**Fuente:** Investigación de campo. 2015.

Microscópicamente esta unidad presenta una textura hipidiomórfica inequigranular, con un grado de cristalinidad holocristalina y de cristales subhedrales. Mineralógicamente contiene:

Cuarzo ( $Qz = 32\%$ ), con características ópticas PPL (sin nicoles): incoloro, bajo relieve, y en XPL: colores de interferencia de primer orden (gris), con extinción ondulante, aristas anhedrales. (Ver fotografía 7, a).

Los feldespatos alcalinos ( $Afs = 16\%$ ) se presentan dos tipos de feldespatos alcalinos: microclinas y ortosa. Sus características ópticas PPL: incoloros, de relieve bajo, características XPL: colores

de primer orden que van de blancos a grises, son anhedrales. Poco frecuente se encuentran inclusiones de anfíboles cloritizados (hornblendas) en las plagioclasas polisintéticas. (Ver fotografía 7, b).

Las plagioclasas (PI = 38 %), con características ópticas (PPL): incoloras, de bajo relieve, en XPL: color de interferencia de primer orden que va de gris a blanco, euhedrales, tienen un ángulo de extinción de 20° a 30°, catalogadas como plagioclasas de tipo andesina y labradorita, estas se presentan zonadas, con texturas de interrupción; como pequeños anillos en el centro de algunas PI. (Ver fotografía 7, c).

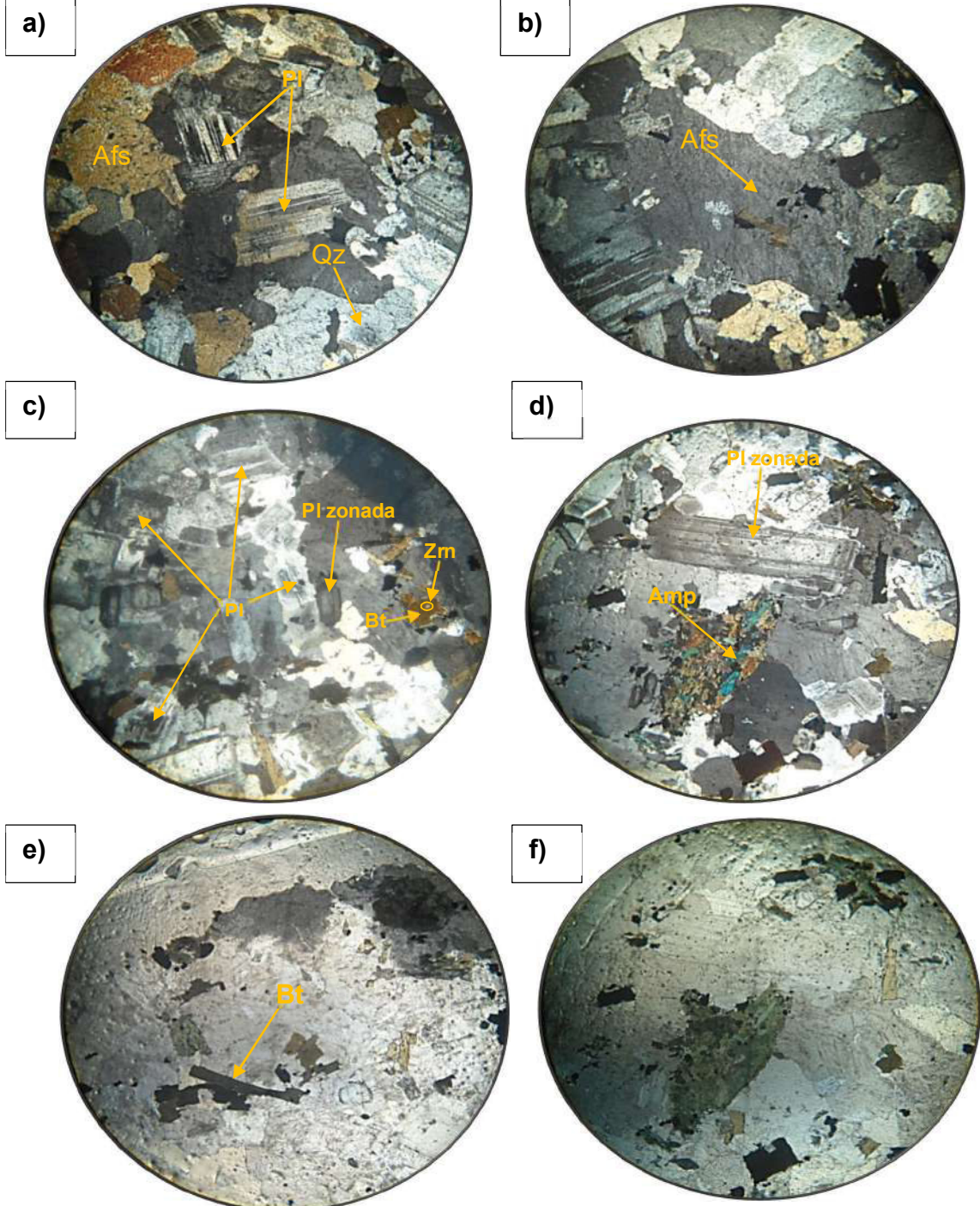
Los anfíboles (Amp = 6 %), comúnmente cloritizados, con relieve bajo, subhedrales, de color café a verde, se encuentran incluyendo a las plagioclasas y feldespatos alcalinos. (Ver fotografía 7, d).

La biotita (Bt = 6 %), se observa subhedral, teniendo un color café, de relieve alto, presenta halos de pequeños circones, se encuentra en contacto y como inclusiones en feldespatos alcalinos y plagioclasas polisintéticas. (Ver fotografía 7, e).

Los minerales opacos (Mo = 2 %), estos se observan de forma euhedral, opacos, sobre feldespatos potásicos, plagioclasas y cuarzo. (Ver fotografía 7, f).

## FOTOGRAFÍA 7 SECCIÓN DELGADA DE GRANODIORITA

a) Cuarzo ondulante (Qz) vista XPL, b) Feldespato alcalino (Afs) ortoclasa, vista XPL, c) Plagioclasas polisintéticas, con zonación discontinua oscilatoria, vista XPL, d) Anfíbol cloritizados (Amp), vista XPL, e) Biotita (Bt), vista PPL, f) Minerales opacos (Mo), vista PPL.



Tomada por: Yaneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2015.

### 3.1.3 Unidad de Granito (Tg)

Esta unidad se ubica del noroeste al sur del área, su mejor exposición se ubica en las coordenadas GTM: 401319E/1623256N. Al noroeste de Capujacaché La Buena Esperanza (véase Mapa Geológico; anexo I).

Esta unidad se encuentra *insitu*, exponiéndose meteorizada (Unidad de Granito poco consolidada) en las cotas bajas, en las partes altas se encuentran afloramientos consolidados del Granito. Esta unidad presenta estructuras (fracturas) con direcciones preferenciales de N330/74 y N50/52, falla sinistral con dirección N170/25 (Ver fotografía 8).

Esta unidad se encuentra en contacto con las siguientes unidades: contacto discordante al noroeste del área con la Unidad de Flujo Andesítico, al noreste transicional con la Diorita, al este y oeste discordante con la Unidad de Ceniza.

Macroscópicamente esta unidad (Tg) se encuentra con una textura holocristalina, con un tipo de grano medio tipo fanerítico, y en ocasiones con vetas de grano fino tipo afanítico, de distribución equigranular. De color beige a rosáceo, tipo leucocrático, con un grado de meteorización IV, intemperizado por vegetación, (ver fotografía 8).

Mineralógica el granito contiene: cuarzo (Qz) 40 %, feldespatos (Fd) 25 %, minerales máficos (M) 25 %, minerales opacos (Mo) 5 % y óxidos 5 %, (ver fotografía 9).

## FOTOGRAFÍA 8 AFLORAMIENTO DE UNIDAD DE GRANITO (Tg)

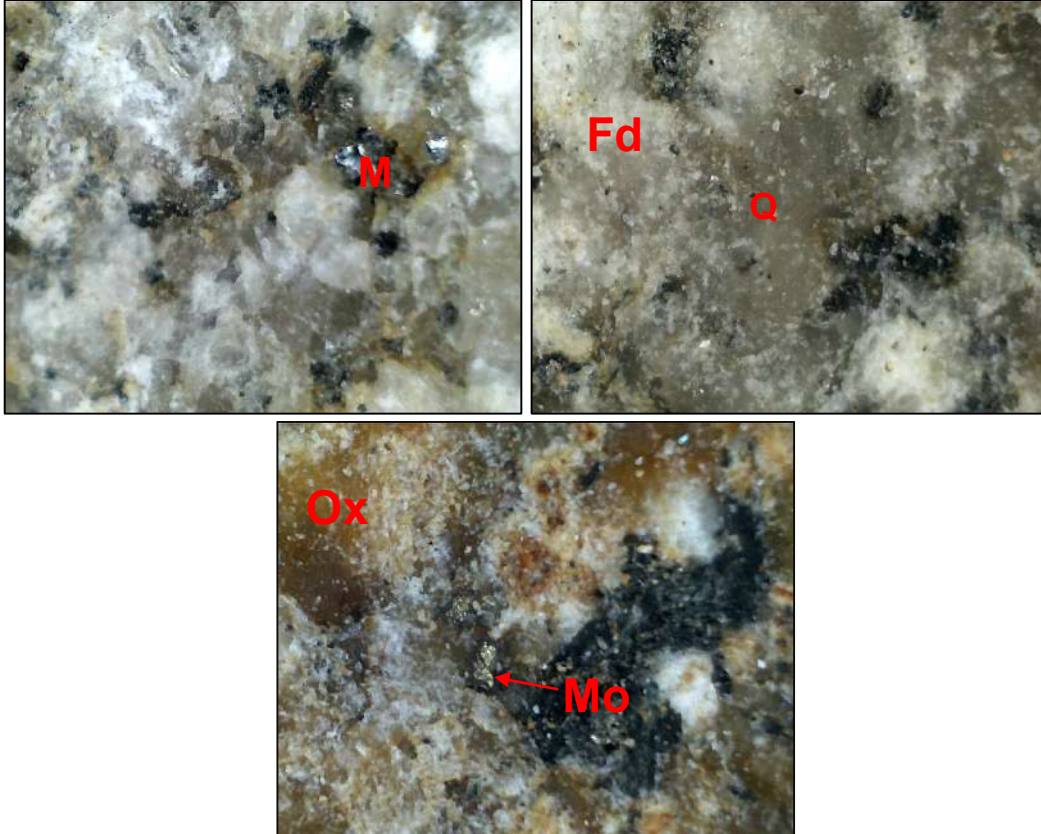
Coordenadas GTM: 401319E/1623256N



Tomada por: Yaneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2015.

## FOTOGRAFÍA 9 UNIDAD DE GRANITO EN VISTA MACROSCÓPICA

Composición mineralógica: M: máficos, Qz: cuarzo, Fd: feldespatos y Ox: Óxidos, Mo: opacos.

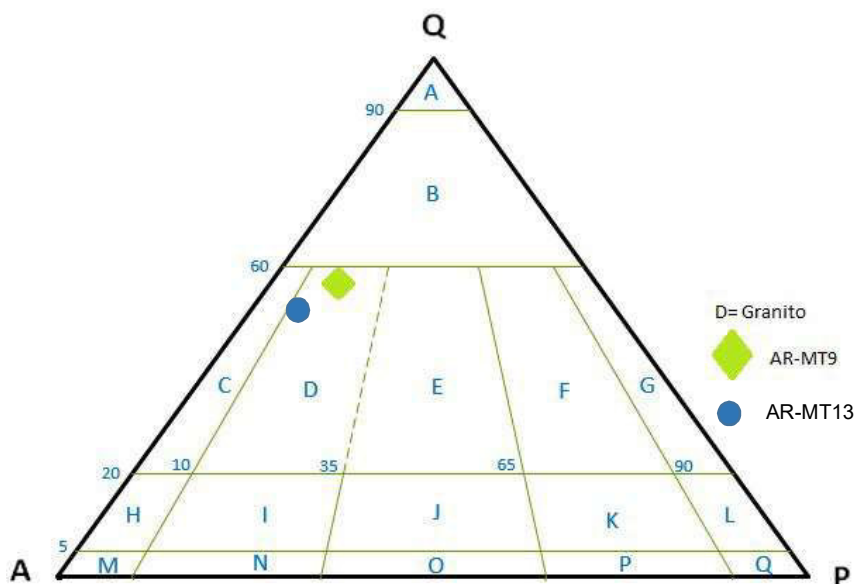


Tomada por: Yaneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2016.

Microscópicamente esta unidad se representa en la gráfica de la figura 9, en la cual se ingresaron los datos de dos muestras analizadas (AR-MT9 y AR- MT13), de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados petrográficos:



**FIGURA 9**  
**DIAGRAMA DE QPA DE MUESTRAS DE LA**  
**UNIDAD DE GRANITO**



**Fuente:** Investigación de campo. 2015.

El cuarzo ( $Qz = 55\%$ ), se presenta con las características en PPL: incoloro, relieve bajo, en vista XPL: color de interferencia de primer orden (gris), de aristas anhedrales, (ver fotografía 10, a). Se observa en contacto con feldespatos alcalinos, plagioclasas y biotita.

Los feldespatos alcalinos ( $Afs = 30\%$ ), se presentan como sanidina, en vista PPL: incoloros, de relieve bajo, en XPL: colores de interferencia de primer orden (gris y blanco), de aristas subhedrales. (Ver fotografía 10, a).

Las plagioclasas ( $Pl = 8\%$ ), en vista PPL se observan: incoloras, de relieve bajo, en vista XPL: colores de interferencia de primer orden (gris a blanco), con un ángulo de extinción de  $25^\circ$ , tipo andesina, polisintéticas, presenta zonaciones discontinuas

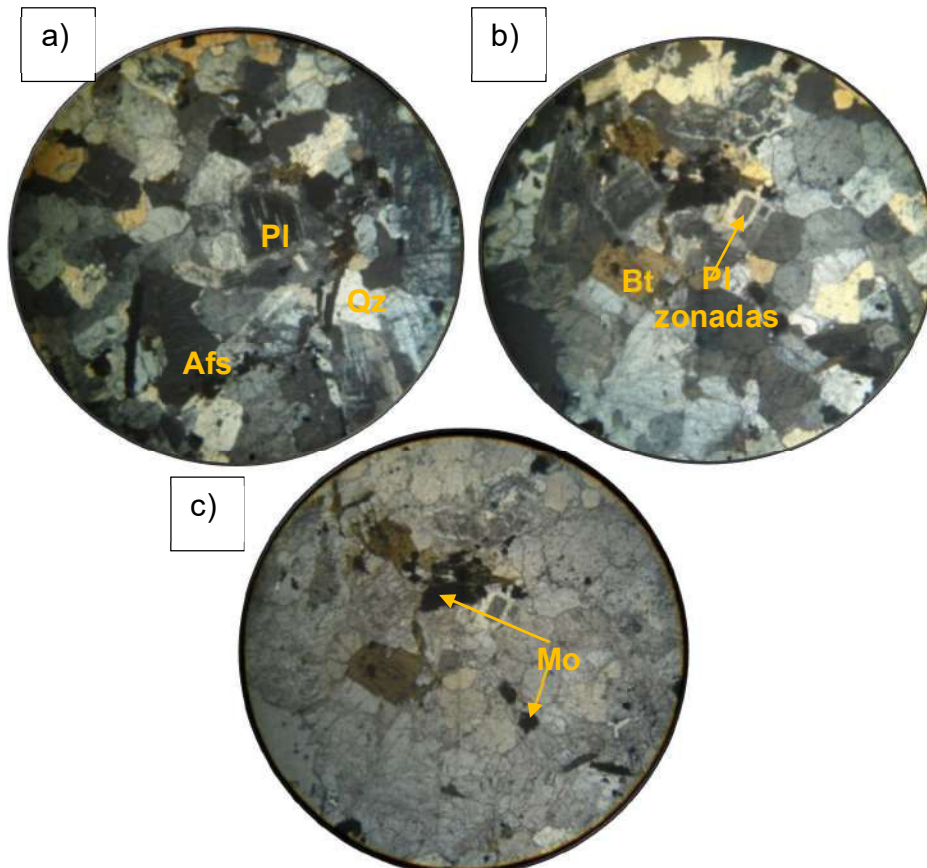
oscilatorias, se encuentra en contacto con feldespatos alcalinos, biotita y cuarzo. (Ver fotografía 10, a).

La biotita (Bt = 10 %), en vista PPL se observa pleocroísmo en colores café y verde, relieve moderado, en XPL: presenta colores de primer orden (café), con un hábito hojoso, incluye a feldespatos alcalinos y cuarzo. (Ver fotografía 10, b y 10, c).

Los minerales opacos (Mo = 2 %) en PPL y XPL estos se observan de forma euhedral, opacos. (Ver fotografía 10, c).

### FOTOGRAFÍA 10 SECCIÓN DELGADA DE LA UNIDAD DE GRANITO

- a) Feldespato alcalino (Afs) ortoclasa, plagioclasa polisintética (PI), cuarzo (Qz), b) Anfíbol (Amp) y c) minerales opacos (Mo).

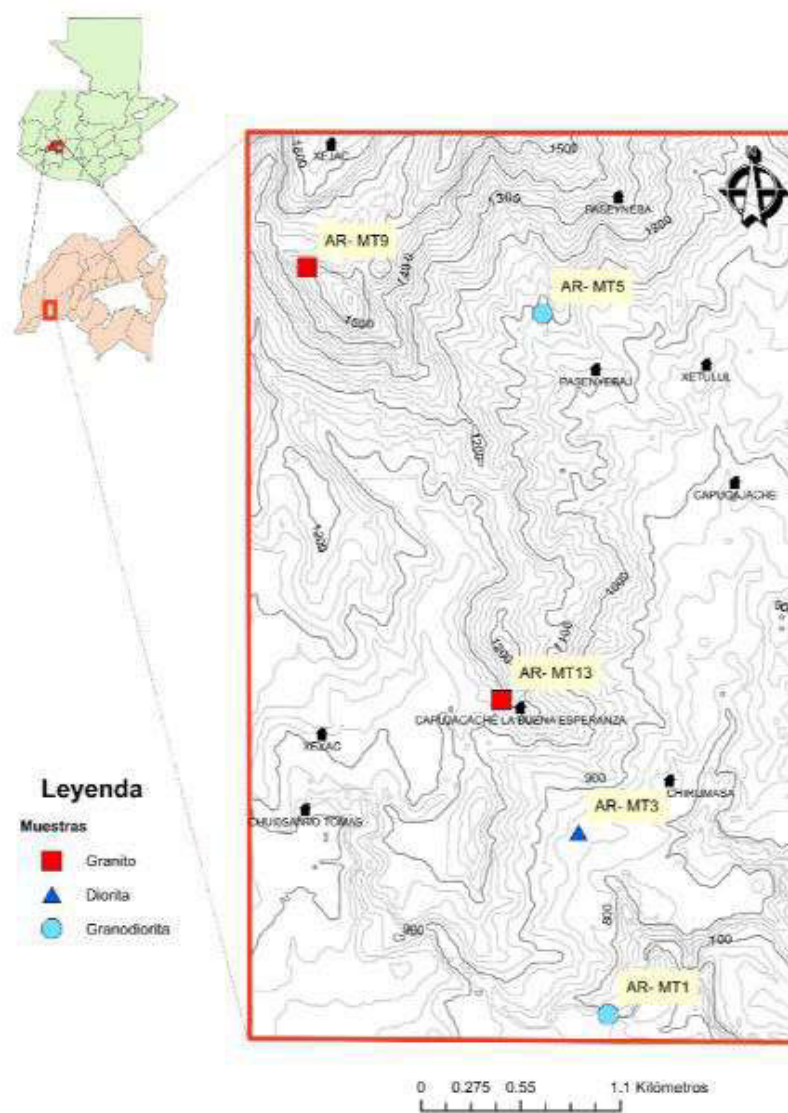


Tomada por: Yaneth Alejandra M. Reiche Alvarado. 2015.

### 3.2 Geoquímica

Para este proceso se analizaron 5 de 16 muestras recolectadas y analizadas petrográficamente, las cuales se distribuyen y observan espacialmente en el mapa 2.

#### MAPA 2 LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS CON ANÁLISIS GEOQUÍMICO



Fuente: Investigación campo. 2016

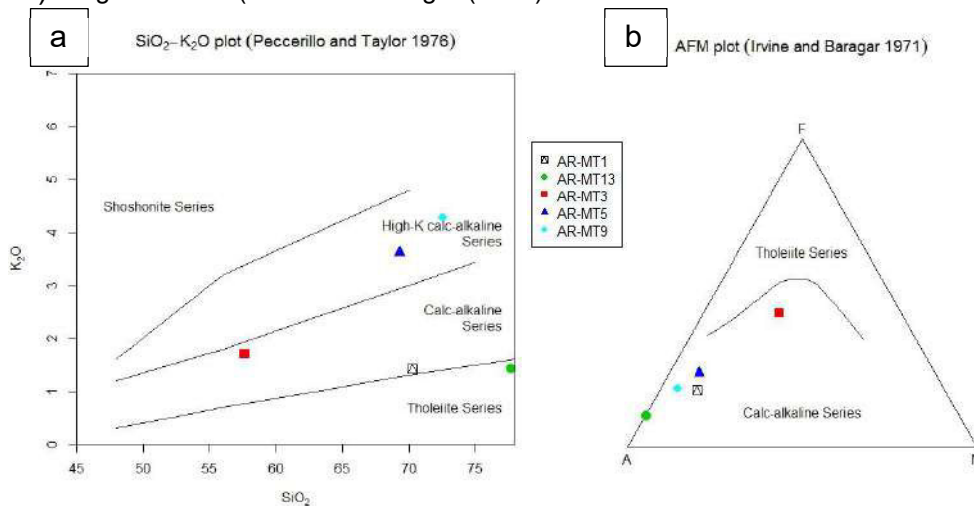
### 3.2.1 Elementos mayores

Con base a los elementos mayores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_6$ ) se graficaron los diagramas de Peccerillo and Taylor (1976) y AFM (Irvine and Baragar (1971), en los que se ha permitido determinar las series ígneas de las muestras (figura 10).

**FIGURA 10**  
**DIAGRAMAS DE SERIES ÍGNEAS**

a) Diagrama de Peccerillo and Taylor (1976)

b) Diagrama AFM (Irvine and Baragar (1971)



Fuente: Investigación campo. 2016

Los elementos mayores muestran que la unidad es perteneciente a una cámara magmática de serie calcoalcalina, tomando en cuenta la relación de  $\text{SiO}_2$  -  $\text{K}_2\text{O}$  (figura 10, a) y  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} - \text{MgO}$  (figura 10, b). Según la relación que se establece en la primera gráfica (Peccerillo and Taylor 1976) (figura 10, b), dos muestras presentan alto contenido de K, las que varían petrográficamente de Granito a Granodiorita. El punto medio de K está compuesto de Granodiorita y Diorita siendo rocas silíceas a

intermedias, por último, se localiza con un bajo contenido de K, un Granito.

La gráfica de AFM (Irvine and Baragar 1971) (figura 10, b), localiza a las cinco muestras en la serie calcoalcalina, varían entre Granitos a Dioritas, esta última se puede observar cercana a la serie Toleítica.

Utilizando el gráfico R1-R2 (De la Roche *Et. Al.* 1980) de la figura 11, a; ubica la composición en cationes y la proporción en milicaciones, determinando en tres campos diferentes como: una Diorita (AR-MT3), dos granodioritas (AR-MT1 Y AR-MT5) y un granito (AR-MT9), en la cual no se observa la muestra AR-MT13 (por el alto contenido de SiO<sub>2</sub> que está posee, por ello fue necesario utilizar la figura 11, b).

En la gráfica de Middlemost (1994) (figura 11, b), se observan las cinco muestras clasificadas como: una Diorita (AR-MT3), dos granodioritas (AR-MT1 Y AR-MT5) y dos granitos (AR-MT9 Y AR-MT13).

En la figura 11, c se observa la gráfica de O'Connor 1965, quien toma en cuenta la anortita, albita y ortoclasa, en la cual se encuentra un granito (AR-MT9), tres granodioritas (AR-MT1, AR-MT3 Y AR-MT5) y una Trondhjemita (AR-MT13), estas se obtuvieron por medio de los datos de la tabla 5, en donde se observan los minerales normativos y se obtiene la figura 11, c en la cual se realiza la discriminación de rocas plutónicas silicias.

**TABLA 5**  
**CONTENIDO DE LA NORMA CIPW DE LOS MINERALES**  
**NORMATIVOS; ALBITA, ANORTITA Y ORTOCLASA**

	AR-MT1	AR-MT3	AR-MT13	AR-MT5	AR-MT9
<b>Q</b>	27,076	11,766	41,279	25,829	31,535
<b>C</b>	0,000	0,000	0,521	0,049	0,931
<b>Or</b>	8,453	10,218	8,573	21,495	25,573
<b>Ab</b>	42,956	32,940	40,322	33,335	30,897
<b>An</b>	15,066	23,576	8,447	13,254	7,177
<b>Di</b>	1,344	4,710	0,000	0,000	0,000
<b>Hy</b>	1,836	6,607	0,050	2,410	1,256
<b>Il</b>	0,043	0,281	0,000	0,129	0,108
<b>Hm</b>	1,894	7,817	0,796	3,003	2,239
<b>Tn</b>	1,131	1,697	0,000	0,000	0,000
<b>Ru</b>	0,000	0,000	0,020	0,295	0,175
<b>Ap</b>	0,215	0,407	0,000	0,215	0,119
<b>Sumatoria</b>	100,014	100,019	100,009	100,014	100,012

Fuente: Investigación de campo. 2016.

**TABLA 6**  
**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SEGÚN BARKER**  
**(1979) Y LA MUESTRA AR-MT13**

Parámetro	Barker (1979)	Muestra AR-MT13
<b>SiO<sub>2</sub></b>	> 68 %, < 75 %	77 %
<b>Al (para SiO<sub>2</sub> = 75 %)</b>	Al < 15 %	< 15 %
<b>(FeO<sub>t</sub> + MgO)</b>	< 3,4 %	< 1,4
<b>FeO<sub>t</sub>/MgO</b>	2 - 3	16
<b>CaO</b>	4,4 a 5,5 %	< 1,6
<b>K<sub>2</sub>O</b>	~ 2,5 o < 2 %	< 1,4

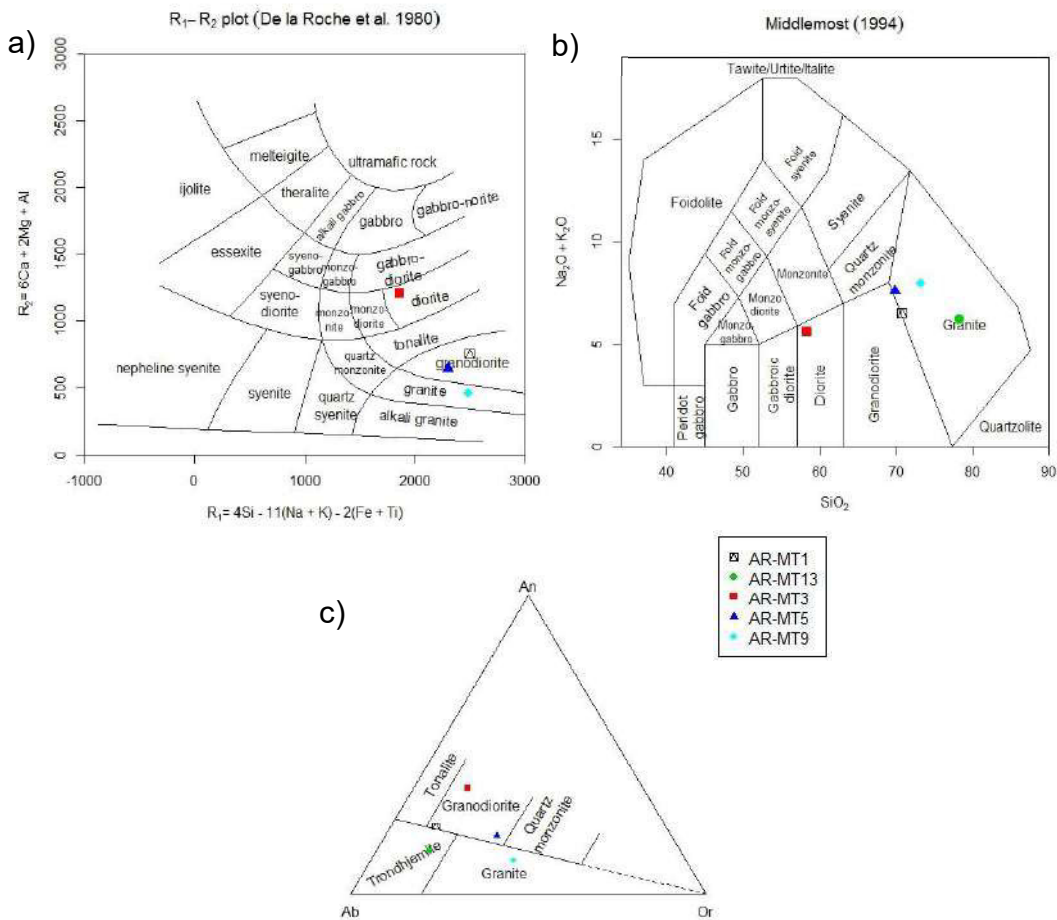
Fuente: Modificado de Jose Duque, Geocronología y geoquímica de los intrusivos paleógenos de la Sierra Nevada de Santa Marta y sus relaciones con la tectónica del Caribe y el arco magmático circun- caribeño. 2011.

Basado en características según Barker, se puede definir la muestra AR-MT13 (Trondhjemitita) bajo los siguientes parámetros.

Al comparar los datos de la muestra AR-MT13 con los parámetros establecidos por Barker en la tabla 6, se observa que la muestra tiene valores menores al 77 % en  $\text{SiO}_2$ , valores anómalos de  $\text{FeO/MgO}$  y  $\text{CaO}$ , por lo que se descarta el catalogarla como una Trondhjemita.

## FIGURA 11 DIAGRAMAS DE CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA

- Diagrama de clasificación  $R_1$ - $R_2$  (De la Roche et al. 1980), basado en la composición de elementos mayores.
- Diagrama de Middlemost (1994) para la clasificación geoquímica de rocas.
- Diagrama O'connor (1965), para la clasificación de rocas plutónicas silíceas.



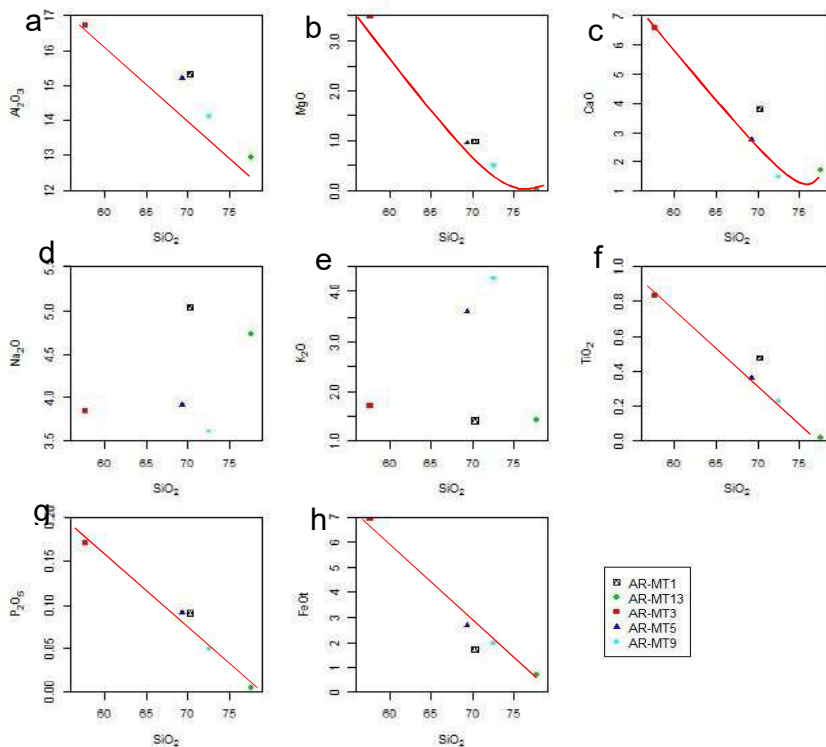
Fuente: Investigación campo. 2016

En la figura 12 se muestran diagramas de multielementos tipo Harker para los elementos mayores de las muestras analizadas contra la concentración de  $\text{SiO}_2$  en porcentaje en peso, utilizado como índice de diferenciación, estos se observan en el gráfico mencionado como dispersión en el contenido de los óxidos.

La mayoría de las muestras presentan tendencias negativas, a excepción del  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 12, d y 12,e) las cuales se observan con tendencias dispersas, lo que podría ser evidencia de la cristalización de minerales afines a estos óxidos (plagioclasas, ortosas).

### FIGURA 12 GRÁFICOS MULTIELEMENTOS TIPO HARKER PARA LOS ELEMENTOS MAYORES

a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , b)  $\text{MgO}$ , c)  $\text{CaO}$ , d)  $\text{Na}_2\text{O}$ , e)  $\text{K}_2\text{O}$ , f)  $\text{TiO}_2$ , g)  $\text{P}_2\text{O}_5$ , h)  $\text{FeO}$ .



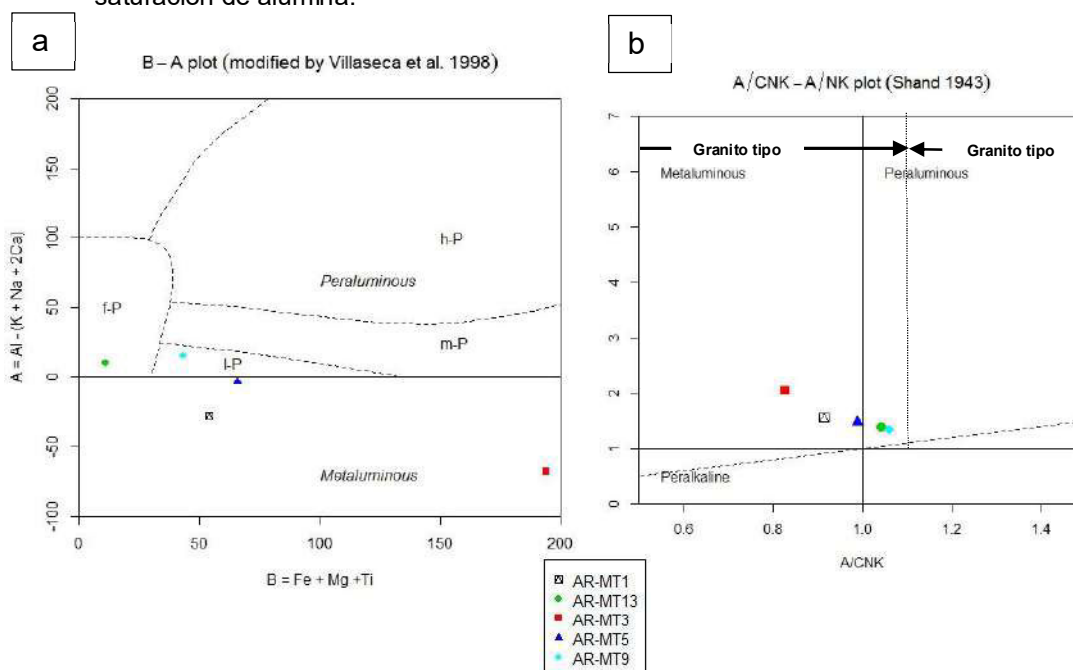
Fuente: Investigación campo. 2016



Para la clasificación de las muestras se utilizó el contenido de saturación de álcalis, el cual se muestra en la figura 13, ubicándose en diferentes campos las rocas analizadas. Como se observa en la figura 13, a (Villaseca 1998), un campo de f-P (campo peraluminoso altamente félsico), otro como l-P (campo peraluminoso bajo) y tres como metaluminosos. En el gráfico de la figura 13, b se encuentran tres muestras en el campo metaluminoso, clasificándose como un granito tipo I, y dos muestras peraluminosas abarcando el mismo campo.

### FIGURA 13 CLASIFICACIÓN DE ROCAS GRANÍTICAS

- a) Diagrama B-A (modificado por Villaseca 1983), discriminando las rocas por su grado de saturación de álcalis.  
b) Diagrama A/CNK-A/NK (Shand 1943), discriminando las rocas por su contenido de saturación de alúmina.



Fuente: Investigación campo. 2016

Debido al contenido que presentaron algunas de las muestras en el campo de contenido hiperaluminoso de bajo grado (l-P) e

hiperaluminoso félsico (f-P), indican que no tienen un cierto enriquecimiento en alúmina.

### 3.2.2 Elementos traza

Los elementos trazas (Cs, Rb, Ba, Th, U, Nb, K, La, Ce, Pb, Pr, Sr, P, Nd, Zr, Sm, Eu, Ti, Y, Yb y Lu) se concentran selectivamente en diversas fases, pueden incorporarse o excluirse con gran selectividad, ya que suelen ser muy sensibles a los procesos de fraccionamiento, estos se clasifican con base a su comportamiento geoquímico.

Según Tosselli (2010), los elementos trazas incompatibles se concentran más en el fundido que en el sólido. Elementos trazas compatibles se concentran en el sólido, que, por supuesto depende de los minerales involucrados, pero que comúnmente se estandarizan a los minerales del manto (olivino, piroxenos y granate). A los elementos mayores Fe y Mg se les considera compatibles, mientras que K y Na serían incompatibles.

Los incompatibles son subdivididos en dos subgrupos según la relación de valencia a radio iónico. Los más pequeños y con mayor carga "*High field strenght*" (HFS), incluyen a las tierras raras, Th, U, Ce,  $Pb^{4+}$ , Zr, Hf, Ti, Nb y Ta. Los de baja carga "*large ion lithophile* (LIL) que incluye a: K, Rb, Cs, Ba,  $Pb^{2+}$ , Sr,  $Eu^{2+}$ , son considerados más móviles, particularmente en presencia de fases fluidas.

Los elementos pequeños de baja valencia, son generalmente compatibles, incluyen a los elementos trazas Ni, Cr, Cu, W, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Au.

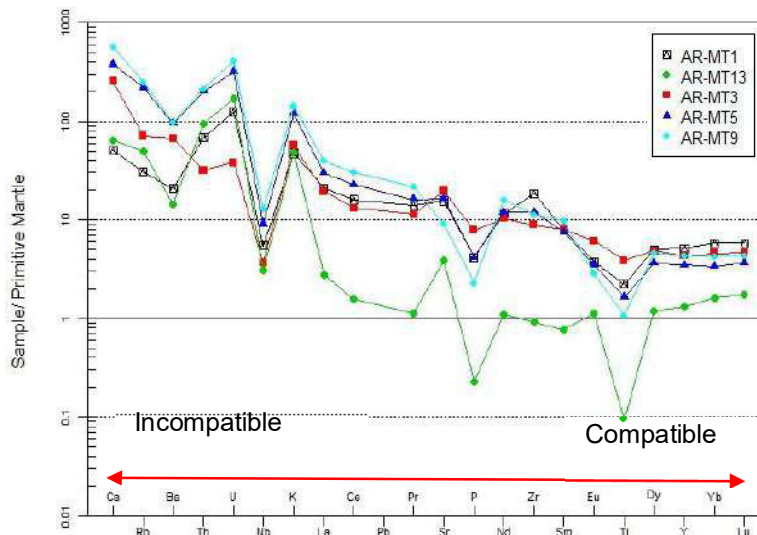
Para los diagramas de elementos traza se utilizó la normalización de Sun y McDonough (1989), el cual muestra a los elementos traza incompatibles normalizados respecto al manto primitivo. En esta gráfica (figura 14) se observa un patrón muy similar en todas las muestras, la muestra AR-MT13 presenta una variación de concentración de elementos incompatibles, aunque presenta anomalías positivas de U, K, Sr, lo que indica una génesis con mayor aporte de corteza, tomando en cuenta que los elementos incompatibles se empobrecen y se asume que esta roca tiene una mayor afinidad a minerales félsicos, es por ello que la mayoría de los elementos traza se presentan en menores cantidades.

En la figura 14, se observan las anomalías negativas en ciertos elementos tales como: Ba, lo que representa una evolución de magmas en la corteza por su grado de incompatibilidad, el P y Ti se pueden interpretar como una menor porción de minerales máficos en la roca, el Nb puede determinarse como un magmatismo asociado a la zona de subducción y arco volcánico.

Según Green (1989) un decaimiento (anomalía negativa) en la concentración del Sr indica la remoción una serie relacionada a los magmas, es incompatible bajo condiciones del manto, pero en ausencia de los feldespatos.

Para la tendencia general del Sr en la muestra se observa una anomalía positiva, lo cual indica que la formación de la roca no se dio en condiciones del manto, también se muestra que esta anomalía representa la presencia de los feldespatos dentro de la roca.

**FIGURA 14**  
**DIAGRAMA DE ELEMENTOS TRAZA NORMALIZADOS AL MANTO PRIMITIVO; SUN AND MCDONOUGH (1989)**



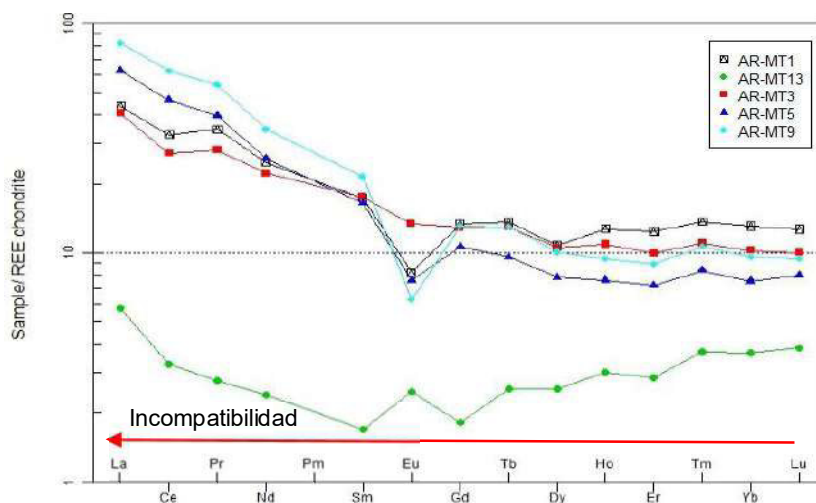
**Fuente:** Investigación campo. 2016.

El diagrama de la figura 15 (REE Chondrite, Nakamura, 1974), muestra a las tierras raras, las cuales se distinguen como parte de la concentración del manto, estas pueden ser ligeras (LREE), siendo las más compatibles con la corteza; están presentes en feldespatos, biotitas y apatito, las pesadas (HREE) principalmente en piroxenos, anfíboles y granates.

La mayoría de muestras tienen un comportamiento que evidencia una pendiente negativa en las tierras raras ligeras, lo que probablemente sea evidencia del aporte de corteza, en la que existe una anomalía del Eu, probablemente se debe al fraccionamiento de plagioclasas, ya que el  $\text{Eu}^{2+}$  tiende a remplazar más al calcio en este tipo de feldespatos (anomalía del Eu); las tierras medias (MREE) y tierras pesadas (HREE) son menos regulares en su comportamiento.

A excepción de la AR-MT13, esta se comporta de manera diferente con una anomalía positiva en el Eu, donde según German *Et.Al.*, 1999, Chen *Et.Al.*, 2006, sugieren una influencia de fluidos hidrotermales en la formación, la cual se encuentra escasa de fraccionamiento de plagioclasas, mientras que las demás REE de la muestra son bastante similares al resto (de pendiente negativa).

**FIGURA 15**  
**DIAGRAMA DE ELEMENTOS REE NORMALIZADAS A**  
**CONDRIITO, NAKAMURA (1974)**



Fuente: Investigación campo. 2016.

### 3.3 Discusión de resultados

#### 3.3.1 Unidad de Granodiorita (TGr)

Esta unidad presenta en el análisis petrográfico un porcentaje mineralógico de: cuarzo (32 %), feldespatos alcalinos (16 %) con presencia de microclina y ortosa, lo cual indica un proceso de enfriamiento lento y en etapas finales de la consolidación del magma formando una desmezcla, de allí su carácter tardío (su formación fue en la última fase de cristalización) de los oikocristales, quienes

podieron formarse posteriormente dentro de los feldespatos alcalinos.

Las plagioclasas con un (38 %) clasificándose como polisintéticas y labradoritas (con un ángulo de extinción de  $20^\circ$ ), con zonaciones discontinuas oscilatoria. Los anfíboles (6 %) se encuentran cloritizados, pueden pertenecer a una fase tardía en la roca plutónica por el hábito elongante en que se encuentran. La presencia de biotita (6 %), la cual presenta halos como lo son las inclusiones de circón y un 2 % de minerales opacos.

Basado en los criterios petrográficos de cristales euhedrales de mayor antigüedad se puede establecer que las plagioclasas son minerales precoces debido a que tienen un desarrollo de las aristas y caras relativamente bien desarrolladas, a partir de esto se puede definir que: los minerales tardíos dentro de la secuencia son; los anfíboles, el cuarzo y el feldespato alcalino, ya que estos crecen de una forma libre dentro del líquido residual que cristaliza en el magma, es por ello que la fotografía 4,a y 4,b, se observa que el Afs crece de una forma amorfa y rellena todo los bordes de los demás cristales, e incluso se pueden observar pequeñas inclusiones de otros cristales (Cuarzo, plagioclasas).

Por lo tanto, las granodioritas pertenecen a una fase de cristalización dentro de la secuencia que es más tardía. Es por ello que estas muestras en la figura 11, b se encuentran sobre el límite de granito y granodiorita según Middlemost (1994), refiriéndose a las muestras AR-MT1 Y AR-MT5. Al igual que la gráfica de la figura 11, c localiza a dichas muestras (AR-MT1 Y AR-MT5) en el límite de granodiorita y trondhjemita y el en límite granodiorita- granito.

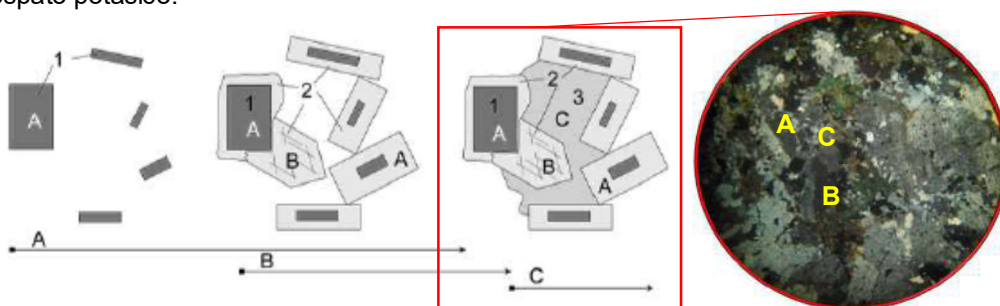
### 3.3.2 Unidad de Diorita (TDr)

Petrográficamente esta unidad contiene cuarzo (3 %), de textura poiquilitica la cual puede indicar que los glomérulos fueron formados posteriormente al origen de los minerales de cuarzo a los que intruye. Los feldespatos alcalinos (5 %); sanidina de simetría monoclinica, su mayor porcentaje se representan en el contenido de Ca reflejada por medio de las plagioclasas (60 %), las cuales se catalogan como polisintéticas de tipo andesina con base al ángulo de extinción de 20°.

Los anfíboles (25 %) y biotita (5 %), se pueden catalogar como cristales tardíos en una secuencia, formados con grupos de magmas hidratados, pertenecientes a la fase poiquilitica tardía, como se observa en la figura 16; en donde A es plagioclasa, B anfíbol y C feldespato potásico. Los minerales opacos (2 %).

#### FIGURA 16 FORMACIÓN DE FASE POIQUILÍTICA TARDÍA

Esquema de formación de una fase parcialmente euhedral B que moldea a los núcleos precoces de A. C es una fase poiquilitica tardía. En una roca plutónica, A puede ser plagioclasa, B anfíbol y C feldespato potásico.



**Fuente:** Modificado de Castro Dorado, 2015. *Petrografía de rocas ígneas y metamórficas.*

Según las características que presentan las caras de las plagioclasas, las cuales predominan con más del 50 % del contenido, siendo esta una secuencia de cristalización precoz, pero

en la fase más tardía (último estado de la fase de cristalización) de los precoces (primera fase de cristalización), por el empaquetamiento que presenta bordes más redondeados, asociado a esto, también se pueden observar la matriz de Qz y Afs rellenando la sección; y se observa de forma amorfa o de manera intersticial los anfíboles y la biotita.

Como se muestra en los diagramas de clasificación geoquímica (figura 11, a y 11, b) esta unidad se encuentra en los límites de los gráficos entre gabro-diorita y diorita- monzonita, lo cual se interpreta de manera en que la diorita se localiza en el borde de la fase de cristalización.

### **3.3.3 Unidad de Granito (Tg)**

El análisis petrográfico del granito, contiene cuarzo (55 %) con extinción ondulante. Feldespatos alcalinos (30 %), se observa como sanidina y ortosa, los cuales caracterizan a los procesos de enfriamiento lento en las etapas finales de la consolidación del magma.

Las plagioclasas (8 %) son polisintéticas tipo andesinas con un ángulo de extinción de 25°, con zonaciones discontinuas oscilatorias. La biotita (10 %) es un mineral que se ve incluido en esta unidad y con minerales opacos (2 %).

Esta unidad presenta cristales con aristas bien definidas refiriéndose a las plagioclasas las cuales pertenecen a una secuencia de cristalización precoz (cristalizó primero), posterior a ello la biotita cristaliza de manera en que llegó a formarse como un hábito subhedral, por último se muestra la estabilidad del cuarzo con



caras curvadas (angulosas) y el feldespato amorfo, estos dos últimos minerales se encuentran como la matriz de la unidad, la cual se considera como una fase de cristalización tardía.

La clasificación geoquímica de esta unidad se grafica en la figura 11, a y 11, b; la cual se cataloga como granito.

Basado en la figura 12 de los multielementos tipo Harker, donde se observa que todas las muestras presentan una tendencia negativa de los óxidos con respecto al silicio, esta secuencia de rocas pertenece a una cristalización fraccionada. La cual según López Ruiz (1990), en una secuencia de cristalización fraccionada, los minerales y el líquido residual se separa por lo que este se empobrece en elementos constituyentes de los minerales que se han formado y se enriquece en aquellos otros que no han entrado en dichos minerales, en consecuencia, la diversidad de rocas que se originan tendrán una composición más o menos alejada a la del magma primario.

Al generar líquidos residuales estos son empobrecidos en MgO, CaO y FeO y enriquecidos en SiO<sub>2</sub>. Observándose esta secuencia en rocas de las series calcoalcalina (serie a la cual pertenece el grupo de rocas en estudio).

Los elementos traza mostraron tendencias negativas en el P, Ti y Nb, lo que indica la interacción con la corteza continental durante los procesos magmáticos, según Rollinson (1993).

Mientras que la anomalía positiva en U, K y Zr, indican que son altamente incompatibles, por lo que se deduce que el magma que originó a esta unidad se formó con mayor aporte de corteza.

El ambiente al cual pertenece esta asociación de granitoides es un granito tipo I de origen mixto, los cuales según Barbarin (1999), son derivados del manto y corteza, estos son granitos calco-alcalinos y metaluminosos, los que involucran a los granitoides calco-alcalinos ricos en potasio (KCG) y los granitoides calco-alcalinos con anfíbol (ACG).

En donde los márgenes activos generan el magma a partir de la fusión parcial que se produce en la losa subductiva al interactuar con material del manto, este tiende a ascender debido al fraccionamiento del magma durante el ascenso, el magma tiende a desacelerarse e interactúa químicamente con la corteza hasta generar una desaceleración que permite que este se aloje en la corteza y produce una cámara magmática; debido a la interacción con la corteza estos magmas tienden a tener una mayor afinidad con el  $\text{SiO}_2$ .

Por lo cual se interpreta que estos granitoides pertenecen a un margen de placa relacionado a una zona de subducción, lo cual se refleja en la figura 10, a y 10, b al igual que en el gráfico de Schandl *and* Gorton (2002) (figura 17), pertenecen a un margen continental activo (MCA).

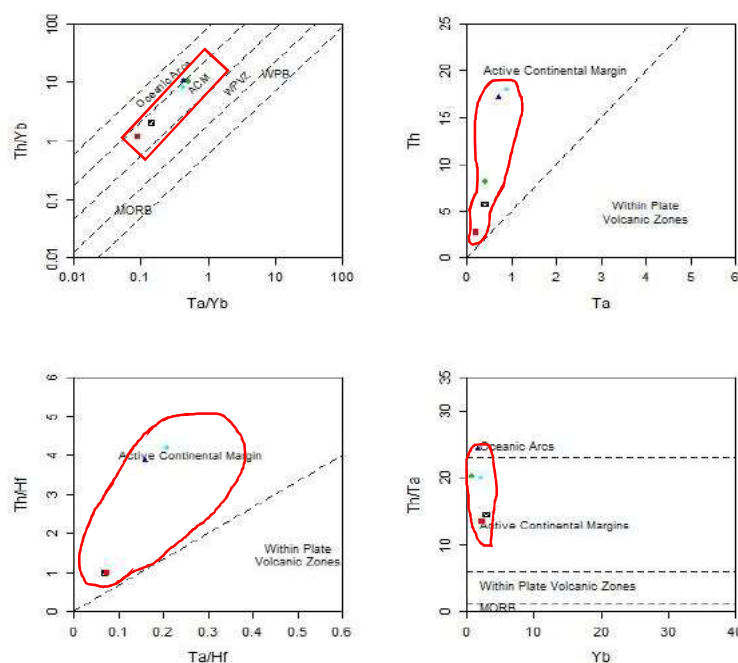
Según Martí, 2011, los magmas se encuentran agrupados composicionalmente o por medio de series magmáticas, los cuales representan una relación genética, marcan así las condiciones tectónicas sobre la formación y evolución de los magmas.

Las características anteriormente descritas se asocian a la geología que se encuentra dentro y alrededor del área, relacionando al noroeste a la Caldera Tzanjuyub, compuesta por flujos andesíticos

y al noreste un cuerpo intrusivo de mayor extensión (Granito Nahualate).

Relaciona esta intrusión como parte de los diversos eventos de la actividad volcánica ocurrido al occidente de Guatemala dentro de su dinamismo asociado a la zona de subducción.

### FIGURA 17 CLASIFICACIÓN GEOTECTÓNICAS DE ROCAS VOLCANICAS SCHANDL AND GORTON (2002)



Fuente: Investigación campo. 2016

Según el estudio de Williams y McBirney (1979), en la datación realizada del intrusivo (edad de 8,3 Ma), es parte del segundo ciclo (10 Ma - 8 Ma) de la caldera Atilán. Ha tenido una secuencia de eventos de la siguiente manera: el crecimiento de estratovolcanes andesíticos de dicha caldera Atilán, continuó con el crecimiento del Volcán Tzanjuyub, después con la generación de la caldera Tzanjuyub, posterior a ello se desarrolló el evento de

magmas ácidos de las diferentes cámaras magmáticas y simultáneamente a ello intruyó este cuerpo, luego se asocia la erupción volcánica de los Chocoyos, con edades correlativas al intrusivo estudiado.

Momentáneamente se puede resaltar la relación entre los cuerpos intrusivos estudiados por Hughes (1978), descritos en "*Geology and petrology of Caldera Tzanjuyub*"; (granitos bióticos (Tbg)), debido a que los granitoides estudiados en este trabajo pueden representar una variación en cuanto a la cristalización dentro de todo el cuerpo magmático, ya que como se observó anteriormente, existe una secuencia de cristalización en donde la Diorita (TDr) parece pertenecer a una fase de cristalización temprana (debido al contenido de Pl, Afs y Qz); terminando en una fase tardía de cristalización, se encuentra el granito de (Tg) que puede estar relacionado con el granito biotítico estudiado por Hughes (1978), ambos pertenecen a un estado de cristalización más tardío.

## CONCLUSIONES

### General

Se analizaron 8 muestras petrográficamente y a 5 de ellas se les realizó el análisis geoquímico; de ellas se determinaron tres unidades: Unidad de Granodiorita y Unidad de Diorita ambas pertenecientes a una serie calcoalcalina y de contenido de álcalis metaluminosa y la Unidad de Granito de serie calcoalcalina alta en potasio y de contenido álcalis peraluminosa, clasificándose estas unidades como cuerpos intrusivos de Granitos Tipo I.

### Específicas

- a) La Unidad de Diorita, se compone por cuarzo (8 %), feldespatos alcalinos (5 %), plagioclasas (60 %), anfíboles (25 %), biotita (5 %), minerales opacos (2 %).
- b) La Unidad de Granodiorita presenta un contenido mineralógico de cuarzo (32 %), feldespatos alcalinos (16 %), plagioclasas (38 %), anfíboles (6 %), biotita (6 %), minerales opacos (2 %).
- c) La Unidad de Granito contiene cuarzo (55 %), feldespatos alcalinos (30 %), plagioclasas (8 %), biotita (10 %), minerales opacos (2 %).
- d) El grupo de granitoides analizados se clasifican como granitos calcoalcalinos ricos en potasio (KCG) y granitoides calco-alcalinos con anfíbol (ACG), de origen mixto (corteza + manto), catalogado como un granito de arco volcánico (VAG), asociado a una zona de subducción.

e) Este grupo de intrusivos son de naturaleza metaluminosa, clasificándose como una secuencia de rocas como: Diorita, Granodiorita y Granito.

f) Los elementos traza mostraron tendencias negativas en el P, Ti y Nb y anomalías positivas en U, K y Sr, lo cual indica que son altamente incompatibles. Se deduce que el magma que originó a esta unidad se formó con mayor aporte de corteza continental. Y las anomalías positivas indican la interacción con la corteza continental durante los procesos magmáticos.

g) Los cuerpos graníticos corresponden a una serie de cristalización fraccionada, la cual se caracteriza por cuando los minerales y el líquido residual se separan, empobreciéndose elementos constituyentes de los minerales que se han formado y se enriquece en aquellos otros que no han entrado en dichos minerales, por lo que originan una composición más o menos alejada a la del magma primario.

h) Los cuerpos intrusivos con edades aproximadas de 8,3 Ma; datación realizada por Williams y McBirney (1979), se asocian al segundo evento de la caldera Atilán y relacionándose con los cuerpos intrusivos estudiados por Hughes (1978), debido a la variación de cristalización dentro de todo el cuerpo magmático, ambos cuerpos pertenecen a un estado de cristalización más tardía.

## RECOMENDACIONES

- a) Realizar la geocronología del cuerpo intrusivo Nahualte ubicado al noreste de la caldera Tzanjuyub, por el método de U-Pb, para correlacionarlo con los eventos geodinámicos de la cordillera volcánica de Guatemala.
- b) Realizar un estudio isotópico, con el sistema Rb-Sr para los granitoides localizados en el área de estudio.
- c) Estudiar los flujos andesíticos provenientes de la caldera Tzanjuyub para correlacionarlos a la intrusión ubicada al suroeste del río Nahualate.
- d) Elaborar estudios de geoquímica y geocronología de los diferentes cuerpos intrusivos del occidente de Guatemala, para determinar el basamento de dicha área.
- e) Comparar los cuerpos intrusivos del occidente de Guatemala con los cuerpos intrusivos del sureste de México, para determinar si existe alguna relación geoquímica, geocronológica y tectónica.





## BIBLIOGRAFÍA

- Barbarin, Bernard. "A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments" *Lithos Journal*, 46. (1999): 605-626.
- Barros Haydn, Et Al. *Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado*. <http://www.bvsde.paho.org/texcom/cd045364/MCEcap7.pdf> (13 de agosto de 2015): 113.
- Barker, *Trondhjemites: Definition, environment and hypotheses of origin*. In: *Barker, F. Trondhjemites, Dacites and Related Rocks*. Amsterdam; Netherlands: Elsevier, 1979.
- Castro, Antonio. *Petrografía de rocas ígneas y metamórficas*. España: Paraninfo, 2015.
- Chappell, B.W. "Two contrasting granite types: 25 years later". *Australian Journal of Earth Sciences*. 48, 4. (2001): 489-499.
- Chen, D. "Hydrothermal venting and basin evolution (Devonian, South China): constraints from rare earth element geochemistry of chert. *Sediment Geologist*. 183. (2006). 203-216.
- Concepto de saturación*. [http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_18/02.htm](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/02.htm). (13 de agosto de 2015).
- De la Roche, H. Et Al "A clasification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2. Diagramas and major elements analysis – its relationships whit current nomenclature". *Chemical Geology Journal*. 29. 1-4. (1980): 183-210.
- Duque, José. *Geocronología (U/Pb y 40Ar/39Ar) y geoquímica de los intrusivos Paleógenos de la Sierra Nevada de Santa Marta y sus relaciones con la tectónica del Caribe y el arco magmático circuncaribeño*. Tesis Maestro en Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma de México. México: UNAM., 2009.
- German, C.R. "Geochemistry of a hydrothermal sediment core from the OBS vent-field. *Easte Pacific Rise*. 155, 21. (1999): 65-75.

- Green, T. *An experimental study of Nb and Ta partitioning between Ti-rich minerals and silicate liquids at high pressure and temperature*. England: Geochimical et Cosmochimical, 1987.
- Hughes, Jhon M. *Geology and Petrology of Caldera Tzanjuyub, western Guatemala*. Hanover, New Hampshire. United States of America: Dartmouth College, 1978: 12-76.
- Instituto Geográfico Militar –IGM-. *Mapa geológico Guatemala (ND15-8)*. Guatemala. Instituto Geográfico Militar. 1984. Escala 1:250 000 color.
- Irvine, T. N. "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks". *Canadian Journal of Earth Sciences*. 8. (1971): 523–48.
- Jerram, Dougal y Nick Petford. *The field description of igneous rocks*. United States of America: Wiley-Blackwell, 2011.
- Llambías, Eduardo. *Geología de los cuerpos ígneos*. Argentina: Instituto Superior de Correlación Geológica, 2001.
- Martí, Joan. *¿Qué sabemos de? Los volcanes*. España: CSIC., 2011.
- Man, Paul. Et. Al. "Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Northern Central America." *The Geological Society of America*. United States of America: GSA Books Science, 2007. Special Paper 428. 151.
- Middlemost, E. A. K. Naming materials in magma/igneous rock system. *Earth Science Review*. 37. (1994): 215-224.
- Milián, Ricardo. *Petrografía, geoquímica y geocronología del Stock ubicado en los alrededores de la Aldea Matanzas, Municipio de San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala*. Tesis Ingeniero Geólogo, Centro Universitario del Norte, Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz. Guatemala: Carrera de Geología, 2013.
- Newhall, Christopher G. *Geology of the Lake Atitlán region, western Guatemala*. Hanover, Alemania. Dartmouth College. Hanover, 1986: 23-53.
- Núñez, L., Vanesa. *Informe complementario de la cartografía geológica y geomorfológica (1: 25,000) de la cuenca del Lago Atitlán (Guatemala)*. Vivamos Mejor Guatemala. Guatemala: Vivamos Mejor Guatemala, 2012.
- Origen y ambiente tectónico*. [http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_18/11.htm](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/11.htm) (13 de agosto de 2015).

- Perecillo, R. "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, North Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 58: (1976): 63-81.
- Petrografía*, <http://bernietic.blogspot.com/2007/11/petrografia.html> (14 de agosto de 2015).
- Pitcher, W. *Granite type and tectonic environment*. London; England: Academic Press, 1983.
- Reiche, Yáneth. *Informe de la cartografía geológica y geomorfológica de la microcuenca del río Masá, Guatemala*. Guatemala: Vivamos Mejor, 2015: 26.
- Rollinson, Hugh. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. England: Longman Scientific & Technical, Series Geochemistry, 1993.
- Rose, W. "Geochemistry of the Los Chocoyos Ash, Quetzaltenango Valley, Guatemala". *Geological Society American. Special Paper*. 180. (1979): 87-89.
- Shand, S.J. *Eruptive rocks: Their genesis, composition, classification, and their relation to ore deposits, with a chapter on meteorites*. London; England: T. Murby, New York, J. Wiley, 1943.
- Sun, S. "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes". *Geological Society of London. Special Publication*. 42. (1989): 313-345.
- Thomas, Robert. *A beginner's guide to ICP-MS. Part I. Spectroscopy*. Iselin, New Jersey. United States of America: Marcel Dekker, 2001: 1.
- Toselli, Alejandro. *Elementos básicos de petrología ígnea*. Argentina: Instituto Superior de Correlación Geológica, 2010.
- Villaseca, Et. Al. "A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts". *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*. 89 (junio 1998): 113-119.



V.º B.º  


Adán García Véliz  
 Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa  
 Bibliotecario

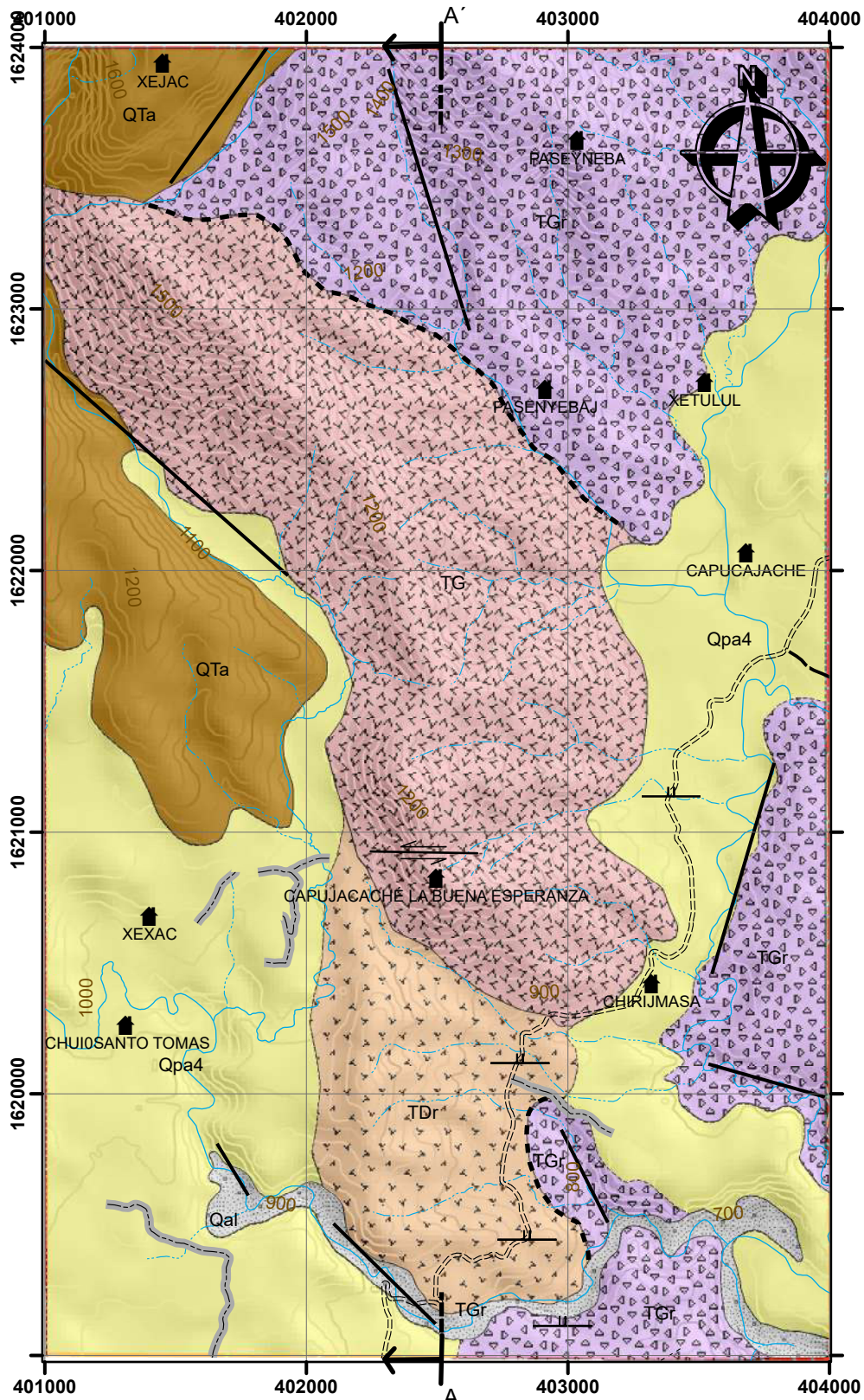




**ANEXOS**



# Anexo I MAPA GEOLÓGICO



- Leyenda**
- Unidades litologicas**
- Aluvi3n
  - Ceniza
  - Flujo andesitico
  - Granito
  - Grandiorita
  - Diorita
- Simbolog3a Fallas**
- Falla sinistral
  - Falla supuesta
- Estructuras**
- Fractura
  - Contacto gradual
  - Contacto discordante
- Patrones de drenaje**
- Curso de agua Intermitente
  - R3o Perenne
- Fisiograf3a**
- Poblados
  - Calles en 3reas urbanas.
  - Pavimentado dos o mas vias
  - Rodera
  - Sendero
  - Curvas 100 m
  - Curvas 20 m

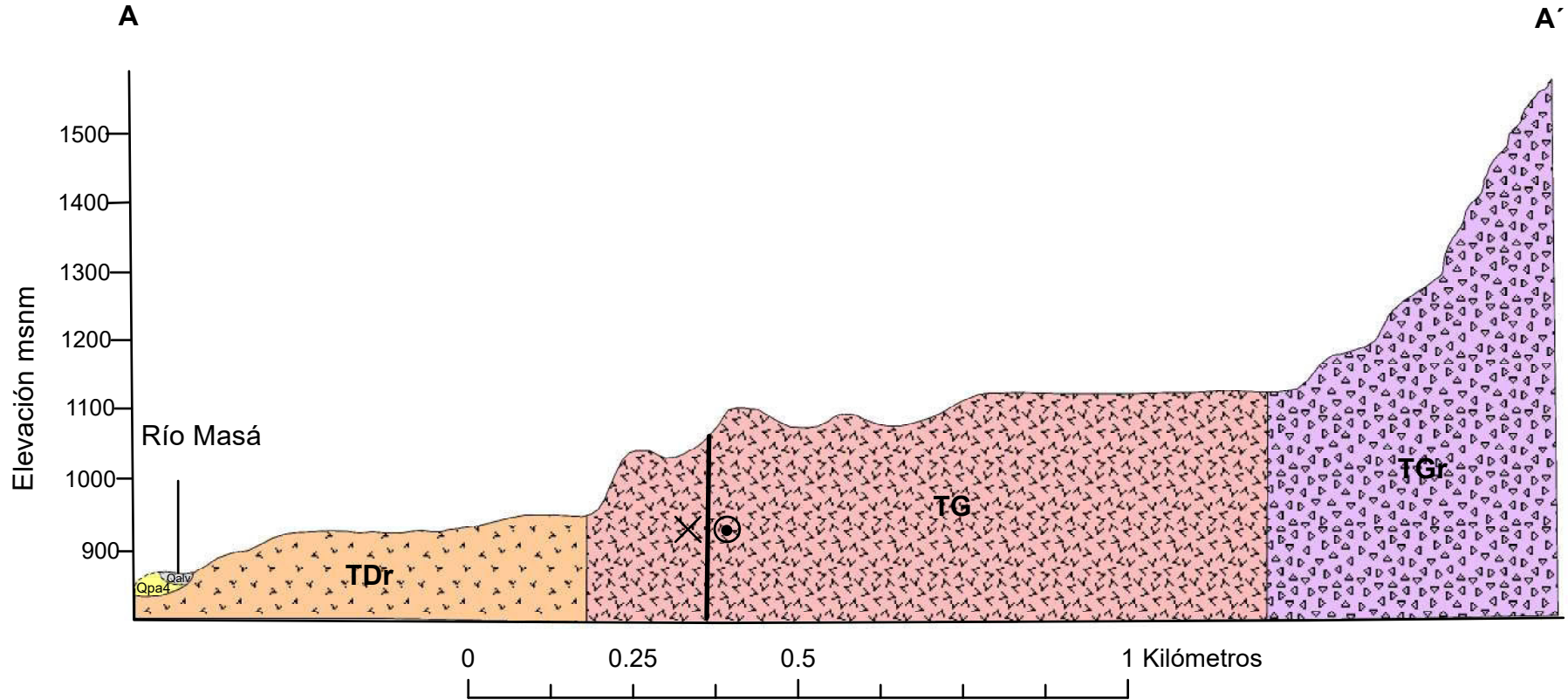
0 0.25 0.5 1 Kil3metros

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE		
	"AN3LISIS GEOQU3MICO Y PETROGR3FICO DEL GRANITO UBICADO AL SUROESTE DEL R3O NAHUALATE."		
<b>CONTIENE:</b>	<b>MAPA GEOL3GICO</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	Y3neth Alejandra Mar3a Reiche Alvarado		
<b>CARN3:</b>	200944086		
<b>Escala:</b> 1:25,000	<b>Asesor:</b> Ing. Osmin V3squez	<b>Fecha:</b> Abril de 2016.	<b>ANEXO I</b>





## ANEXO II PERFIL GEOLÓGICO A - A'



Leyenda	Simbología
<p><b>Unidades</b></p> <p><b>Qalv</b> Aluvión</p> <p><b>Qpa4</b> Ceniza</p> <p><b>TG</b> Granito</p> <p><b>TGr</b> Granodiorita</p> <p><b>TDr</b> Diorita</p>	<p><b>Falla sinistral</b></p> <p style="text-align: center;">X ⊙</p>

	<b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE</b>		
	<b>“ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y PETROGRÁFICO DEL GRANITO UBICADO AL SUROESTE DEL RÍO NAHUALATE.”</b>		
<b>CONTIENE:</b>	<b>PERFIL GEOLÓGICO</b>		
<b>REALIZADO POR:</b>	Yáneth Alejandra María Reiche Alvarado		
<b>CARNÉ:</b>	200944086		
<b>Escala:</b> 1:10,000	<b>Asesor:</b> Ing. Osmin Vásquez	<b>Fecha:</b> Abril de 2016.	<b>ANEXO II</b>



### ANEXO III GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA Y MAYORES

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni
AR-MT1	70,3	15,31	1,88	0,98	3,8	5,04	1,4	0,48	0,09	0,02	0,025	<20
AR-MT3	57,7	16,73	7,73	3,49	6,6	3,85	1,7	0,83	0,17	0,13	0,019	<20
AR-MT13	77,6	12,93	0,79	0,02	1,7	4,73	1,4	0,02	<0,01	<0,01	0,045	<20
AR-MT5	69,3	15,21	2,98	0,96	2,8	3,91	3,6	0,36	0,09	0,06	0,026	<20
AR-MT9	72,6	14,13	2,22	0,5	1,5	3,62	4,3	0,23	0,05	0,05	0,043	<20

Muestra	Sc	LOI	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn
AR-MT1	10	0,6	146	1	4,4	0,4	14,4	5,8	3,9	19,5	2
AR-MT3	22	0,9	470	<1	20,7	2	16,4	2,7	2,6	45,2	<1
AR-MT13	<1	0,7	100	3	1	0,5	13,2	0,7	2,2	31,2	<1
AR-MT5	5	0,6	664	3	5,9	3	16,9	4,4	6,5	140,8	2
AR-MT9	4	0,7	684	2	3,1	4,5	16,3	4,3	9,2	158,4	2

Muestra	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr
AR-MT1	328	0,4	5,8	2,6	57	<0,5	207	23,2	14,4	28,3	3,87
AR-MT3	413	0,2	2,7	0,8	177	0,5	99	19,6	13,4	23,5	3,14
AR-MT13	82,4	0,4	8,1	3,6	<8	1,4	10	6	1,9	2,8	0,31
AR-MT5	341	0,7	17,1	6,7	47	<0,5	134	15,8	20,5	40,1	4,44
AR-MT9	193	0,9	18,1	8,6	25	2	127	19,6	27,2	53,9	6,06

Muestra	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
AR-MT1	15,6	3,51	0,63	3,69	0,6	3,68	0,9	2,79	0,41	2,87	0,43
AR-MT3	14	3,54	1,03	3,55	0,6	3,59	0,8	2,24	0,33	2,25	0,34
AR-MT13	1,5	0,34	0,19	0,5	0,1	0,87	0,2	0,64	0,11	0,8	0,13
AR-MT5	16,2	3,34	0,58	2,92	0,5	2,67	0,5	1,61	0,25	1,65	0,27
AR-MT9	21,8	4,34	0,48	3,62	0,6	3,46	0,7	2	0,32	2,1	0,32



No. 050-2017

**USAC  
CUNOR**

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro Universitario del Norte



El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer los dictámenes de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

**INGENIERO GEOLOGO**

Al trabajo titulado:

**INFORME FINAL DE TESIS**

**TEMA: "ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y PETROGRÁFICO DEL GRANITO UBICADO AL SUROESTE DEL RÍO NAHUALATE"**

Presentado por el (la) estudiante:

**YANETH ALEJANDRA MARIA REICHE ALVARADO**

Autoriza el

**IMPRIMASE**

Cobán, Alta Verapaz 14 de Marzo de 2017.

  
Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales  
DIRECTOR

