



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DEL
COMPLEJO VOLCÁNICO TACANÁ, CHIAPAS, MÉXICO.**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA GEÓLOGA
P R E S E N T A :**

VALERIE POMPA MERA

**DIRECTOR DE TESIS: DR. JUAN CARLOS
MORA CHAPARRO**



CIUDAD UNIVERSITARIA 2005



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mi familia:

A mi madre, Elvia Mera Jiménez por su gran ejemplo de fortaleza, por su apoyo y solidaridad conmigo a lo largo de toda mi vida.

A mi padre, José Pompa: Por las cosas aprendidas a tu lado.

Siempre te voy a querer.

A mis hermanos: Oscar y Ericka Nelly por su compañía y enseñanzas a lo largo de nuestras vidas.

A mi cuñado Juan Carlos Zenteno: Por ser como mi tercer hermano y un gran complemento para mi familia

Y por supuesto, a mi sobrino Juan Carlos Zenteno Pompa: Por existir, por ser mi pequeño “Reparador de sueños”.

A la memoria de Alicia Villalpando Álvarez

Siempre te recordaré...

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento al Doctor Juan Carlos Mora Chaparro por su asesoría en la elaboración de esta tesis pero sobre todo por su amistad y por las oportunidades que me ha brindado desde mi llegada al Instituto de Geofísica, UNAM.

A los Doctores José Luis Macías Vázquez y Armando García Palomo por la información proporcionada durante la realización de este trabajo y sus enseñanzas durante la preparación del mismo.

A mis sinodales Dr. Victor Manuel Malpica Cruz, Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo, M. en C. Sergio Yussim Guarneros e Ing. Jesús Castro Mora por sus observaciones y enseñanzas durante mi formación.

Al Doctor Paul W. Layer de la Universidad de Alaska en Fairbanks por su amistad, por darme la oportunidad de conocer su país y por compartir sus conocimientos con nosotros.

A mis amigas: Beatriz Adriana Díaz Bravo, María del Carmen Jaimes Viera, Perla Elizabeth Sánchez Hernández, Diana R. Tapia Juárez, Verónica Ramos Nieto y Clara Raquel Mejía Guillén por su amistad y por la enorme identidad que me une a ustedes. Las admiro.

A Aurora Lechuga por su amistad y gran interés en mi familia, por el gran apoyo que nos has brindado a todos.

A mis amigos y compañeros del Instituto de Geofísica: Silvestre Ruiz y Lorenzo Meriggi por su ayuda, colaboración y observaciones durante la realización de este trabajo y por supuesto por su agradable compañía.

A mis amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería: David Blanco, Daniel Bolaños, Pedro Santillán, Augusto A. Rodríguez, Osbaldo Iván Vargas, Guillermo Hernández, Erick Y. Ramírez, Ahiram Monter, Armando Alcalá, Montserrat Galindo, Erick Murillo, Victor Hugo Valdéz y

A los doctores María Rosario Argueta y Juan Antonio Mejías Vizcarro por su enorme ayuda en mis momentos más difíciles al principio y al final de mis estudios, pero sobre todo por enseñarme a asumir la responsabilidad de mi vida y mi mente. Gracias por la lección de vida.

A la UNAM por la formación que he recibido y las cosas que he vivido desde mi ingreso a esta institución.

ÍNDICE

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.1.1. Ubicación y acceso.....	1
1.1.2. Clima.....	4
1.1.3. Fisiografía.....	4
1.2. Antecedentes.....	7
1.3. Planteamiento del problema.....	13
1.4. Objetivos.....	13
1.5. Metodología.....	14
1.5.1. Trabajo de Gabinete.....	14
1.5.2. Trabajo de Campo.....	14
1.5.3. Trabajo de Laboratorio.....	15
Capítulo 2. GEOLOGÍA REGIONAL.....	17
2.1. Ambiente geológico regional.....	17
2.2. Tectónica regional.....	17
2.2.1. Zona de desplazamiento lateral.....	20
2.2.2. Punto triple.....	20
2.2.3. Zona de subducción.....	21
2.2.4. Cordillera de Tehuantepec.....	21
Capítulo 3. GEOLOGÍA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO TACANÁ.....	23
3.1. Geología estructural local.....	23
3.2. Estratigrafía.....	23
3.2.1. Basamento.....	23
3.2.2. Secuencia de calderas.....	25
3.2.3. Volcán Chichuj.....	27
3.2.4. Volcán Tacaná.....	27
3.2.5. Domo Las Ardillas.....	28
3.2.6. Volcán San Antonio.....	29
Capítulo 4. ESTUDIO PETROLÓGICO Y GEOQUÍMICO.....	31
4.1. Basamento del Complejo Volcánico Tacaná.....	31
4.1.1. Clasificación química de roca total.....	31
4.1.2. Petrografía del basamento.....	33
4.2. Secuencia de calderas.....	38
4.2.1. Clasificación química de roca total.....	39
4.2.2. Petrografía de Calderas.....	42
Caldera Sibinal.....	43
Caldera Chanjalé.....	44
Caldera San Rafael.....	48
4.3. Volcán Chichuj.....	54
4.3.1. Clasificación química de roca total.....	54
4.3.2. Petrografía del Volcán Chichuj.....	58
4.4. Volcán Tacaná.....	64

4.4.1.	<i>Clasificación química de roca total</i>	64
4.4.2.	<i>Petrografía del Volcán Tacaná</i>	68
4.5.	Domo Las Ardillas.....	77
4.5.1.	<i>Clasificación química de roca total</i>	77
4.5.2.	<i>Petrografía del Domo Las Ardillas</i>	79
4.6.	Volcán San Antonio.....	81
4.6.1.	<i>Clasificación química de roca total</i>	81
4.6.2.	<i>Petrografía del Volcán San Antonio</i>	85
Capítulo 5. DISCUSIÓN.....		93
5.1	Discusión de resultados.....	93
5.2	Modelo de evolución magmática del área de estudio.....	101
Capítulo 6. CONCLUSIONES.....		115
BIBLIOGRAFÍA.....		116

ANEXOS

Anexo 1. Base de datos

Anexo 2. Química de roca total

Anexo 3. Análisis petrográfico.

Mapa geológico del Complejo Volcánico Tacaná

RESÚMEN

El Complejo Volcánico Tacaná (CVT) se localiza en el límite del Estado de Chiapas al sur de México, y el Departamento de San Marcos en Guatemala. El CVT abarca la parte noreste del Arco Volcánico Centroamericano (AVCA), el cual se extiende unos 1300 km desde el sureste de México hasta Costa Rica, recorriendo de forma paralela a la Trinchera Mesoamericana. El AVCA se constituye de numerosos estratovolcanes derivados de magmas calco-alcalinos, originados durante el Eoceno (García-Palomo *et al.*, 2004, en referencias).

El CVT se encuentra influenciado por dos importantes características tectónicas: hacia el norte por el límite entre las placas de Norteamérica y del Caribe constituido por la zona de Falla Motozintla, una falla activa con desplazamiento lateral izquierdo que está relacionada al sistema de Fallas Motagua-Polochic, la cual se localiza en el borde entre las placas de Norteamérica y del Caribe; mientras que hacia el sur se encuentra influenciado por la subducción de la Placa de Cocos debajo de la Placa Norteamericana, las cuales en su conjunto forman el ensamble de un punto triple en la región (Guzmán-Speziale *et al.*, 1989).

El CVT ha sido estudiado por diversos autores, entre los que destacan Bergeat (1894) y Sapper (1927), (Mercado y Rose, 1992, en referencias), quienes reportaron las actividades observadas en el Volcán Tacaná. Por otra parte, Mullerried (1951) y De la Cruz-Reyna *et al.* (1989) realizaron estudios sobre explosiones freatomagmáticas ocurridas y pronosticaron la posible actividad del volcán y las consecuencias en los poblados aledaños a este. De la Cruz y Hernández (1985), presentaron el primer mapa geológico de este volcán mostrando que este complejo volcánico se encuentra emplazado sobre rocas graníticas del Cenozoico y nombraron tres unidades de flujos piroclásticos y flujos de lava correspondientes al Cuaternario. De Cserna *et al.* (1988), presentaron un mapa geológico basado en fotointerpretación. En este estudio reconocieron que el Volcán Tacaná se formó en tres episodios. Espíndola *et al.* (1989) presentaron las primeras determinaciones isotópicas, obtenidas por muestras de carbón diseminado en los depósitos generados durante una erupción peleana, revelando una edad de 38, 000 años. Mercado y Rose (1992), publicaron un mapa geológico basado en fotointerpretación y presentan los posibles riesgos si este volcán entrara nuevamente en actividad. Entre estos riesgos consideraron principalmente a los depósitos de avalancha, depósitos de flujos piroclásticos y depósitos de lahar.

El primer estudio en el que se consideró al Volcán Tacaná como un complejo volcánico fue realizado por Macías *et al.* (2000), quienes concluyeron que el CVT se constituye de tres estructuras volcánicas: el Volcán Chichuj con una altura de 3,800 m.s.n.m., el Volcán Tacaná cuya cima se localiza a 4,060 m.s.n.m. y el Volcán San Antonio, cuya cima se sitúa a 3,700 m.s.n.m. Estos autores propusieron que la actividad del CVT ha presentado una migración desde el NE hacia el SO, emplazándose sobre una caldera a la que denominaron San Rafael. Estos autores también estudiaron a detalle una erupción peleana del Volcán San Antonio ocurrida hace 1950 años, que produjo un flujo de bloques y cenizas emplazado hacia la población de Mixcún y al cual se le asocia un depósito de lahar ubicado en la zona. Estos autores mencionan que este evento eruptivo tuvo repercusiones en la población de Izapa, el principal centro ceremonial de la región del Soconusco. Basados en estos resultados, propusieron un mapa de riesgos de la zona donde consideraron los productos emitidos por esta actividad. Mora *et al.* (2004) realizó un estudio petrográfico y geoquímico de los depósitos generados por la actividad del CVT durante los últimos 40,000, correspondiente a los tres edificios volcánicos mencionados por Macías (2000), concluyendo que la composición de estos magmas es típica de zonas orogénicas.

El estudio más reciente sobre el CVT fue realizado por García-Palomo *et al.* (2004). En este estudio proponen que el CVT fue afectado por dos episodios magmáticos durante el Eoceno Tardío al Oligoceno Temprano; el primero relacionado a la subducción de la Placa de Farallón por debajo de la Placa Norteamericana, y el segundo tuvo lugar durante el Mioceno Medio asociado a la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribeña. Durante el Plioceno fueron formadas las tres estructuras caldéricas (San Rafael, Chanjale y Sibinal) y del Plioceno Temprano al Pleistoceno estas calderas fueron afectadas por fallas normales cuya orientación es NE-SO originando el graben Tacaná dentro del cual fue emplazado el CVT en el Pleistoceno Tardío formando de manera subsecuente cuatro estructuras alineadas denominadas Chichuj, Tacaná, Plan de las Ardillas y San Antonio. En este estudio se llevó a cabo el análisis sistemático de las diferentes estructuras que conforman este complejo volcánico, así como la evolución del mismo proponiendo la columna estratigráfica. Entre los aspectos más importantes de este estudio se encuentra la cronología de la secuencia estratigráfica desde el basamento hasta los productos emitidos en la actividad más reciente del CVT.

El desarrollo del presente trabajo ha sido basado en esta secuencia estratigráfica, para lo cual se llevó a cabo un estudio petrográfico y geoquímico de las rocas del basamento en la zona de estudio. De acuerdo con el análisis químico y petrográfico realizado a las rocas representativas de cada una de estas secuencias se determinó que la zona donde se desarrolló el CVT tuvo al menos dos tipos de actividad magmática plutónica y volcánica. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el basamento en la zona del CVT se constituye por rocas graníticas (SiO_2 64.64% a 65.29% p), dioritas (SiO_2 60.18 %p.) y gabros (SiO_2 51.67 %p.), las cuales lo definen como un basamento de tipo calco alcalino típico de ambientes orogénicos.

La actividad volcánica se caracteriza por la emisión de material de tipo andesítico y dacítico (SiO_2 55.02% a 64.85% p.), compuestas principalmente por plagioclasa, piroxeno (augita y enstatita), hornblenda y óxidos de hierro. Este material ha sido expulsado en forma efusiva y explosiva que dio origen a flujos de lava y depósitos de flujos de bloques y cenizas e ignimbritas, respectivamente asociados a dos secuencias diferentes pre-CVT y CVT.

Los productos emitidos en esta zona representan los magmas originados por la fusión parcial de la corteza oceánica, continental y manto durante la interacción de las placas de Cocos y de Norteamérica. La variación química registrada en los diferentes eventos eruptivos es indicativa de un aporte constante de magma en la cámara magmática localizada por debajo de este complejo volcánico. Este material es de composición andesítica-basáltica (SiO_2 52.93 %p.) en el cual las fases mineralógicas presentes son plagioclasa, hornblenda, piroxeno y olivino en menor cantidad.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Generalidades

1.1.1. Ubicación y acceso

El Complejo Volcánico Tacaná (CVT) se encuentra en la región sur del Estado de Chiapas, aproximadamente a 30 km en línea recta al noreste de la Ciudad de Tapachula, en las coordenadas geográficas de latitud Norte 15°08' y longitud Oeste 92°06', localizándose en el extremo noroccidental del Eje Volcánico Centroamericano, que es un eje que presenta un rumbo ONO y forma parte de una cadena que se extiende 1,300 km desde Guatemala hasta Costa Rica.

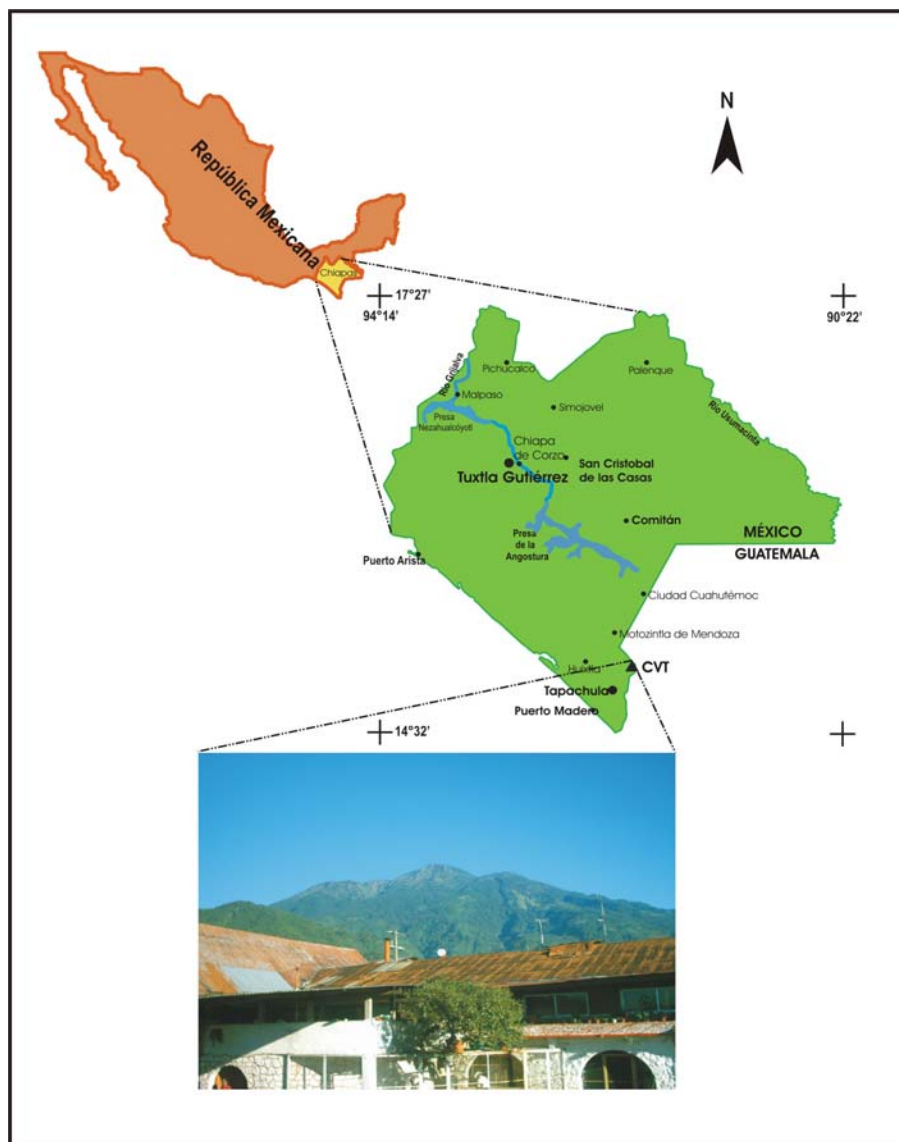


Figura 1. Ubicación del CVT (Vista desde el poblado Santo Domingo)

El CVT se localiza en el límite internacional entre Guatemala (Departamento de San Marcos) y México (Estado de Chiapas). Este límite pasa por la cima de este complejo, la cual tiene una altitud es de 4,110 m (De la Cruz-Martínez, 1985); de tal modo que la porción N, NE y E del volcán se encuentran en territorio guatemalteco, mientras que los flancos S, O y NO están en territorio mexicano (Figura 1).

La única ciudad de importancia cercana al CVT es la ciudad de Tapachula. Esta ciudad se encuentra comunicada con el centro del país por la carretera federal número 200 y por vuelos comerciales regulares desde la Ciudad de México con las ciudades de Tapachula, Tuxtla Gutiérrez (Figura 2).

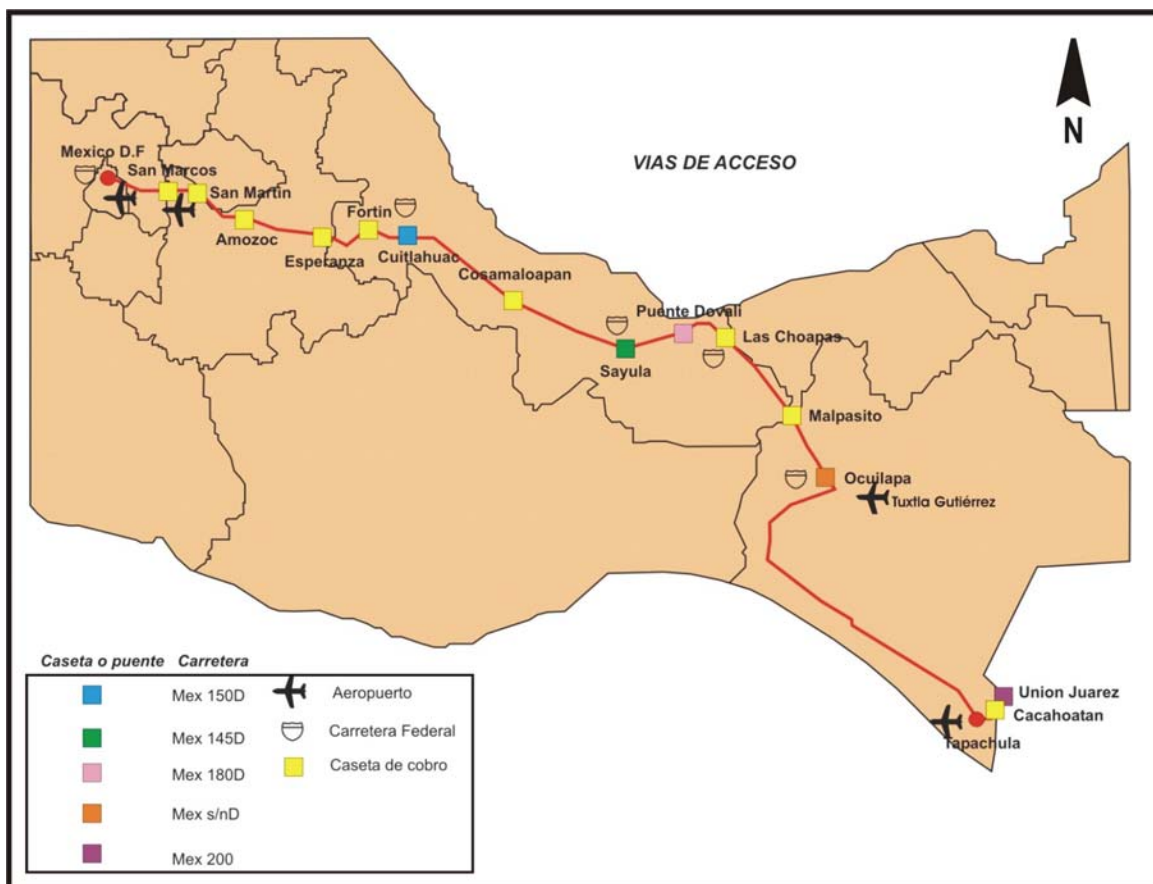


Figura 2. Principales vías de comunicación hacia el CVT desde la Ciudad de México.

La zona del CVT se encuentra poco comunicada. En la porción sur, a la altitud entre 500 y 1,500 m, existen asentamientos humanos de gran importancia que se comunican mediante brechas, terracerías y carreteras con el principal centro de comercio de la región, la ciudad de Tapachula, Chiapas. El acceso guatemalteco es a través de una brecha de 75 km de longitud sobre terreno montañoso, de San Marcos a Sibinal (7 km ENE de la cima), además de varios kilóm de camino a pie desde Sibinal a una altitud de 1,500 m.s.n.m. El acceso mexicano es posible a pie desde Talquián (8 km al SE de la cima), a una altura de 2,500 m.s.n.m.. También es posible el acceso desde la población de Unión Juárez, la cual se localiza en la falda SSE del volcán a una altitud aproximada de 1,300 m y es la más cercana al CVT. Esta población se encuentra a 46 km de Tapachula, comunicada mediante carretera pavimentada. Otras poblaciones como El Águila, El Platanar y Bellavista, se encuentran conectadas a las carreteras pavimentadas mediante terracerías.

En el flanco norte del volcán existen pequeñas comunidades mexicanas y guatemaltecas cuyo acceso a las mismas es por veredas. En la porción oriental del CVT, en territorio guatemalteco, la principal población es Sibinal, la cual se encuentra comunicada mediante terracería con la Ciudad de San Marcos, Guatemala y por vereda con la población mexicana de Unión Juárez (Figura 3).



Figura 3. Principales localidades con acceso al CVT

1.1.2. Clima

En la región del CVT existen dos tipos de clima: cálido-húmedo y semicálido-húmedo.

El clima cálido húmedo se presenta desde los 1,000 m.s.n.m. hasta los 610 m.s.n.m., en la ciudad de Tapachula, con una temperatura media anual que varía desde los 22°C hasta los 26°C y posee una precipitación media anual de 5,000 mm en la zona sur del complejo volcánico y de 2,500 mm en la ciudad de Tapachula.

El clima semicálido-húmedo prevalece por encima de los 1,000 m.s.n.m., abarcando por completo la zona volcánica. En las partes más altas, desde los 3,000 y hasta los 4,000 m.s.n.m., la temperatura media anual varía desde los 12°C hasta los 20°C en las partes más bajas. La precipitación media anual en estas partes varía de 4,500 a 5,000 mm.

1.1.3. Fisiografía

El Estado de Chiapas queda comprendido dentro de tres provincias fisiográficas de acuerdo a INEGI (1997) (Coremi, 2003, referencias en el). Las provincias que se localizan en territorio chiapaneco son las siguientes:

Provincia Llanura Costera del Golfo Sur

Esta provincia está representada principalmente por una serie de lomeríos en cadena, con pendientes que varían de suaves a fuertes, orientadas en la dirección norte-suroeste y elevaciones que alcanzan los 330 m.s.n.m. Esta provincia constituye una franja que se extiende desde el extremo suroccidental del estado de Veracruz, pasa por el Istmo de Tehuantepec y el Estado de Tabasco y atraviesa el Estado de Chiapas por su sector septentrional. Dentro de esta provincia queda localizada la subprovincia de las Llanuras y pantanos Tabasqueños (Figura 4).

Provincia Tierras Altas de Chiapas y Guatemala

Esta provincia abarca la mayor parte del territorio chiapaneco, está conformada por las subprovincias siguientes:

- a) Subprovincia Planicie Costera de Chiapas: Constituye una franja de 10 a 25 km de ancho, que se extiende paralelamente a la costa del Océano Pacífico, con una dirección NO-SE (COREMI, 2003, referencias en el).

-
- b) Subprovincia Sierras del Sur de Chiapas: Constituye una gran estructura de orientación NO-SE que se levanta abruptamente con respecto a las tierras bajas (Figura 4). Algunas geoformas importantes de esta subprovincia son: el flanco noroccidental del CVT, el volcán Tajomuelco y las estructuras volcánicas Tzontehuitz, Huitepec, Navenchauc, Venustiano Carranza y El Chichón, las cuales por su configuración, constituyen un arco volcánico de edad plio-cuaternario (COREMI, 2003, referencias en el).
 - c) Subprovincia de la Depresión Central de Chiapas: Se constituye por una gran extensión de terreno en forma de franja prácticamente plana que se extiende hacia el NO desde la frontera con la República de Guatemala, hasta los límites con el Estado de Oaxaca
 - d) (Figura 4). La depresión corresponde a un sinclinorio con alturas que varían desde los 400 hasta los 500 m.s.n.m (COREMI, 2003, referencias en el).
 - e) Subprovincia de los Altos de Chiapas (Meseta de Chiapas): La mayor parte de esta subprovincia se encuentra dentro del territorio mexicano. En la porción sur es la más montañosa con cumbres superiores a los 2,000 m.s.n.m., pero que descienden a 1,000 m.s.n.m. hacia el poniente. En el resto del área hay extensos lomeríos sueves y escarpados, con un valle alargado y una extensa llanura asociada con lomeríos de forma alargada (Figura 4).
 - f) Subprovincia de las Sierras Plegadas del Norte: Esta subprovincia está formada por sierras fuertemente deformadas, cuyos pliegues se van suavizando en dirección NE, descendiendo bruscamente hacia la planicie costera (Figura 4). Las grandes estructuras que existen en esta subprovincia presentan una dirección preferencial NO-SE (COREMI, 2003, referencias en el).

Provincia Cordillera Centroamericana

Esta provincia comprende a las subprovincias de Sierras del Sur de Chiapas, Llanuras del Istmo, Llanura Costera de Chiapas y Guatemala y la subprovincia Volcanes de Centroamérica. Las características topográficas de esta provincia están representadas por montañas alineadas en dirección NE-SO, con variaciones locales a dirección oriente-poniente. Las elevaciones promedio alcanzan los 1,500 m.s.n.m., aunque existen elevaciones imponentes, como es el caso del volcán Tacaná cuyo flanco sur comprende parte

del extremo meridional de la subprovincia Volcanes de Centroamérica, el cual alcanza una altura de 4,080 m.s.n.m (Figura 4 en COREMI, 2003).

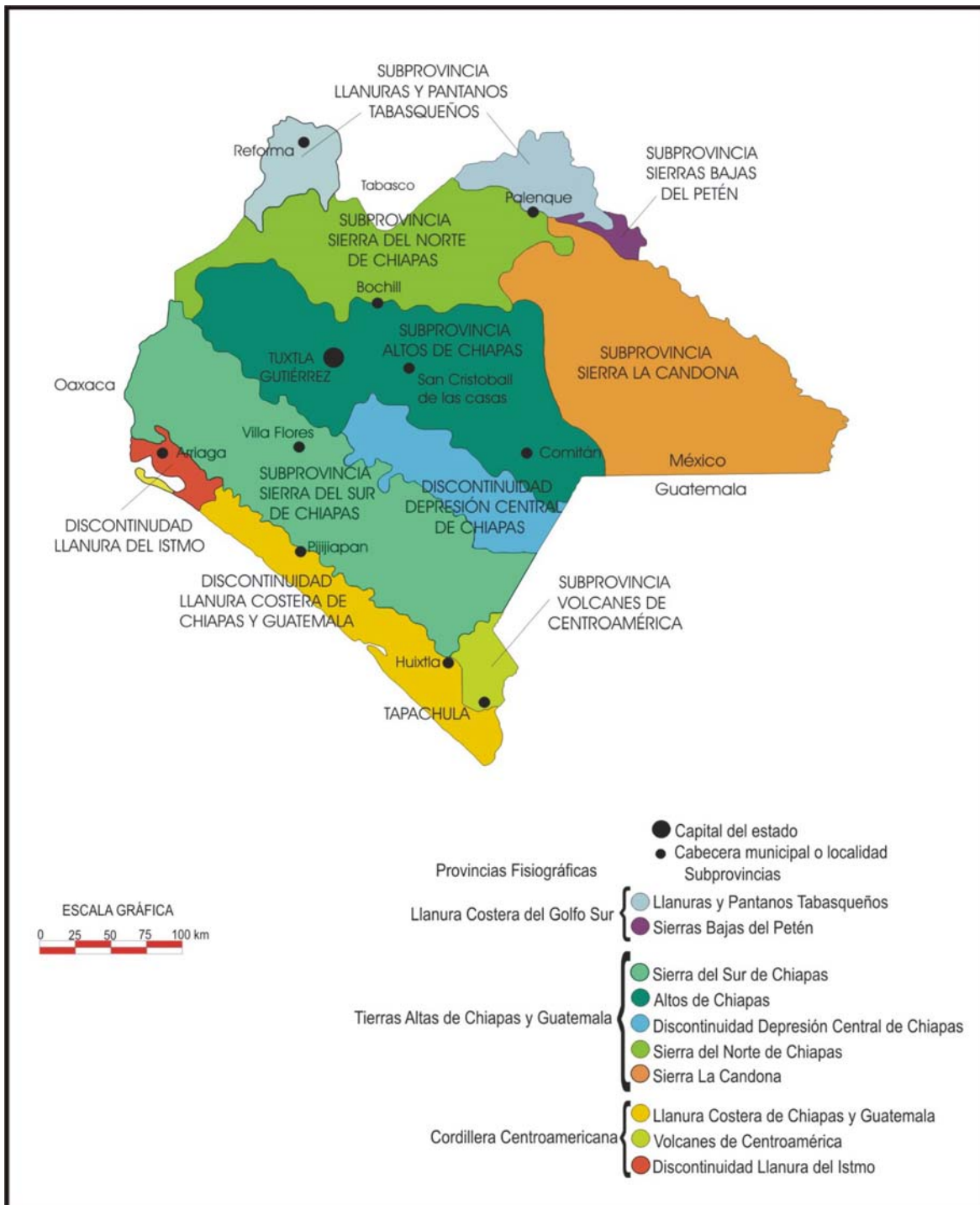


Figura 4. Subprovincias del Estado de Chiapas (Modificada de COREMI, 2003).

1.2. Antecedentes

El CVT no ha sido cartografiado o descrito en la literatura anterior a 1988. Las primeras referencias que se tiene con respecto a la actividad del CVT, aunque poco fiables, fueron hechas en 1855 por habitantes de la región que reportaron la emisión de humo y cenizas a partir de agujeros en forma de embudo en la parte más alta del mismo, y en 1878 la que se presentó al salir humo y cenizas de agujeros con forma de embudo que se encontraban en la parte superior. No existen indicios de erupciones magmáticas del CVT en tiempos históricos, aunque este muestra breves períodos de actividad fumarólica y freática. Los estudios modernos sobre el CVT fueron iniciados en la época de los 80's con un estudio realizado por la Comisión Federal de Electricidad como parte de una evaluación geotérmica y han continuado hasta la actualidad con descripciones aún más detalladas de las estructuras que lo conforman. A continuación se presentan en forma resumida algunos trabajos importantes realizados en el CVT a lo largo del tiempo:

- Humboldt (1804), realizó el primer trabajo sobre el Volcán Tacaná, donde lo describió como una sola estructura y lo llamó volcán Soconusco (Mercado y Rose, 1992, referencias en el).
- Sapper (1896 y 1899), mencionó brevemente al volcán Tacaná, afirmando que era el último de los volcanes en el noroeste del Cinturón Volcánico de Centroamérica (Mercado y Rose, 1992, referencias en el).
- Bergeat (1984), describió las rocas del Volcán Tacaná recolectadas por Sapper, clasificándolas como andesitas de augita, hornblenda con hiperstena y olivino.
- Böse (1902), fue el primero en realizar un estudio más detallado del Tacaná. Reportó que el volcán Tacaná se formó sobre un basamento granítico que aflora a los 2,200 m.s.n.m. Expresó además, que la cumbre carece de cráter y se encuentra a los 3,995 m.s.n.m. y que el Tacaná no es un cono perfecto, ya que presenta tres escalones: el primero a 3,872 m.s.n.m., el segundo a 3,717 m.s.n.m. y el tercero a 3,510 m.s.n.m., que corresponden a cráteres antiguos. Según Böse, en el sureste existe un pequeño cráter de 50 m de diámetro y 5 m de profundidad. Alrededor de este cráter encontró pequeños agujeros en forma de embudo. También al norte y sur del cráter encontró brechas volcánicas que consideró como productos de erupciones recientes.
- Ordóñez (1905), estudió las rocas colectadas por Böse y las clasificó como andesitas de textura traquítica compuestas por feldespatos, óxidos de Fe-Ti y augita, aunque la localización exacta de las rocas colectadas por Bergeat y Böse se desconoce (Mora *et al.*, 2004, referencias en el).

- Waibel (1933), realizó una descripción del Tacaná muy similar a la que anteriormente realizó Böse y mencionó que el volcán tiene cráteres laterales, aunque no aclaró el sitio en que se encontraban. Además, Waibel indica que al noroeste del Tacaná, en el Soconusco, existen esparcidas formaciones volcánicas y corta a el cerro Boquerón y describe otros volcanes semidestruidos en la misma zona como lo son el San Luis Chichanaque y Rancho Quemado (Mercado y Rose, 1992, referencias en el).
- Mullerried (1951), estableció que el volcán está construido sobre un basamento de rocas metamórficas laminadas del Precámbrico, rocas intrusivas, granitos y dioritas. También mencionó los escalones referidos por Böse, dijo que el primer escalón era un borde anular rocalloso al suroeste, sur y sureste con alturas de 20 a 30 m, de donde se levantaba el cono Terminal del Tacaná. Los dos escalones inferiores estaban más quebrados y contenían dos lagunas que según él semejaban cráteres laterales más antiguos. Estableció el diámetro del volcán en 10 kilóm, basado en las curvas de nivel de un mapa que realizó Waibel en 1933 y dijo que las erupciones que originaron al Tacaná pudieron ser derrames de lava, junto con caída de cenizas y arenas volcánicas con bombas. Explicó la el colapso del cráter en la cima debido a que se formó el cono terminal en una última etapa de la fase de erupciones que originaron al volcán. Le asignó al Tacaná una edad previa al Cuaternario basado en la falta de erupciones históricas. Definió la roca principal del Tacaná como una andesita de hiperstena y augita de color gris con algo de hornblenda reabsorbida.
- De la Cruz y Hernández (1985), presentaron un estudio geológico de la zona del CVT como parte de una evaluación geotérmica donde se presentó un mapa geológico del Volcán Tacaná en el que se definió la secuencia estratigráfica de las diferentes unidades que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. Estos autores fueron también los primeros que interpretaron los depósitos volcánicos haciendo su reconstrucción evolutiva. Mencionaron que a nivel regional las rocas del basamento son granitos y granodioritas que formaban parte del Macizo de Chiapas, las que al norte del Tacaná estaban cubiertas por rocas sedimentarias. También identificaron la presencia de rocas metamórficas jurásicas que formaban parte de un complejo alóctono volcánico-plutónico metamorfozido del Mesozoico y las que subyacían a rocas intrusivas terciarias interestratificadas con flujos piroclásticos andesíticos y dacíticos y algunos derrames de dacitas y riolitas. Finalmente establecieron que el Tacaná se formó en cuatro etapas volcánicas que produjeron cada una derrames de andesita de hornblenda de color gris claro (a los que denominaron Qa4, Qa3, Qa2 y Qa1 del

mas antiguo al más joven) que se separaban entre sí por eventos explosivos que produjeron tres flujos piroclásticos (Qt3, Qt2 y Qt1), los cuales dejaron dos estructuras caldéricas con diám de 2 a 3 y de 1 a 1.5 kilóm respectivamente y un cráter central desde donde se elevaba el domo andesítico terminal.

- Medina (1985), realizó análisis químicos de las aguas y gases volcánicos (fumarolas y manantiales localizados en el flanco suroeste del volcán Tacaná) como parte de la misma evaluación geotérmica llevada a cabo por la Comisión Federal de Electricidad. Las fumarolas tenían temperaturas entre 82°C y 94°C, poseían un olor a ácido sulfhídrico, contenían azufre diseminado, sales y una extensa zona de alteración hidrotermal en sus bordes y emisión de sonidos semejantes a un silbido. Otro grupo de los manantiales ubicados cerca de el poblado Agua Caliente, en el flanco noroeste del volcán entre los 1,500 y 2,000 m de elevación, donde las aguas presentaban temperaturas entre 40°C y 45°C con formación de arcillas de color rojizo, desprendimiento de gases con olor a ácido sulfhídrico. Entre los gases reportados se encontraban hidrógeno, helio, argón y ácido sulfhídrico, por lo que el autor concluyó que el termalismo era causado por una fuente de calor a profundidad, el cual se encontraba asociado a una cámara magmática ubicada a poca profundidad (Espíndola *et al.*, 1985, referencias en el).

- De la Cruz-Reyna (1989), realizó análisis a las aguas existentes en el manantial Agua Caliente para detectar sus cambios químicos y su relación con la actividad sísmica a nivel regional, local y su relación con una explosión freática ocurrida en mayo de 1986. Concluyó que durante este evento, el agua del volcán Tacaná que se encontraba a profundidades más someras, sólo interactuó químicamente y no térmicamente con los productos ubicados a mayor profundidad generando cambios químicos en el manantial Agua Caliente.

- Saucedo y Esquivias (1988), realizaron una primera evaluación del peligro volcánico para flujos de lava, de caída, flujos piroclásticos y lahares en el volcán Tacaná.

- De Czerna *et al.* (1988), elaboraron un mapa fotogeológico del Volcán Tacaná. Estos autores lo definieron como un estratovolcán poligenético compuesto, integrado por tres volcanes, que constituyen un macizo volcánico, el cual estaba integrado por 14 unidades fotogeológicas emplazadas en tres periodos eruptivos distintos a los que denominaron Talquián, El Águila y Tacaná. El primer periodo, Talquián, originó flujos piroclásticos y lahares. Durante el periodo El Águila se produjeron los depósitos de la parte suroeste del volcán constituidos por dos unidades inferiores de material piroclástico abundante y una unidad

de flujos de lava en la parte superior. El tercer período, Tacaná, fue durante el cual se construyó el cuerpo central del volcán y originó derrames de lava y material piroclástico en grandes cantidades que en las partes más inferiores se depositaron como lahares. Explicaron también que al final de este período se extruyó el domo de tal manera que “taponeó” al cráter.

- Espíndola *et al.* (1989), establecieron que el flujo piroclástico (Qt3) que De la Cruz y Hernández (1985) habían determinado como una sola unidad, se encontraba integrado por dos unidades de flujos piroclásticos (flujos de bloques y cenizas e ignimbrita) y se encontraban separados por depósitos de caída. Estos autores realizaron análisis de dos muestras de carbón por el método de ^{14}C y revelaron una edad de 42,000 años.
- Mercado y Rose (1992), publicaron una interpretación fotogeológica del Volcán Tacaná realizando una evaluación preliminar de su peligrosidad. En este estudio identificaron depósitos de lodo con morfología lobular al este, oeste y norte del volcán, así como depósitos de avalancha y flujos de cenizas. Describieron que en la cumbre del volcán se presentaban una serie de domos alineados con orientación noreste que estaban asociados con fallas normales con orientación norte. Mencionaron también que existen algunos depósitos de ceniza con espesores de hasta 3 m en el poblado La Haciendita y de 1 metro de espesor en Sibinal e Ixchiguán, en Guatemala.
- Espíndola *et al.* (1993), publicaron descripciones aún más detalladas de los depósitos que habían encontrado en 1989, diferenciaron depósitos piroclásticos de bloques y cenizas, avalanchas de detritos, flujos de cenizas y material retrabajado. En la localidad Monte Perla encontraron un flujo de bloques y cenizas que contenía carbón con el cual obtuvieron una edad de 30,845 años. En el mismo depósito estudiado por Espíndola y colaboradores (1989) encontraron dos unidades de flujos de bloques y cenizas separados por un depósito de *surge* cuya edad era distinta a la de 42,000 años antes reportada, con lo cual concluyeron que cada unidad estudiada podría tener edades distintas o que el depósito había sufrido contaminación.
- De la Cruz-Reyna (1995), llevó a cabo un muestreo de aguas en el manantial Agua Caliente. Señalaron que los valores del pH y la concentración química de HCO_3^- , CO_2 , SiO_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , B, Na^+ , K^+ y F se encontraban dentro de un rango similar al observado después de la erupción fretomagmática de 1986, por lo que consideró importante seguir monitoreando el manantial para observar las anomalías que pudieran presentarse.

- Macías *et al.* (1999), establecieron que por resultados obtenidos mediante análisis estratigráficos, geoquímicos y petrográficos, el Tacaná es un complejo volcánico integrado por dos estructuras volcánicas: una que forma la parte principal llamada Volcán Tacaná y la denominada Volcán San Antonio, ubicada al suroeste de la primera. Determinaron que los centros emisores del Tacaná han ido migrando del noreste al suroeste. La erupción más reciente del CVT ocurrió en el Volcán San Antonio hace 1,950 años, la cual produjo un flujo piroclástico de bloques y cenizas de grandes dimensiones al cual denominaron Mixcún. Estos autores afirmaron que la inyección de nuevo magma y la mezcla de éste con el que ya se encontraba anteriormente fue el mecanismo impulsor de esta erupción, la cual tuvo un gran impacto en la ciudad prehispánica de Izapa. Finalmente establecieron que existe un peligro a futuro con la generación de flujos piroclásticos y derrumbes en las partes más altas del Volcán San Antonio, así como flujos de lodo que podrían ocasionar grandes daños a las poblaciones que se ubican actualmente en los sitios donde se depositó el flujo Mixcún.
- Macías *et al.* (2000), propusieron que el Volcán Tacaná fue más bien un complejo volcánico compuesto por tres edificios nombrados Chichuj, Tacaná y San Antonio. Identificaron dos tipos de andesita de piroxeno, con evidencias de desequilibrio en el arreglo mineralógico e inclusiones de andesitas basálticas (53.86% p. SiO₂). Estos autores reportan la presencia de enclaves máficos de coloración oscura y composición andesítico-basáltica. También sugirieron que estas características se pueden adjudicar al contacto entre dos magmas que desencadenaron la erupción peleana del Volcán San Antonio hace 1,950 años.
- Mora *et al.* (2004), realizaron un estudio sobre la actividad del CVT durante los últimos 40,000 años. Describieron detalladamente las características petrográficas y geoquímicas de los flujos de lava, los bloques de líticos juveniles de los flujos de bloques y cenizas, y los domos, los cuales se encuentran compuestos por un agregado de plagioclasa, hornblenda, augita y enstatita. Mediante métodos analíticos, determinó que el volcán Chichuj se encuentra constituido principalmente por flujos de lavas de composición andesítica, que el Volcán Tacaná se constituye por flujos de lava de composición basalto-andesítica y por domos de composición andesítica mientras que el Volcán San Antonio está formado por flujos de lava andesíticos y domos dacíticos. Estableció las relaciones isotópicas de las rocas y determinó que estas

pertenecen a la serie de rocas subalcalinas y siguen la alineación típica de las rocas calcialcalinas, y enriquecimiento de algunos elementos típicos de rocas presentes en zonas orogénicas.

- García-Palomo *et al.* (2004), propusieron la columna estratigráfica del CVT describiendo las distintas estructuras que lo componen, así como los depósitos que caracterizan cada una de estas estructuras. En este estudio mencionan que las rocas del CVT fueron afectadas por dos episodios magmáticos hasta el Eoceno Temprano al Oligoceno Inferior; el primero relacionado a la subducción de la Placa de Farallón por debajo de la Placa Norteamericana, y el segundo durante el Mioceno Medio, asociado a la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribeña. Estas rocas fueron afectadas por un evento tectónico compresivo que generó una zona de corrimiento lateral y fallas inversas. Debido a esto, todo el conjunto litológico, incluido el del basamento fueron levantados y basculadas después del Mioceno Medio y antes del Plioceno como consecuencia de los procesos de subducción. Durante el Plioceno fueron formadas las tres estructuras caldéricas (San Rafael, Chanjale y Sibinal) y durante el Plioceno Temprano al Pleistoceno éstas calderas fueron afectadas por fallas normales cuya orientación es NE-SO originando el graben Tacaná dentro del cual fue emplazado el CVT durante el Pleistoceno Tardío formando de manera subsecuente cuatro estructuras alineadas denominadas Chichuj, Tacaná, Plan de las Ardillas y San Antonio.

1.3. Planteamiento del problema

Dado que la mayor parte de los estudios realizados en el basamento, secuencia de calderas y en el CVT se han enfocado a su cartografía y descripción estratigráfica de los depósitos y estructuras volcánicas de esta área.

No se ha hecho un estudio petrográfico y químico detallado de los mismos, por lo que en este estudio se plantea realizar este estudio incluyendo las rocas del basamento, la secuencia de Calderas y los productos y estructuras asociadas al CVT.

1.4. Objetivos

- Realizar el análisis petrográfico y clasificación química de las rocas que constituyen la columna estratigráfica abarcando el basamento, la Secuencia de calderas y los productos emitidos durante los periodos de actividad del CVT (propuesta por García-Palomo *et al.*, 2004).
- Con base en las características petrográficas y geoquímicas, establecer un modelo de evolución magmática del CVT.

1.5. Metodología

La metodología seguida para la elaboración de esta tesis, consistió en la recolección de muestras de roca pertenecientes a los distintos depósitos generados por la actividad magmática en la zona del CVT. Posteriormente se realizó la descripción petrográfica y se determinó la composición química de las mismas. Esto con la finalidad de poder observar las características y diferencias de las rocas presentes en las secuencias que constituyen en CVT, tanto macroscópicamente como microscópicamente que permitirán proponer un modelo de evolución magmática de acuerdo a su petrografía y geoquímica.

1.5.1. Trabajo de Gabinete

- 1) La primera parte del trabajo consistió en la revisión bibliográfica sobre el CVT para integrar los estudios previos referentes al mismo, específicamente los del aspecto geológico.
- 2) Se elaboró una clasificación de datos de las secciones realizadas durante el desarrollo del proyecto “*Estudio de los Volcanes Activos en México*” (CONACYT 38586-T y DGAPA-UNAM IX101404) utilizando una hoja de cálculo, con el objetivo de realizar la integración de la información obtenida en el campo por parte de los colaboradores del proyecto y de otros autores. En esta base de datos se recopilaron las ubicaciones exactas de las zonas visitadas, así como los diversos análisis a los que fueron sometidas las muestras colectadas, el resultado de los mismos y la relación estratigráfica que existe entre los diversos depósitos y las estructuras a las que pertenecen cada uno. Para la elaboración de esta base de datos se tomó como referencia la columna estratigráfica propuesta por García-Palomo *et al.* (2004).

1.5.2. Trabajo de campo

- 1) El trabajo de campo consistió en una salida de 10 días a las localidades circundantes del CVT donde se verificaron secciones con presencia de productos volcánicos y rocas del basamento, también durante este trabajo se realizaron puntos de control cartográfico y el muestreo de secciones que no habían sido reportadas con anterioridad.

Dicha salida se realizó con fines complementarios con el objetivo de recabar datos recolectar muestras y verificar puntos de contacto determinados previamente por los colaboradores del proyecto.

1.5.3. Trabajo de laboratorio

Como segunda parte de este estudio se realizó el análisis geoquímica de las rocas colectadas durante el trabajo de campo con la finalidad de determinar composición química de las rocas emitidas por la actividad magmática en la zona del CVT. Para esto se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- 1) Selección y limpieza de muestras para elaboración de secciones delgadas. La limpieza de las muestras se llevó a cabo mediante la eliminación de productos de alteración de las mismas. En algunos casos, específicamente en las pómez, la limpieza fue complementada con ultrasonido.
- 2) Las muestras se secaron en un horno a baja temperatura durante 24 horas.
- 3) Selección y limpieza de muestras de roca sana para la elaboración de análisis químico mediante el método de Fluorescencia de Rayos X.
- 4) Las muestras seleccionadas para análisis químico se trituraron y fueron enviadas al Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, Instituto de Geología, UNAM y al laboratorio Allencaster, en Canadá.

Análisis petrográfico

El análisis petrográfico se llevó a cabo mediante el uso del microscopio óptico *Olimpos BH-2*, con el que fue posible analizar las siguientes características: las fases mineralógicas presentes en cada una de las muestras, características texturales principales, presencia de mesostasis (matriz), tamaño de los cristales que las constituyen, grado de cristalinidad y bordes de reacción en cristales.

Para realizar este análisis fue necesario elaborar secciones delgadas y secciones pulidas de las muestras pertenecientes de los depósitos que constituyen el CVT.

Análisis químico

El análisis geoquímico de roca total se realizó mediante el método de fluorescencia de rayos X, para lo cual se utilizó el espectrómetro de dispersión PHILLIPS PW 1480 de onda larga. Con este instrumento se determinó la concentración de Si, Ti, Al, Fe, Mn, Ca y K convertidos a óxidos (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 total, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5). Este análisis se desarrolló en una muestra de roca convertida a una perla previamente fundida. Para esto, las perlas se preparan mezclando 1 gramo de muestra en polvo con 9 gramos de fundente $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7 - \text{LiBO}_2$ (50:50 %p). Esta mezcla es vaciada en un crisol de Pt 75% Au y calentado a 1100 °C en un hornillo equipado con quemadores marca Fisher con tres moldes para la preparación de la misma cantidad de perlas (Fluxy Claisse). Previo al calentamiento se agregan dos gotas de LiBr actúa como agente no-mojante, favoreciendo que la perla se desprege del molde durante el proceso de enfriado.

Como complemento del análisis de elementos mayores se requiere determinar la pérdida por calcinación (PXC), lo que se lleva a cabo calentando un gramo de muestra a 1000° C durante una hora en “base seca”, en un crisol de porcelana y dejando enfriar lentamente hasta la temperatura ambiente para obtener el peso calcinado. El cálculo es la diferencia en peso de la muestra antes y después de la calcinación. Para determinar la concentración de Na se necesita una solución 1:10 a la cual se le agrega HCl y Cs (10 000 p.p.m.). Para determinar el contenido de Mg se necesita diluir 1:10 de la solución de Na agregando HCl y Sr (5000 p.p.m.). Para este análisis se emplea un espectrómetro de absorción atómica del tipo “Varian Spectr AA 100 plus”. Para determinar el contenido de hierro (ferroso) se necesita pesar 0.5 gramos del polvo colocado en un crisol de platino y sometido a 100 °C, donde se agrega H_2SO_4 (100 ml) y HF (5 ml). El crisol es expuesto a la flama durante 10 minutos de tal modo que produzca la reacción de los ácidos con el material pulverizado. Sucesivamente se procede a la *titulación* utilizando para este fin el $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en solución 0.07 y como indicador el sulfato de difenilammina en H_2SO_4 .

2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1. Ambiente geológico regional

En la región del CVT, las rocas más ampliamente distribuidas son rocas graníticas y granodioríticas cuyas edades varían entre 290 y 170 Ma y una isocrona de Rb-Sr de 256 ± 10 Ma con edades que van desde el Permo-Triásico hasta el Jurásico (Damon y Montesinos, 1978). Estas rocas constituyen la provincia geológica conocida como Macizo de Chiapas, la cual ocupa una franja paralela a la costa del Pacífico y se extiende desde el Istmo de Tehuantepec hasta la República de Guatemala. Hacia el norte del CVT el Macizo de Chiapas se encuentra cubierto por rocas sedimentarias mesozoicas, mientras que hacia el sureste, en Guatemala, subyace a rocas volcánicas del Cenozoico y Cuaternario (Damon y Montesinos, 1978).

El basamento más antiguo del CVT a nivel regional lo constituye el Macizo Granítico de Chiapas que junto con diversas formaciones de rocas sedimentarias de origen marino y continental integran el conjunto montañoso denominado Sierra de Chiapas. La Sierra de Chiapas es una estructura con orientación noroeste, paralela a la costa del Océano Pacífico. Tiene una longitud de 250 *kilóm* y en la porción sureste posee una extensión de 65 km de ancho, ocupando una extensión desde el Istmo de Tehuantepec hasta Guatemala. En Guatemala ésta integra la unidad fisiográfica denominada Cordillera Central de Guatemala que se encuentra constituida por esquistos, gneisses y rocas volcánicas muy alteradas

2.2. Tectónica regional.

El CVT se ubica en la región más noroccidental del conjunto de 40 volcanes que integran el Arco Volcánico Centroamericano (AVCA). El AVCA se extiende en una franja paralela a la costa del Océano Pacífico con una longitud aproximada de 1, 100 km desde la frontera de México con Guatemala hasta el centro de Costa Rica. Los volcanes que integran el AVCA se encuentran constituidos principalmente por andesitas y basaltos y han sido agrupados a lo largo de siete segmentos cuya orientación es aproximadamente $N60^{\circ}W$, paralelos a la Trincheras Mesoamericana (Figura 5). Cada segmento se encuentra separado por fallas transcurrentes y presenta características geológicas, estructurales y geofísicas definidas (Mercado y Rose, 1992, referencias en el).

Las características particulares de estos segmentos consisten principalmente en la actividad de los centros volcánicos, ya que en el oeste de Guatemala existe una actividad solfatárica reciente y pocas erupciones. Otra diferencia consiste en la forma y estructura de los centros volcánicos, puesto que los volcanes de la región noroeste se presentan aislados comparados a la cadena de volcanes más al sur, donde se agrupan en grandes conjuntos (Mercado y Rose, 1992, referencias en el).

El AVCA surgió como producto de la subducción de la Placa de Cocos bajo el borde occidental de la Placa del Caribe (Figura 5). Se cree que la Placa de Cocos que subduce se encuentra segmentada y que los productos del manto se elevan verticalmente hasta la superficie generando el vulcanismo. Debido a que en la región los sismos no se presentan de manera frecuente, no se han podido definir cambios en la dirección e inclinación de la zona sísmica como producto de la subducción de la Placa de Cocos, aunque algunos sismólogos afirman que la zona sísmica es continua y ligeramente plegada García Palomo *et al.*, 2004, referencias en el).

El volumen de los volcanes de la región sur del AVCA es mucho mayor en la región sureste del mismo, la composición química es más máfica y existen estructuras paralelas (fallas normales discontinuas) o transversales a los centros volcánicos que no están presentes en el oeste de Guatemala. Cabe mencionar también que otra diferencia que existe entre los diversos segmentos son los patrones de sismicidad (García-Palomo *et al.*, 2004, referencias en el).

En el sur de México, la Placa de Cocos subduce a la Placa Norteamericana con una orientación de N 66 °E y con un desplazamiento de 76 mm por año (DeMets *et al.*, 1990). Aunado a este mecanismo se presenta la subducción de la Cordillera de Tehuantepec, la cual es catalogada como una zona de baja sismicidad que separa a los sismos más someros (profundidades menores de 25 a 30 km), de los más profundos (60 a 150 km de profundidad). Al sureste de Tehuantepec esta zona de baja sismicidad no existe y hay profundidades a las cuales es posible observar ambos tipos de mecanismos (De Mets *et al.*, 1990).

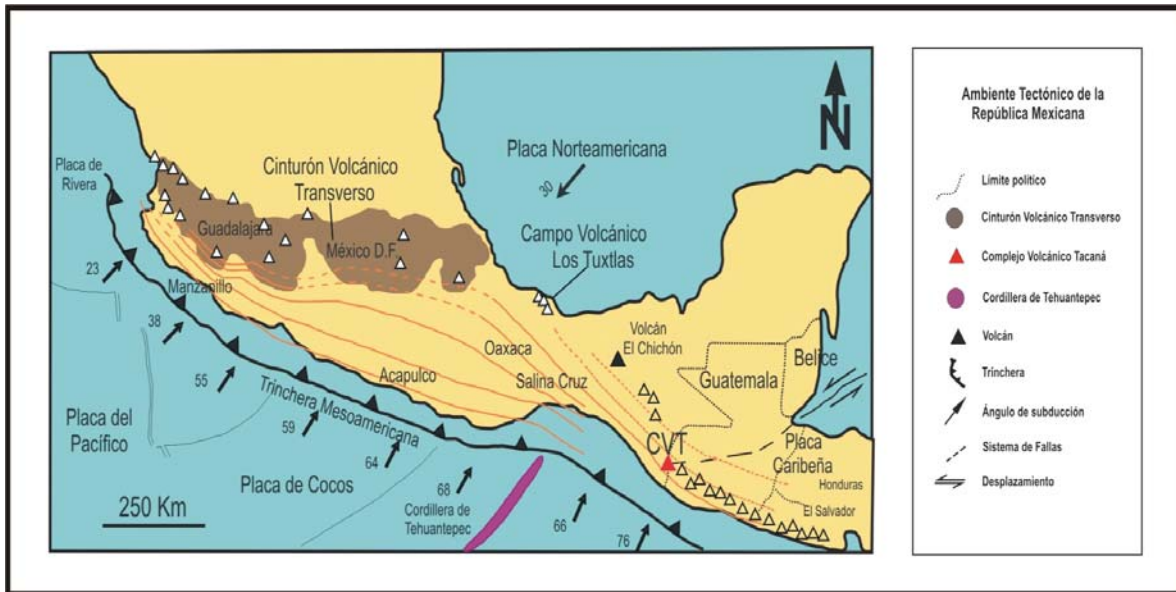


Figura 5. Ambiente Tectónico de la República Mexicana (Modificado de García-Palomo *et al.*, 2004)

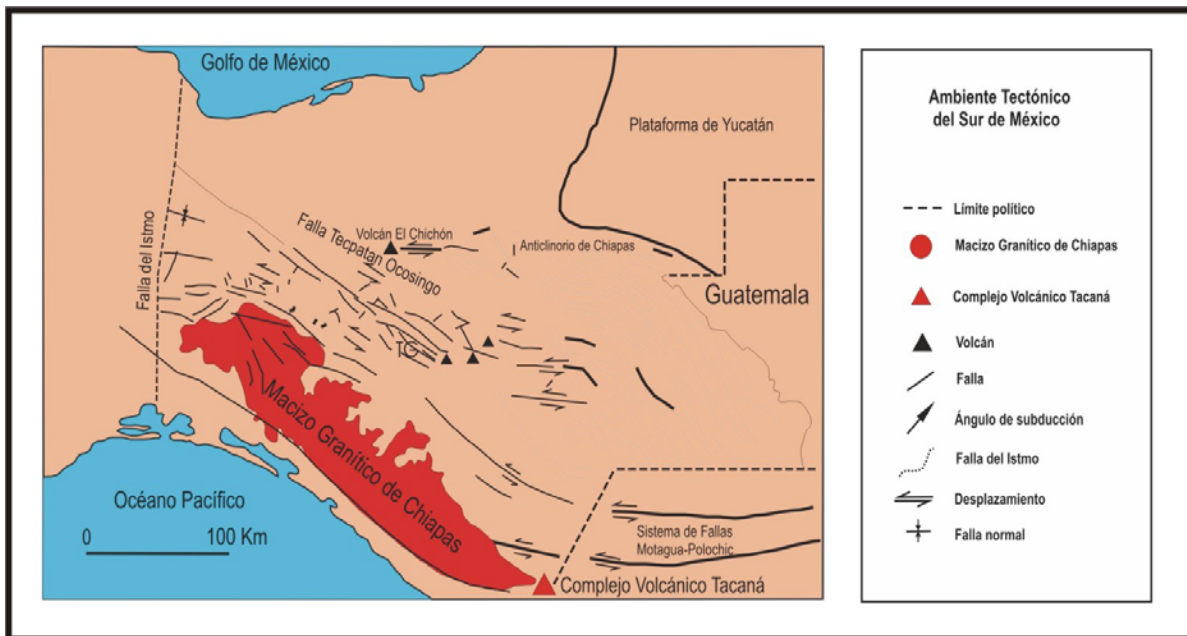


Figura 6. Régimen tectónico del Complejo Volcánico Tacaná (Modificado de García Palomo *et al.*, 2004)

El CVT posee un volumen de material rocoso de aproximadamente 20 km^3 (Carr, 1990) y se ubica a 30 km al sur del límite entre la Placa de Norteamérica y la del Caribe. En territorio mexicano los volcanes más cercanos al CVT son los que constituyen el Arco Volcánico Chiapaneco y en Guatemala es el volcán Tajomulco a 45 km hacia el sureste. Aunque el límite entre las placas Norteamericanas y la del Caribe no se encuentra definido debido a que el conjunto de fallas transcurrentes Motagua-Polochic, que corresponden a este límite no presentan una continuidad claramente establecida.

2.2.1. Zona de desplazamiento lateral

El límite entre las placas Norteamericana y del Caribe se constituye por un sistema de grandes fallas de desplazamiento lateral con orientación general Este-Oeste. Estas fallas atraviesan el territorio guatemalteco, en donde controlan de manera importante en curso de los ríos Polochic y Motagua (Figura 6). Estas fallas continúan en el sureste de México a través del Estado de Chiapas hasta la planicie costera del Golfo de México y posiblemente se prolongan más allá de la Fosa de Acapulco. El movimiento de estas placas es de tipo sinistral y se realiza entre los límites de las mismas dando lugar a dos importantes fenómenos activos: una zona de subducción y un sistema de fallas transcurrentes (De La Cruz y Hernández, 1985).

2.2.2. Punto triple

La zona del sureste de México y Noroeste de Guatemala se caracteriza por la interacción de la Placa de Cocos, la placa Norteamericana y la placa Caribeña formando un ensamble delimitado por la Trinchera Mesoamericana y el Sistema de Fallas Motagua-Polochic (Guzmán-Speziale, 1989) denominado punto triple (Figura 6).

Un punto triple es un lugar de la superficie terrestre donde existe el contacto entre tres placas tectónicas. En el caso de México, es difícil definir con exactitud los límites entre las placas de Norteamérica, del Caribe y Cocos, por lo que se han propuesto modelos donde se muestra la zona de interacción de estas placas. El Sistema de Fallas Motagua-Polochic expresa el contacto entre la Placa Norteamericana y del Caribe. Estas fallas atraviesan territorio guatemalteco, donde controlan notablemente el curso de los ríos Polochic y Motagua, continúan a través del Estado de Chiapas hasta la planicie costera del Océano Pacífico donde intersecan a la Trinchera Mesoamericana (Figura 5).

2.2.3. Zona de subducción.

La zona de subducción de la Placa de Cocos bajo la Norteamericana y la del Caribe es denominada Fosa o Trincheras Mesoamericana (Mercado y Rose, 1992, referencias en el). Esta estructura se manifiesta frente a las costas del Pacífico en México, donde se conoce como Fosa de Acapulco, y de Guatemala. Esta se continúa paralela a la costa hasta Panamá con una profundidad de aproximadamente 6, 600 m a la altura de la frontera México-Guatemala frente al Complejo Volcánico Tacaná.

El origen de la zona de subducción se explica debido a los movimientos en sentido contrario que manifiestan la Placa de Cocos con respecto a la Placa Norteamericana y del Caribe. Se ha estimado que estos movimientos poseen un desplazamiento de 5 a 9 centímetros por año en la Placa de Cocos y de 2.7 centímetros para la Placa Norteamericana, así como de 1 y 2 centímetros en la Placa del Caribe. La subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Norteamericana y la del Caribe provocan la fusión de la Corteza oceánica de la Placa de Cocos y origina el cinturón o Arco Volcánico Centroamericano, el cual se encuentra ligeramente paralelo a la zona de subducción con algunos volcanes activos. En el extremo NO de esta faja se encuentra el Arco Volcánico Chiapaneco (De la Cruz y Hernández, 1985, referencias en el).

2.2.4. Cordillera de Tehuantepec

La Cordillera de Tehuantepec es una estructura estrecha de forma lineal con un relieve máximo de 2,000 m que separa una parte del piso oceánico con 3,900 m de profundidad de otra ubicada en el noroeste donde el fondo oceánico posee una profundidad máxima de 4,800 m y se extiende hacia el sureste donde inicia la cuenca de Guatemala. La característica primordial de la Cordillera de Tehuantepec es que hacia un lado y otro se encuentra constituida por materiales de distintas edades; hacia el oeste, la corteza posee una edad aproximada de 12 Ma (Nixon, 1982 en García-Palomo *et al.*, 2004.) y un buzamiento de 25°, mientras que hacia el oriente la corteza posee una edad aproximada de 28 Ma (García Palomo *et al.*, 2004, referencias en el) y un buzamiento de 40° (Rebollar *et al.*, 1999), es decir, la cordillera está alineada N-S. El espesor de la corteza oceánica en la Cordillera de Tehuantepec es de 28.5 ± 3.5 km (Bravo *et al.*, 2004) y posee un buzamiento de 38° o de 30° a 35°. La subducción de la Cordillera de Tehuantepec con la interacción de las Placas de Cocos, Norteamericana y Caribeña y el punto triple han sido correlacionados con el aparente truncamiento del vulcanismo entre el Arco Volcánico Centroamericano en la parte meridional de Chiapas, y

la distribución del vulcanismo hacia el continente como es el caso del Arco Volcánico Chiapaneco (Damon y Montesinos, 1978), y dos zonas donde se presenta el magmatismo alcalino: El Chichón, en el norte de Chiapas y el Campo Volcánico Los Tuxtlas en Veracruz (García-Palomo *et al.*, 2004).

3. GEOLOGÍA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO TACANÁ

3.1. Geología estructural local

La región del CVT se encuentra afectada por tres importantes sistemas de fallas: El primer sistema de fallas es el más antiguo y se localiza hacia el oeste de este complejo y está constituido por fracturas y fallas con orientación NO-SE las cuales afectan principalmente a las rocas del basamento graníticas del Mesozóico y Cenozoico. El segundo sistema de fallas presenta una alineación idéntica al CVT que es NE-SO. El tercer sistema de fallas es el más joven y el más importante y es el que forma el graben Tacaná, dentro del cual fue construido el CVT. Las dimensiones de este graben son de 30 km de largo y 18 km de ancho y un desplazamiento vertical de aproximadamente 600 m, se limita hacia el norte por el horst de la Caldera Chanjale y al este por el horst de la Caldera Sibinal. Los ríos Coatán y Suchiate siguen la orientación de estos sistemas de fallas, respectivamente y limitan el graben Tacaná. El origen de este graben se relaciona con un esfuerzo tensional asociado al movimiento de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribeña durante el Pleistoceno Tardío (Guzmán-Speziale *et al.*, 1989).

3.2. Estratigrafía

3.2.1. Basamento

Las rocas que constituyen el basamento donde se desarrolló el CVT han sido agrupadas en edades que van del Mesozóico hasta el Mioceno. Las rocas más antiguas del basamento son esquistos y gneisses del Mesozoico. Estas rocas a su vez se encuentran intrusionadas por una secuencia de rocas ígneas del Cenozoico en dos periodos de actividad, con un rango de edad entre 13 y 39 Ma y aparentemente separados por un intervalo de tiempo de siete millones de años (García-Palomo *et al.*, 2004). La primera fase de actividad intrusiva ocurrió del Eoceno Tardío al Oligoceno Temprano, mientras que la segunda fase de actividad intrusiva ocurrió del Mioceno Temprano al Medio (Figura 7).

Mesozoico

Las rocas de esta edad se encuentran expuestas en la porción noroeste del CVT, muy cerca de la unión de los ríos San Rafael y Coatán. Los mejores afloramientos de estas rocas consisten en alternancias de esquistos y gneises. Los esquistos son de color verde claro a oscuro y forman capas de gran espesor. Los gneisses se componen de bandas de color blanco y verde alternadas con foliación cuya orientación preferencial es N60°W/ 70° NE. Un análisis mediante K-Ar llevado a cabo por Mugica (1987) en rocas similares de esta área reveló una edad de 142 ± 5 Ma (Berrasiano), (Figura 7).

Cenozoico

Estas rocas fueron descritas inicialmente por Mugica (1987) como parte del Batolito Costero de Chiapas, el cual posee una longitud de 270 km y 30 km de ancho, cubriendo un área de 8, 000 km². En general, las rocas son principalmente granodioríticas, las cuales presentan una coloración gris clara a rosa y se encuentran compuestas por plagioclasas, cuarzo, microclina, biotita, hornblenda y óxidos diseminados en toda la roca. Estas rocas se encuentran afectadas por metamorfismo dinámico principalmente a lo largo de fallas de grandes dimensiones. La edad de estas rocas es de 12 a 39 Ma, perteneciente al Oligoceno Medio Mioceno Medio (Mugica, 1987). La cartografía de estas rocas es muy compleja debido a la abundancia de vegetación que cubre el área y al gran espesor de roca alterada a suelo.

Los afloramientos de las rocas de este periodo en el basamento del Tacaná son granitos, granodioritas y dioritas. Las rocas de este intervalo de edad han sido divididas en dos grupos: el primero abarca desde el Eoceno Superior al Oligoceno Inferior, se constituye por dioritas de hornblenda cuya edad es de 35 ± 1 Ma y granitos con enclaves de color gris oscuro con bordes de reacción de color gris claro con espesores entre 9 y 12 cm, cuya edad es de 29.4 ± 0.2 Ma, (García-Palomo *et al.*, 2004). El segundo grupo abarca del Mioceno Inferior a Medio y se constituye principalmente de tonalitas de biotita y hornblenda con una edad de 20 ± 1 Ma, así como granodioritas con cristales de feldespato, plagioclasa, biotita y cuarzo en menor cantidad. Las edades obtenidas de este cuerpo son de 13.3 ± 0.2 y 12.2 ± 0.1 Ma. Las rocas más jóvenes de este grupo corresponden a rocas graníticas cuya edad es de 13.9 ± 0.1 (García-Palomo *et al.*, 2004).

3.2.2. *Secuencia de calderas.*

La secuencia de calderas presentes en el Complejo Volcánico Tacaná fue definida por García-Palomo *et al.* (2004), quienes propusieron que estas estructuras fueron formadas por un evento magmático ocurrido durante el Plioceno dando origen a la Caldera Sibinal, Chanjalé y San Rafael. Estas calderas se desarrollaron sobre el basamento y subyacen a los depósitos originados por los edificios volcánicos Chichuj, Tacaná, Domo Las Ardillas y San Antonio. El período de actividad de estas estructuras va desde el Plioceno Tardío al Pleistoceno.

Plioceno Tardío – Pleistoceno

Caldera Sibinal

La Caldera Sibinal se localiza al noreste del CVT en el poblado Sibinal, Guatemala, que se sitúa en el centro de esta estructura. Asociada a esta secuencia se encuentra una secuencia de flujos de lava andesítica de color gris claro, con textura afanítica y espesor total de 60 m, compuesta por diversas unidades cuyo espesor es superior a los 4 m. En la cima de esta caldera se encuentra un flujo de lava sobreyaciendo a los granitos del Cenozoico. En el flanco norte de la caldera aflora un flujo de lava de 2 m de espesor constituido por rocas clasificadas como andesitas. La unidad más joven de esta caldera es una secuencia de depósitos volcanoclásticos intercalados con flujos de detritos formados hace 32, 000 años (Figura 7).

Caldera Chanjalé

La Caldera Chanjalé se localiza en la porción oeste del CVT, presenta una apertura hacia el este con una extensión de 6.5 km, donde es cortada por el río Coatán. El borde de la caldera se constituye de múltiples unidades de lava, flujos piroclásticos y flujos de detritos. Los flujos originados por la actividad de esta caldera se pueden encontrar en las inmediaciones del poblado Malacate, donde se encuentra expuesta una unidad de lava que posee una edad de 0.81 ± 0.16 Ma obtenida por el método de K-Ar (García-Palomo *et al.*, 2004). El espesor total de esta unidad es de aproximadamente 200 m y es cubierto por un depósito de ignimbritas. En el flanco sur de esta caldera, en las inmediaciones del poblado Chespal, se encuentra expuesto un flujo piroclástico constituido por clastos cuyo diámetro llega a ser superior a 1 m. A este depósito de flujo piroclástico se encuentran incorporados algunos xenolitos de naturaleza granítica. En la

cima de la secuencia se encuentran diversos flujos de detritos cuyos espesores superan los 12 m y forman un abanico hacia el flanco sur de la caldera. Estos depósitos son heterolitológicos con cantos cuyo diámetro es superior a los 2 m (Figura 7).

Caldera San Rafael

La Caldera San Rafael es una estructura discontinúa que posee un diámetro aproximado de 9 km y cuyas paredes norte y este se encuentran bien expuestas. Asociados a esta caldera se encuentran depósitos de ignimbritas de coloración verde, flujos de lava, flujos de detritos y depósitos de avalancha en la parte interna. Estas ignimbritas se encuentran en contacto con las rocas graníticas del Cenozoico y comienzan a aflorar a la elevación de 1,600 m. La parte basal de esta estructura está representada por una unidad de ignimbritas verdes con un espesor aproximado de 200 m que alcanza los bordes de la caldera. Esta unidad deja de aflorar a la elevación de 1,800 m y cubre también un flujo de lava cuyo espesor es mayor a 20 m. El contacto de estas dos unidades se observa a lo largo del borde norte de la esta caldera. La edad de la unidad de lava es de 1.87 ± 0.02 Ma. y que ha sido clasificada como andesita (García-Palomo *et al.*, 2004).

Entre los poblados Agua Caliente y el Águila al suroeste del poblado Agua Caliente, se encuentran expuestos diversos flujos de lava. En esta zona las unidades de lava poseen un espesor promedio de 1 m y presentan múltiples fracturas y vesículas redondas. La edad de estas lavas es de 1.99 ± 0.08 Ma. La edad de estas unidades de flujos de lava es similar a las que se encuentran en el borde norte de la caldera. De acuerdo con las edades reportadas por diversos autores, la Caldera San Rafael presentó su mayor actividad del Plioceno Tardío al Pleistoceno (Figura 7).

Otros depósitos generados por la actividad de esta caldera son los flujos de bloques y cenizas. Estos flujos se presentan en forma masiva cubriendo una parte importante de los flujos de lava. En el borde norte de la caldera, cerca del poblado La Vega del Volcán, aflora un depósito de avalancha y flujo de detritos que se constituye de megabloques con diám mayores a 4 m. El depósito de avalancha cubre a las rocas graníticas, sin embargo, su posición estratigráfica con respecto al resto de las unidades sugiere que este depósito es el más joven de esta secuencia (Figura 7).

3.2.3. *Volcán Chichuj*

El Volcán Chichuj posee una estructura de colapso en su parte oeste que se encuentra obstruida por el volcán Tacaná. La mayor parte de la secuencia formada por el Volcán Chichuj se encuentra expuesta en el flanco oeste de este volcán (Figura 7), donde han sido reconocidas unidades de flujos de lava, depósitos de flujos de bloques y cenizas, depósitos de avalancha y una unidad de brecha volcánica, (García-Palomo *et al.*, 2004).

En las inmediaciones del poblado Chocabj aflora una unidad de flujo de lava andesítica. Estas lavas encajonan xenolitos de coloración gris oscuro a rojizo con plagioclasa, minerales máficos y vesículas. Los xenolitos presentan formas redondeadas y bordes de reacción. Esta secuencia de lava posee un espesor de 10 m con algunas unidades individuales de aproximadamente 1 m. Asimismo, esta secuencia cubre a las rocas graníticas cerca de las vecindades de Tochatzé y Las Ventanas.

Cerca del poblado Muxbal se encuentra expuesta una secuencia de depósito de avalancha. Este depósito de avalancha se encuentra expuesto hacia la parte oeste del poblado Chocabj, donde está cubierta por una secuencia lacustre y un depósito de flujo de bloques y cenizas perteneciente al Volcán Tacaná cuya edad es de $28,540 \pm 260$ años. Rumbo al poblado Tacaná, se localiza otro depósito de flujo de bloques y cenizas en forma masiva cuyo espesor es mayor a los 25 m y sobreyace a una unidad de flujo de lava que aflora en el poblado Las Ventanas.

Sobreyaciendo a la secuencia Chichuj, existe una secuencia de brechas cuyo espesor aproximado es de 15 m constituida por brechas volcánicas cuyo espesor aproximado es de 2.5 m, de coloración rosada a gris clara; también existen lavas lajeadas con bandas de flujo de espesor aproximado 50 cm a 1 m en partes con forma masiva.

3.2.4. *Volcán Tacaná*

En el volcán Tacaná han sido reconocidas 10 unidades (García-Palomo *et al.*, 2004). La mayor parte de estas tienen edades que van desde el Pleistoceno Tardío al Holoceno y consisten en flujos de lava, depósitos de avalancha, flujos de bloques y cenizas, depósitos de caída y depósitos de lahar (Figura 7). La unidad más antigua de esta secuencia son los flujos de lavas andesíticas que se encuentran expuestos en las parte basal de las barrancas que están alrededor del volcán. Estos flujos subyacen a múltiples flujos de bloques y cenizas ampliamente distribuidos alrededor del volcán el Tacaná formando dos conductos principales.

El flujo de bloques y cenizas más antiguo se encuentra expuesto en el flanco sur del Volcán Tacaná, en el camino que va desde Talquián hacia Santo Domingo, donde estos depósitos se presentan en forma masiva y están constituidos por bloques de rocas andesíticas muy densos. Estos flujos de bloques y cenizas contienen algunos fragmentos de madera carbonizados que fueron analizados anteriormente y poseen una edad de 42,000 años (Espíndola *et al.*, 1989) y de $38,630 \pm 5,100$ años (Espíndola *et al.*, 1993). Este flujo de bloques y cenizas se encuentra cubierto a su vez por otra unidad de flujo de bloques y cenizas que se encuentra expuesto en la colonia Cordoban. Este flujo también sobreyace a un depósito de avalancha en el poblado de Muxbal, donde se ubica un plantío importante de café. Este depósito contiene también carbón diseminado y tiene una edad de $28,540 \pm 260$ años (Figura 7). En el flanco norte del Volcán Tacaná predominan los depósitos de flujos de bloques y cenizas ubicados de manera opuesta al borde de la Caldera San Rafael. Los depósitos de flujos de bloques y cenizas de esta porción del volcán están constituidos por cuatro unidades de esta naturaleza. La edad de este depósito es de 16,350 años (Mora *et al.*, 2004).

En las laderas de la parte E-NE del CVT se encuentra expuesta una compleja secuencia de depósitos, entre los cuales se tienen tres depósitos de caída intercalados con flujos de ceniza y *surges*. La edad de este depósito es de $32,290 \pm 2,155$ años.

En la parte noroeste se encuentra un depósito de tipo avalancha denominada Agua Caliente (Macías *et al.*, 1999), el cual presenta una longitud aproximada de 8 km, cubre un área de 6 km² y posee un volumen de 1 km³. El espesor máximo de este depósito es de 200 m cerca del Río Coatán.

3.2.5. *Domo Las Ardillas*

Esta secuencia se encuentra expuesta entre los volcanes Tacaná y San Antonio. Se constituye por un domo central con dos flujos que recorren los flancos noroeste y sureste del volcán San Antonio y Tacaná. Este domo se constituye de flujos de lavas andesíticas. En sus partes más distales, los frentes de flujo se acompañan de brechas y *levées*. La edad de estos flujos es de 0.032 ± 0.012 Ma y 0.013 ± 0.023 . Esta secuencia es más joven que la avalancha Agua Caliente (Figura 7).

3.2.6. Volcán San Antonio

El edificio volcánico San Antonio es la estructura más joven del CVT ubicándose en la parte suroeste del Domo las Ardillas a una altura de 3700 m.s.n.m., donde existe un domo central al que se asocian algunos flujos de lava de dimensiones menores. Además de estos flujos, el Volcán San Antonio se constituye por depósitos de flujos de bloques y cenizas y depósitos de avalancha (Figura 7).

La última erupción del Volcán San Antonio ocurrió hace 1950 años. Durante este evento el flanco suroeste del volcán fue destruido generando flujos de lava, flujos piroclásticos y flujos de bloques y cenizas que tuvieron un alcance de hasta 14 km (Macías *et al.*, 2000) y que fueron confinados entre los ríos Cacaohatán y Mixcún. Este depósito tiene una edad de 1, 950 años y cubre un área aproximada de 25 km² con un espesor de 5 m (Macías *et al.*, 2000).

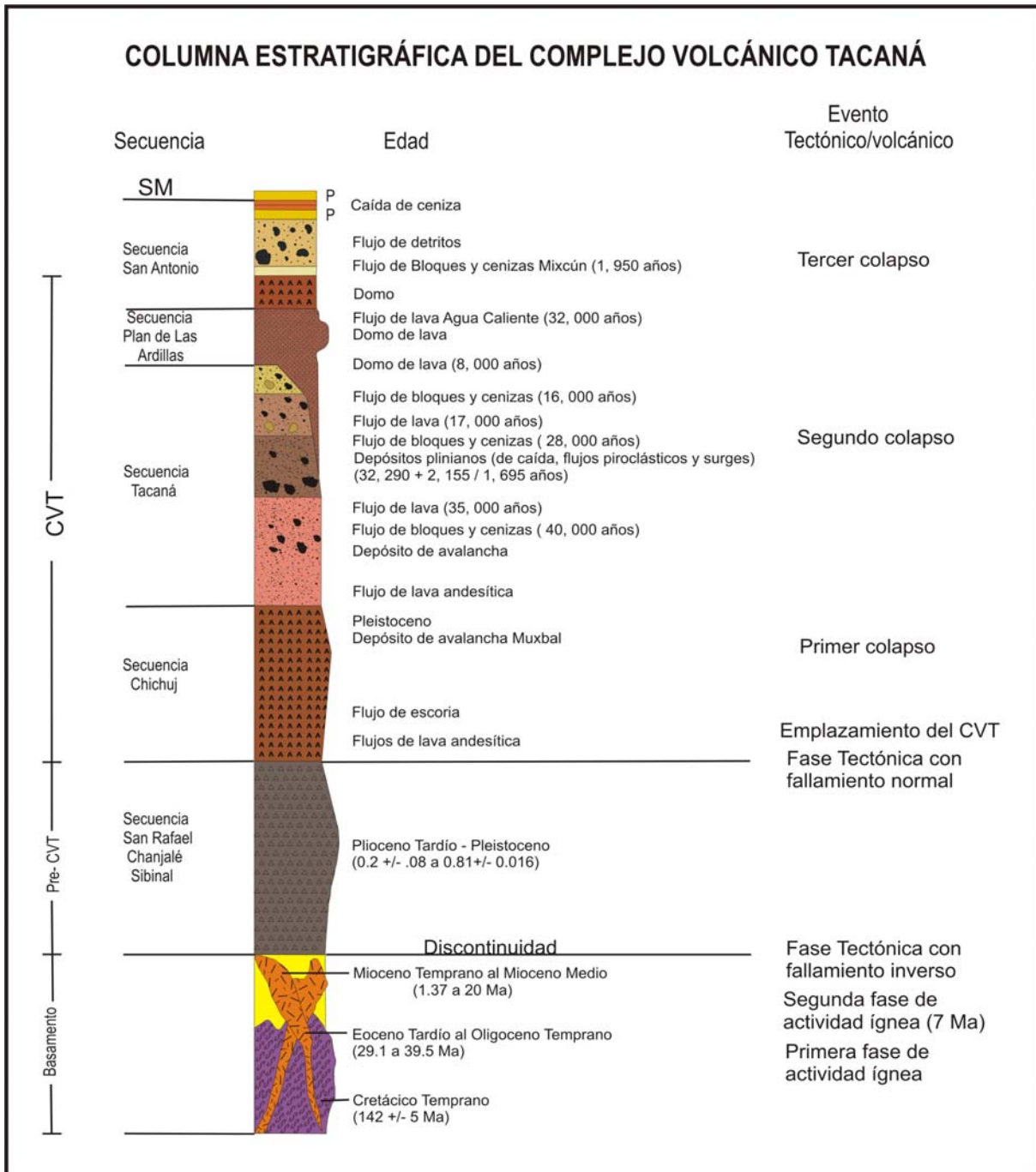


Figura 7. Columna estratigráfica del Complejo Volcánico Tacaná (García-Palomo *et al.*, 20

4. ESTUDIO PETROLÓGICO Y GEOQUÍMICO

4.1. Basamento del Complejo Volcánico Tacaná

4.1.1. Clasificación química de roca total

El estudio del Basamento del CVT se llevó a cabo utilizando la cartografía preliminar propuesta por García-Palomo *et al.* (2004) y con la visita de diversas localidades donde se encuentran expuestas litologías pertenecientes al mismo en las cuales se realizó un muestreo de las mismas (Ver mapa geológico anexo). Entre las rocas colectadas se encuentran rocas graníticas, las cuales fueron mencionadas por Böse (1902), Mullerried (1951) y García-Palomo así como varios (2004), cuerpos intrusivos y rocas con importante contenido de xenolitos y enclaves.

La ubicación exacta de los sitios donde fueron recolectadas estas muestras se presenta en el anexo 1.

En el diagrama álcalis vs. sílice propuesto por Irvin y Baragan (1971), que divide a las rocas del basamento del CVT, estas rocas pertenecen a la serie magmática subalcalina, con alto contenido en sílice que varía entre 52.46% y 70.83% p., lo cual es típico de esta serie (Figura 8.a).

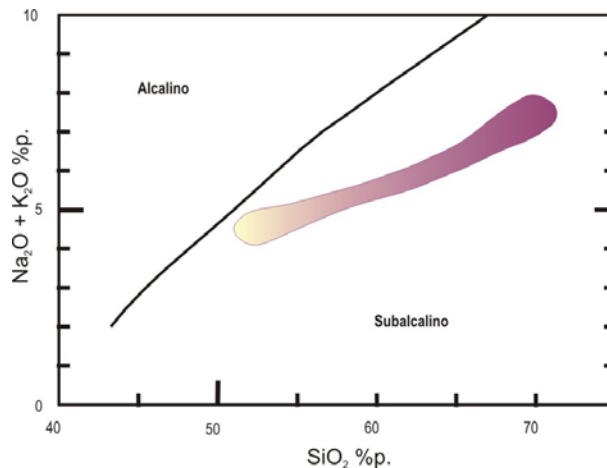


Figura 8. a) Diagrama propuesto por Irvin & Baragan para la clasificación de la serie magmática correspondiente a las rocas del Basamento en el Complejo Volcánico Tacaná

Dentro de la serie subalcalina, las muestras analizadas con el diagrama AFM propuesto por Irvin y Baragan (1971) para la división entre la serie magmática toleítica y calco-alcalina, se ubican en el campo de la serie calco-alcalina y poseen un bajo contenido en óxidos de hierro, con excepción de una muestra de gabro presente en esta asociación, el cual se ubica en el límite del campo entre esta serie y la serie toleítica (Figura 8. b).

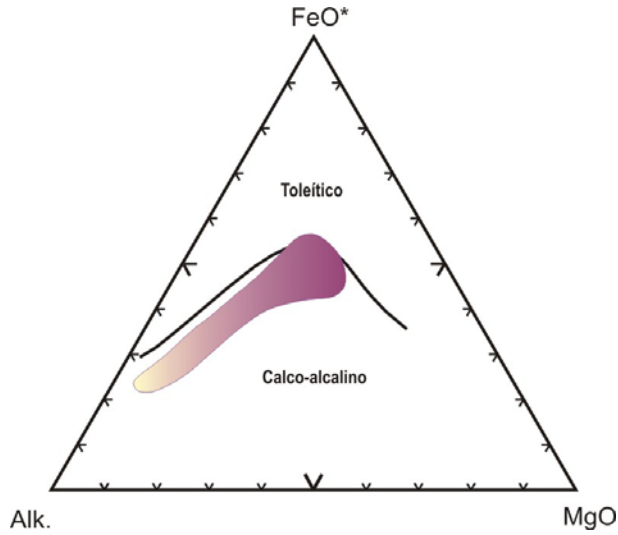


Figura 8. b) Diagrama AFM propuesto por Irvin & Baragan para la clasificación de la serie subcalalina

Con base en el diagrama propuesto por Gill (1981) para la clasificación de rocas félsicas, intermedias y máficas en función del contenido de potasio, estas rocas presentan un contenido de potasio medio con un ligero aumento en proporción del aumento de sílice (Figura 8. c).

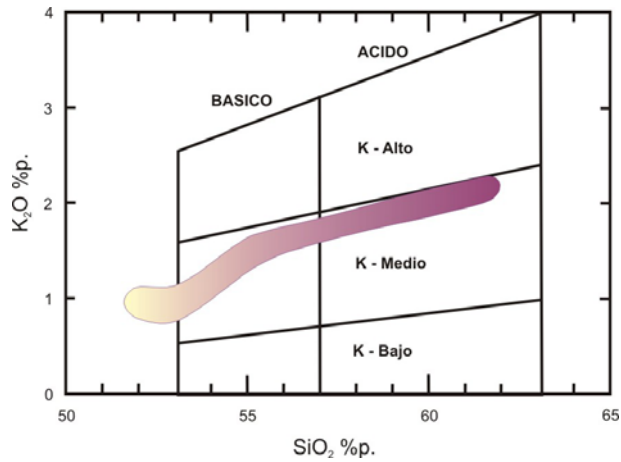


Figura 8. c) Diagrama de Gill propuesto para la clasificación de rocas de ambientes orogénicos en función del contenido de potasio.

Finalmente, para la clasificación química de estas rocas, con el diagrama propuesto por Cox y Bell (1979), las rocas varían en composición entre 51.33 % y 69.38% de contenido en sílice, presentándose como una asociación plutónica constituida por gabro-diorita-granodiorita-granito. En lo que respecta a las rocas graníticas, estas presentan un contenido en sílice de 69.38% bajo condiciones anhidras. Las rocas intermedias de esta asociación plutónica se encuentran representadas principalmente por dioritas y granodioritas con un contenido de sílice que varía entre 54.87% y 61.74%. Finalmente, las rocas máficas se encuentran representadas por gabros en menor proporción con respecto a las rocas intermedias y félsicas. Estos gabros poseen un contenido en sílice de 51.33% bajo condiciones anhidras (Figura 8. d).

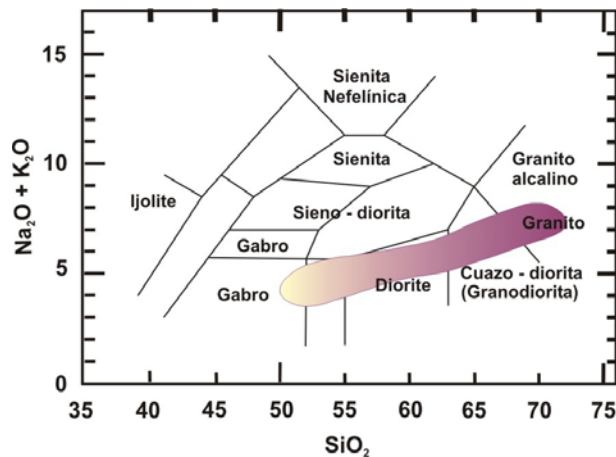


Figura 8. d) Diagrama de Cox para la clasificación rocas plutónicas.

4.1.2. Petrografía del basamento

Las rocas del basamento en el CVT no han sido estudiadas ampliamente debido a la enorme presencia de vegetación en la región y al espesor de suelo. Los primeros datos acerca de este fueron reportados por Mugica (1987), quien describió a las rocas de esta secuencia como parte del Macizo de Chiapas. Así mismo, mencionó la presencia de rocas plutónicas afectadas por metamorfismo regional y cuerpos intrusivos de naturaleza granítica. A continuación se describen las características petrográficas de las muestras recolectadas pertenecientes a esta secuencia. La petrografía de estas rocas se llevó a cabo mediante la descripción megascópica y microscópica utilizando siete muestras representativas de los cuerpos plutónicos expuestos en diversas localidades visitadas en el CVT.

Granitos

Las muestras estudiadas del basamento fueron colectadas en el pueblo Muxbal, en el poblado El Aguila y sobre el camino El Aguila-Azteca donde aflora una unidad de rocas graníticas de color pardo claro que alteran a pardo amarillento, presentan una textura fanerítica, estructura compacta, densidad alta e intemperismo esferoidal, en cuyo centro se encuentran rocas de color gris oscuro, las cuales fueron reconocidas como melanolitos que no presentan este tipo de exfoliación. Los granitos se encuentran constituidos por cristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. Esta roca fue clasificada megascópicamente como un granito.

A nivel microscópico el granito es holocristalino y tiene como fase predominante al cuarzo (50%), el cual presenta formas subhedrales y anhedrales con tamaño que varía de fenocristales a microfenocristales. Estos cristales presentan frecuentemente algunas inclusiones de cristales que no fue posible identificar con el microscopio petrográfico. La segunda fase mineral predominante es el feldespato potásico (15%), el cual se presenta en formas predominantemente subhedrales y euhedrales con tamaño de fenocristales y microfenocristales (Foto 1). La fase que sigue en abundancia es la plagioclasa (15%) con forma predominantemente subhedral y anhedral y con tamaño de fenocristales y microfenocristales. En algunos casos, se observan algunos cristales plagioclasa anhedral sobre los cuales crecieron otros cristales de plagioclasa con forma subhedral. En raras ocasiones, la plagioclasa también presenta zoneamiento (Foto 2). La biotita en esta roca es poco abundante (10%), posee una coloración pardo oscuro a verdoso, se presenta en forma subhedral y con tamaño de microfenocristales y microlitos. El anfíbol (5%) se encuentra a menudo asociados a cristales de biotita, con forma predominantemente anhedral, y tamaño de microfenocristales y microlitos. El anfíbol se encuentra a menudo asociado a cristales de biotita. Los óxidos de Fe-Ti se presentan en menor cantidad (5%) en formas anhedrales y con tamaño de microlitos, como minerales aislados esparcidos en la roca y como inclusiones en las otras fases minerales. El arreglo mineralógico que presentan estos cristales entre si le da a la roca una textura granular hipidiomórfica, y por sus concentraciones en las fases minerales, esta roca fue clasificada como un Granito con biotita y hornblenda (Fotos 1 y 2).

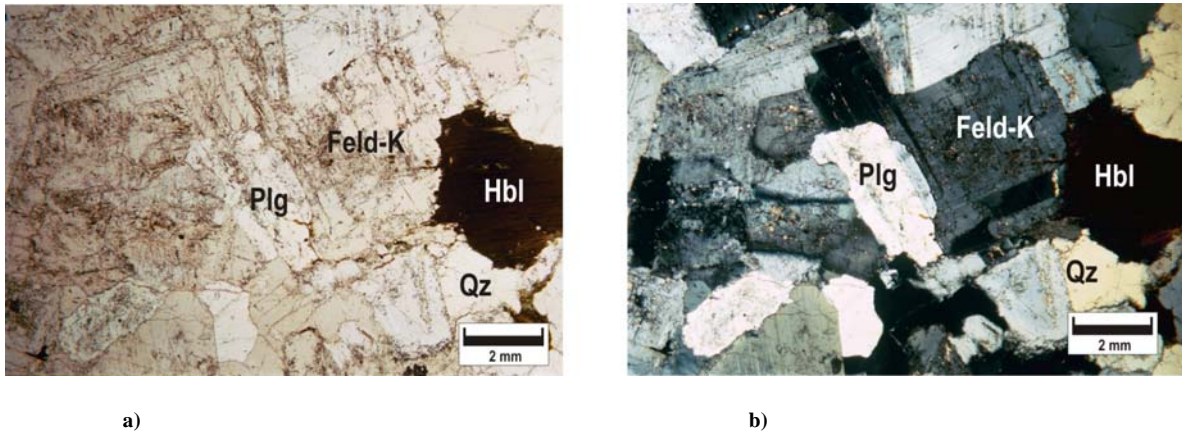


Foto 1. Fotomicrografía de granito con biotita y hornblenda presente en el basamento del CVT donde se observan las diferentes fases minerales en esta roca. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

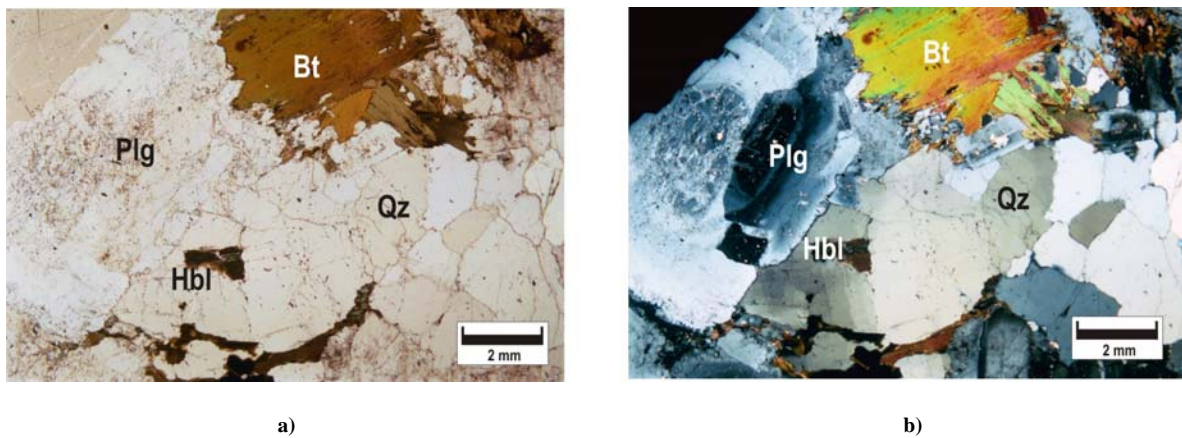


Foto 2. Fotomicrografía de granito con biotita y hornblenda presente en el basamento del CVT donde se observan las diferentes fases minerales en esta roca . a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

Dioritas

Las rocas dioríticas fueron colectadas en el poblado El Aguila, donde aflora una unidad de rocas con estructura masiva, de color gris oscuro que altera a gris claro, con textura fanerítica, densidad media, compuesta por cristales de plagioclasa, piroxeno y algunas micas. Megascópicamente, esta roca fue clasificada como una diorita.

La diorita es una roca holocristalina, compuesta por cristales de plagioclasa como fase predominante (50%) con forma subhedral y anhedral, tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. Dentro de los cristales de plagioclasa, principalmente en los subhedrales, se encuentran inclusiones de otros cristales de plagioclasa con forma anhedral y en algunos casos subhedrales. La segunda fase más predominante en esta

roca es el piroxeno (40%), el cual posee formas euhedrales, subhedrales y anhedrales con tamaño de fenocristales y microfenocristales (Foto 3). El piroxeno se presenta como clinopiroxeno (titanoaugita), y ortopiroxeno (hiperstena). La fase que sigue en abundancia es el olivino, el cual se presenta en cantidades muy escasas (5%) en formas subhedrales y anhedrales con tamaño de microlitos.. Estos microlitos se presentan como bordes de reacción de los cristales de piroxeno. Los óxidos de Fe-Ti, se presentan en formas euhedrales, subhedrales y anhedrales con tamaño de microlitos. Los óxidos de Fe-Ti se encuentran también como inclusiones en los cristales de piroxeno y olivino (Foto 4).

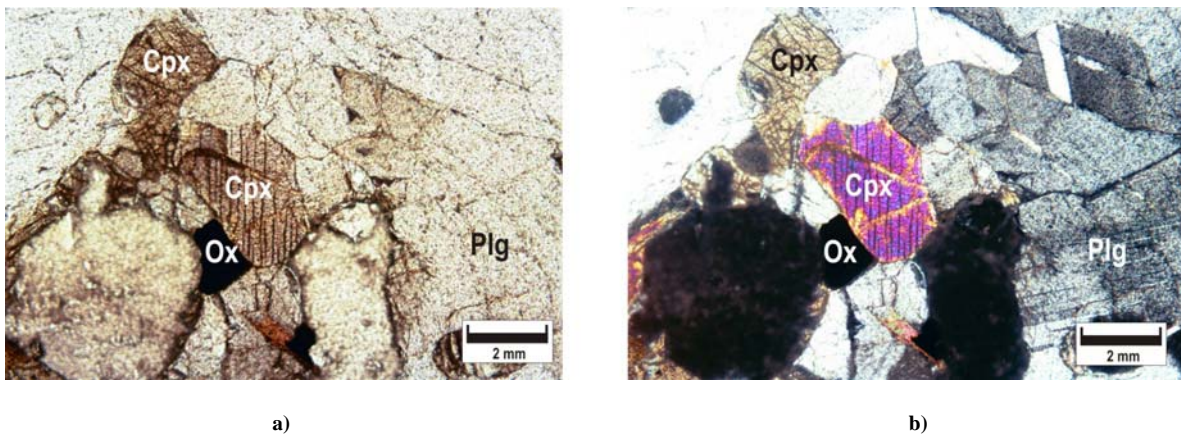


Foto 3. Fotomicrografía de fenocristal de titanioaugita en una diorita presente el basamento del CVT donde se observa la presencia de fenocristales de titanioaugita y óxidos presentes. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

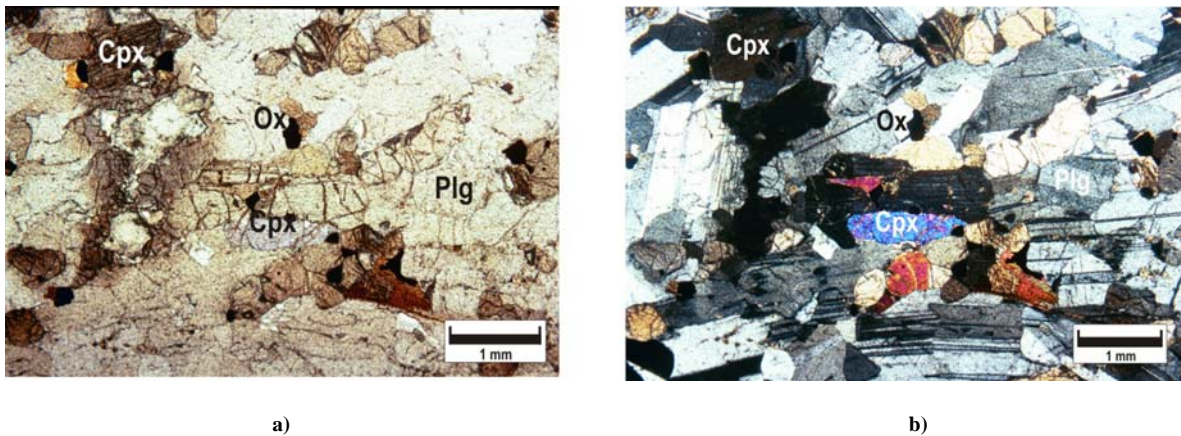


Foto 4. Fotomicrografía de diorita presente el basamento del CVT donde se observan microfenocristales de augita, plagioclasa y microlitos de óxidos de Fe-Ti. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

Gabros

Las muestras de gabro analizadas fueron recolectadas en el poblado llamado Chiquihuite, cerca de la localidad Monte Perla donde se encuentra expuesto un afloramiento de estas rocas en formas de diques tabulares, con coloración gris clara y textura fanerítica compuesta por cristales de anfíbol de hasta 1 cm de longitud, además de plagioclasa y piroxeno. Esta roca muestra alineación de minerales alargados en algunas partes así como inclusiones de rocas ígneas de grano fino y algunas vetas de cuarzo amorfo.

Esta roca es holocristalina, teniendo como fase predominante la plagioclasa (50%), la cual se presenta en forma anhedral y subhedral, con tamaño de fenocristales y microfenocristales y raramente presentan zoneamiento. La segunda fase más predominante es la hornblenda (25%), que presenta formas principalmente euhedrales, anhedrales y subhedrales; con tamaño de fenocristales y microlitos. La biotita se presenta aglomerada alrededor de los cristales de hornblenda en cantidades menores (10%), con formas anhedrales y tamaño de microfenocristales y microlitos. Los óxidos de Fe-Ti se presentan asociados a los cristales de hornblenda y biotita en cantidades mínimas (10%) en formas anhedrales y subhedrales con tamaño de microlitos. La siguiente fase presente en esta roca es el piroxeno, el cual se presenta en forma subhedral y anhedral, con tamaño de fenocristales y microfenocristales alrededor de los cristales de hornblenda. La fase menos predominante en esta roca es el cuarzo, el cual es casi ausente (<5%) y existe en formas anhedrales con tamaño de microlitos (Foto 5).

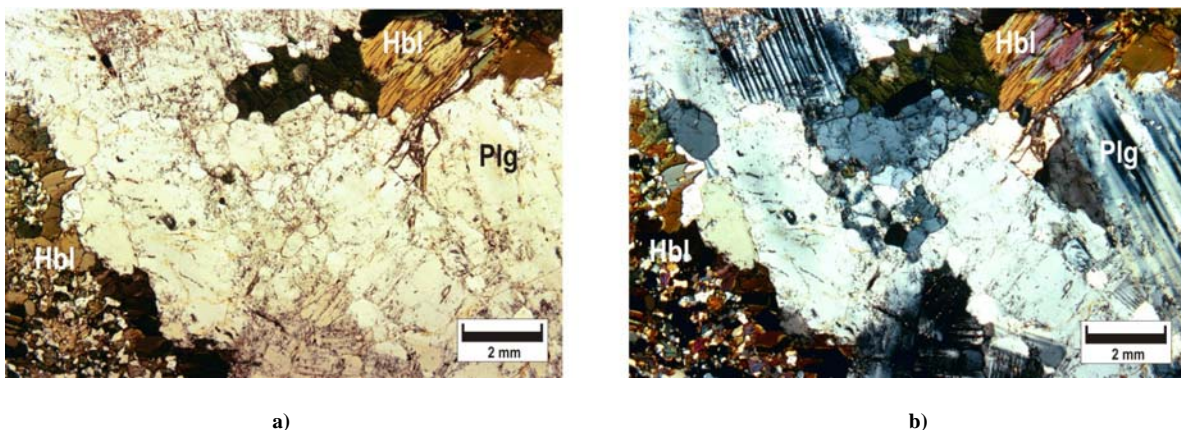


Foto 5. Fotomicrografía de gabro donde se observan fenocristales de plagioclasa y hornblenda. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

4.2. Secuencia de calderas

La secuencia de calderas en el CVT se presentan como una actividad magmática post-basamento y pre-Complejo Volcánico Tacaná. Estas fueron definidas por García-Palomo *et al.* (2004), quienes las nombraron como: Caldera Sibinal, Caldera Cánjale y Caldera San Rafael. Estas calderas se desarrollaron sobre el basamento y subyacen a los depósitos originados por los edificios volcánicos Chichuj, Tacaná, Domo Las Ardillas y San Antonio (Ver mapa geológico anexo).

La Caldera Sibinal es la estructura más antigua de esta secuencia y está localizada en la porción noreste del Complejo Volcánico Tacaná y se encuentra constituida principalmente por flujos de lava y depósitos volcanoclásticos intercalados con flujos de detritos. Por otra parte, la caldera Chanjalé se localiza en la porción oeste del CVT, en donde los depósitos originados por esta caldera se constituyen por múltiples unidades de flujos de lava, flujos piroclásticos entre los que se encuentran depósitos de ignimbritas y flujos de detritos. La Caldera San Rafael se localiza en la porción central del CVT, siendo la estructura más joven de esta secuencia. Asociados a esta caldera se encuentran depósitos de ignimbritas, flujos de lava, flujos de bloques y cenizas y depósitos de avalancha sobre los cuales se desarrollaron los edificios volcánicos Chichuj, Tacaná y San Antonio durante el Pleistoceno.

Para el análisis de los depósitos asociados a las secuencia de calderas del CVT, se recolectaron muestras de roca representativas de los magmas emitidos por cada caldera con el fin de realizar análisis químicos y físicos de roca total. Las muestras recolectadas en los depósitos de avalancha no fueron sometidos a análisis químico debido a la gran alteración que presentan. La ubicación exacta de los sitios donde fueron recolectadas estas muestras se presenta en el anexo 1.

4.2.1. Clasificación química de roca total

En este estudio fueron analizadas diez muestras representativas de los depósitos originados por la actividad de las calderas Sibinal, Chánjale y San Rafael entre las que se encuentran flujos de lava, depósitos de flujos piroclásticos (ignimbritas y flujos de pómez). La concentración de estos porcentajes fue recalculada bajo condiciones anhidras (Anexo 2) con la finalidad de determinar la clasificación química de las muestras mediante los diagramas de discriminación.

En el diagrama álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) vs. sílice (SiO_2) propuesto por Irvin y Baragan (1971) se presenta la curva que limita el campo de las rocas alcalinas de las subalcalinas, las rocas pertenecientes a la secuencia de calderas se ubican en el dominio de las rocas subalcalinas, con un contenido de sílice de 55.02% a 64.87% p. y una variación de 9.85% p). Este diagrama se emplea con frecuencia para discriminar las rocas de ambientes compresivos (orogénicos) de ambientes distensivos (Figura 9. a).

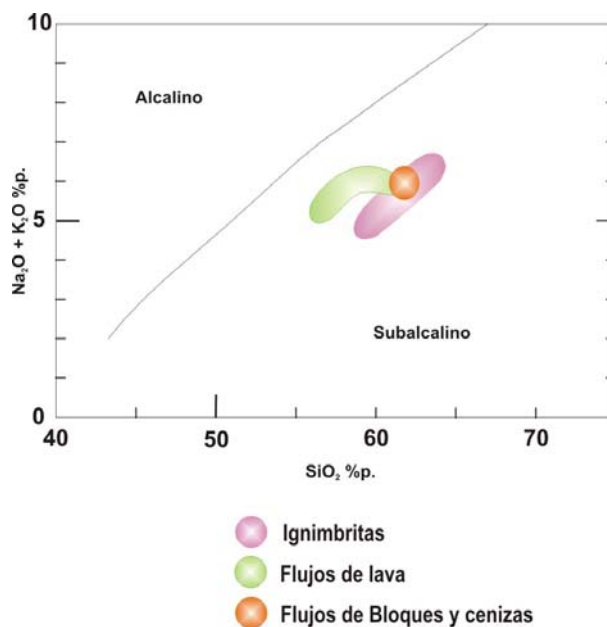


Figura 9. a) Diagrama Álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) Vs. Sílice (SiO_2) propuesto por Irvin y Baragan (1971) para las rocas pertenecientes a la secuencia de Calderas presentes en el Complejo Volcánico Tacaná

En el diagrama triangular AFM álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – MgO – FeO (Irvin y Baragan, 1971), las rocas siguen el lineamiento típico de las rocas de la serie magmática calco-alcalina, mientras que las rocas pertenecientes a los flujos de lava se ubican en el límite del campo de las rocas calco-alcalinas y las rocas

toleíticas. Las rocas de los depósitos de flujos piroclásticos se ubican en su totalidad dentro del campo de las rocas calcoalcalinas (Figura 9. b).

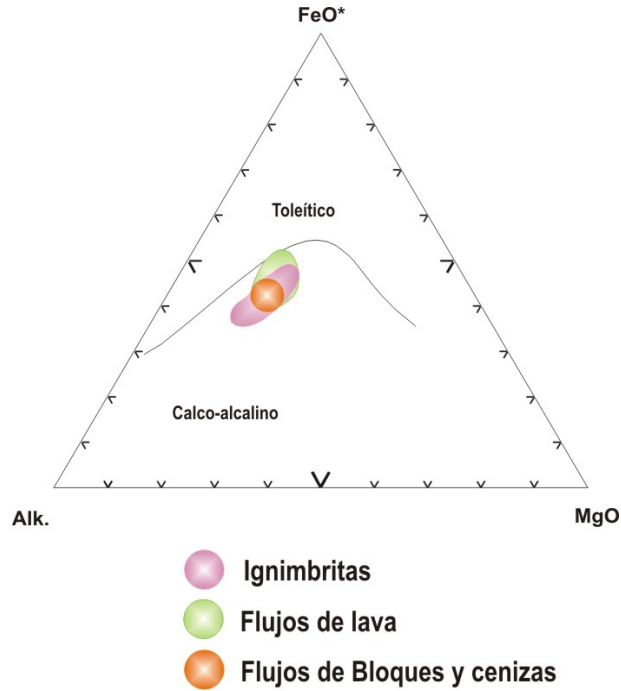


Figura 9. b) diagrama triangular AFM álcalis (Na₂O + K₂O) - MgO - FeO propuesto por Irvin y Baragan (1971)

En el diagrama K₂O vs. sílice SiO₂ (Gill, 1981), para la clasificación de rocas volcánicas de diferentes ambientes orogénicos en función del contenido de potasio, las rocas pertenecientes a los depósitos de flujos de bloques y cenizas se ubican en el campo de las rocas félsicas con un contenido alto en potasio, mientras que las rocas pertenecientes a depósitos de ignimbritas poseen un contenido de potasio medio a alto y se ubican dentro del campo de las rocas félsicas. Finalmente, para las rocas pertenecientes a los flujos de lava, éstas poseen un contenido medio de potasio y pertenecen al campo de las rocas intermedias (Figura 9. c).

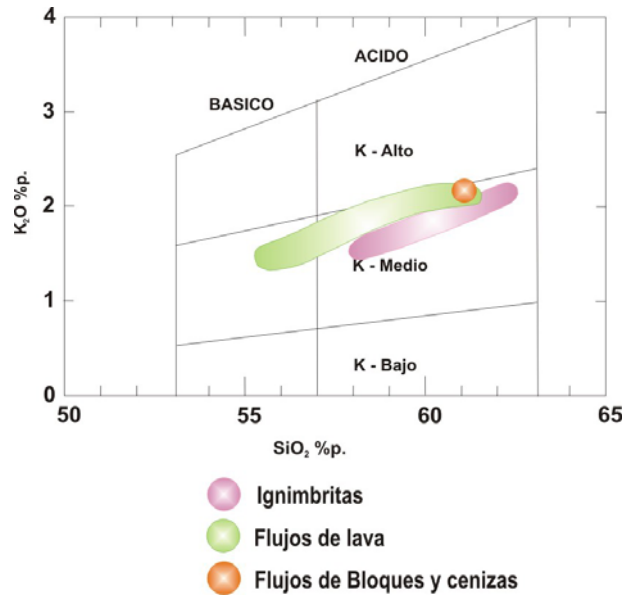


Figura 9.) Diagrama K₂O Vs. Sílice SiO₂ propuesto por Gill (1981)

Las rocas analizadas fueron clasificadas utilizando el diagrama TAS (*Total Alcalis Silice*) propuesto por Le Bas *et al.* (1986), donde se representa entre el contenido de sílice SiO₂ vs. Na₂O + K₂O (álcalis). Este diagrama permite clasificar las rocas volcánicas en función a su contenido en sílice en: ultramáficas (SiO₂ entre 45 y 52% p), intermedias (SiO₂ entre 52 y 63% p.) y félsicas (SiO₂ > 63% p.) De acuerdo con este diagrama, las rocas pertenecientes a los depósitos de lava emitidos por la actividad de estas calderas fueron clasificadas como andesitas y andesitas basálticas, las cuales presentan un contenido en sílice de 55.02% p. a 61.09% p. con una variación de 6.06% p. Las muestras representativas de los depósitos de ignimbritas se ubican en dentro del campo de las rocas intermedias con un contenido en sílice de 58.08% a 62.35% con una variación de 4.26% p., siendo clasificadas como andesitas. En el caso de las rocas pertenecientes a los depósitos de flujos de bloques y cenizas, estas se ubican dentro del campo de las rocas félsicas, por lo que fueron clasificadas como dacitas, y poseen un contenido en sílice de 64.87% p (Figura 9. d).

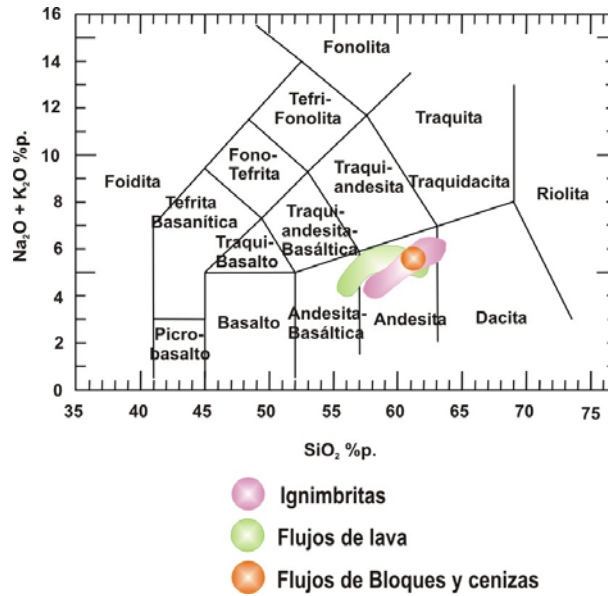


Figura 9. d) diagrama TAS (Total Alkalies Silice) propuesto por Le Bas *et al.* (1986).

4.2.2. Petrografía de calderas

Para realizar el análisis petrográfico de los depósitos de calderas, se emplearon 14 muestras de líticas pertenecientes a los depósitos originados por la actividad de estas, entre las que se encuentran seis flujos de lava, siete líticas juveniles de flujos piroclásticos y un lítico perteneciente a un depósito de avalancha. La descripción de estas rocas se realizó en dos partes: la primera, con la descripción del depósito correspondiente y a nivel macroscópico en muestra de mano. Posteriormente se llevó a cabo la descripción microscópica mediante el análisis de secciones delgadas con el objetivo de conocer las texturas de estas rocas y las relaciones entre las distintas fases minerales que las constituyen. A continuación se presenta una descripción general de estos depósitos y de las rocas representativas de los mismos. La descripción detallada de cada muestra se presenta en el anexo 3.

Caldera Sibinal

Flujos de lava

En el poblado Sibinal, rumbo al poblado Tacaná, Guatemala, aflora una secuencia de flujos de lava con un espesor total de 60 m constituido por diferentes unidades de lava cuyo espesor máximo es de 4 m. Estos flujos de lava de color gris que poseen una estructura lajeada, textura porfírica y están constituidas por una matriz vítrea en la cual se encuentran inmersos cristales de plagioclasa con dimensiones máximas de 7 mm, piroxenos con una longitud máxima de 4 mm y anfíboles de 3 mm. Megascópicamente esta roca se clasificó como andesita. La textura de esta roca es porfídica.

Esta roca es hipocristalina a nivel microscópico, con un porcentaje de matriz del 60% formada por vidrio y microlitos. La fase predominante de esta roca es la plagioclasa (15%), la cual se presenta de forma euhedral, subhedral y anhedral, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. La segunda fase predominante es el piroxeno (10%), el cual presenta bordes de reacción y reabsorción e inclusiones de óxidos de hierro y titanio (Foto 6). La siguiente fase que predomina en esta roca es la hornblenda (10%), con formas subhedrales y anhedrales y tamaños de fenocristales y microfenocristales (Foto 7). El arreglo mineralógico de esta roca le asigna una textura porfírica. Esta roca se clasificó como andesita de augita.

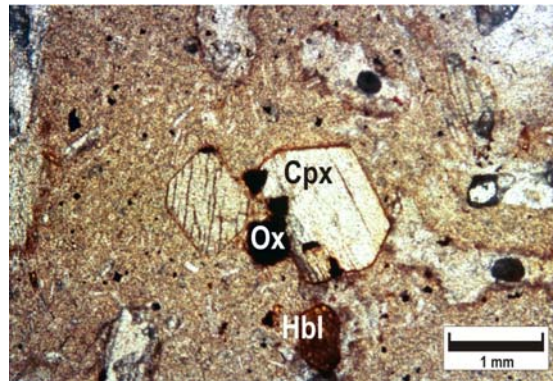


Foto 6. Fotomicrografía de lítico perteneciente a flujo de lava procedente de la Caldera Sibinal vista con luz paralela y aumento 4X donde se observan microfenocristales de augita y microlitos de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz vítrea.

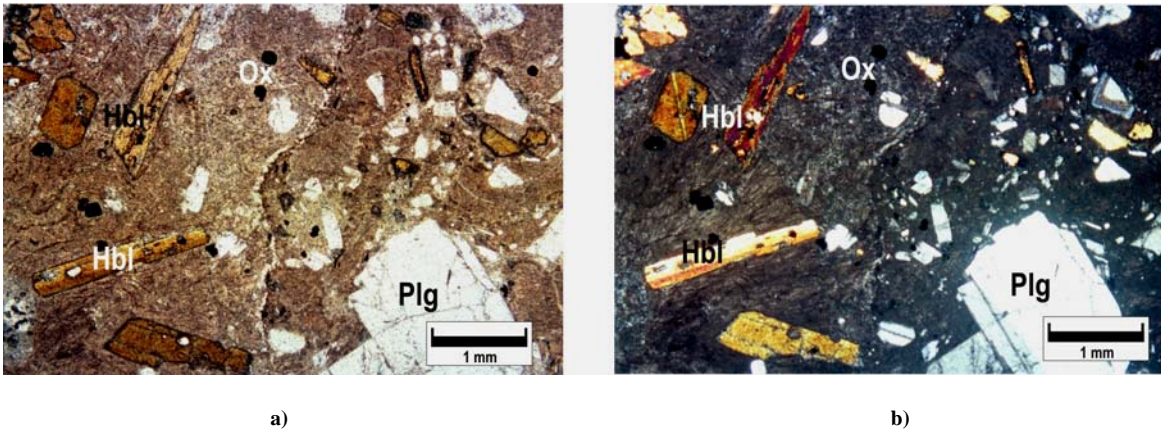


Foto 7. Fotomicrografía de lítico perteneciente a flujo de lava procedente de la Caldera Sibinal donde se observan fenocristales de plagioclasa, microfenocristales de hornblenda y microlitos de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz vítrea. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

Caldera Chanjalé

Flujos de lava

Cerca del poblado Tecoyitac se recolectaron muestras de un flujo de lava, de estructura masiva, con líneas de flujo de color claro y oscuro; este flujo de lava contiene múltiples clastos de pómez de color rosa. Esta estructura se encuentra en contacto con una unidad de flujo piroclástico (ignimbrita). Las lavas son de color gris oscuro, densidad media a alta y constituida por plagioclasa y anfíboles inmersos en una matriz vítrea. Los clastos de pómez tienen formas angulosas y presentan bordes de reacción en contacto con la lava, además se constituyen de una matriz vítrea que rodea fenocristales de plagioclasas y piroxeno. Megascópicamente esta roca se clasifica como andesita.

A nivel microscópico estas rocas son hipocristalinas, con una matriz cuyo porcentaje es del 40% y se encuentra compuesta por vidrio y microlitos. La fase predominante de estas rocas es la plagioclasa (30%), la cual se presenta en formas euhedrales y subhedrales y tamaño de fenocristales y microfenocristales. Estos cristales presentan una textura Sieve en gran abundancia (Foto 9), zoneamiento normal (Foto 8) y textura celular con inclusiones de vidrio. La segunda fase que predomina en esta roca es la hornblenda (15%), la cual se presenta en forma subhedral y anhedral con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. En raras ocasiones estos cristales se presentan como aglomerados cristalinos (Foto 10). Estos cristales presentan en su interior inclusiones de óxidos de hierro y titanio los cuales se presentan en un porcentaje no mayor al 10%, con formas subhedrales y anhedrales, y tamaño de microfenocristales y microlitos. La fase

menos predominante en esta roca es el piroxeno (5%) del tipo de la augita, el cual se presenta en forma euhedral y subhedral con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. El arreglo mineralógico de esta roca le atribuye una textura porfírica. Esta roca se clasificó como andesita de hornblenda.

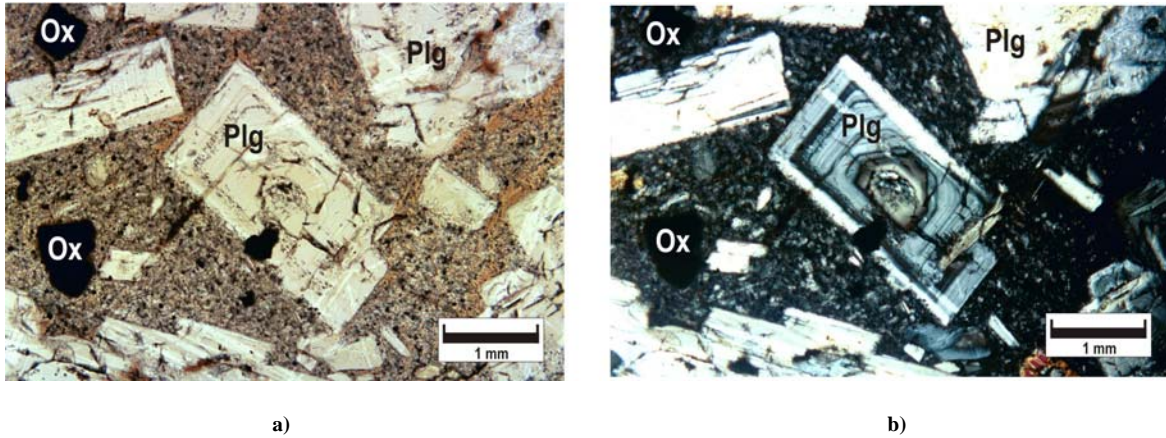


Foto 8. Fotomicrografía de lítico perteneciente a flujo de lava procedente de la Caldera Chanjalé donde se observan fenocristales de plagioclasa con zoneamiento inverso y microfenocristales de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

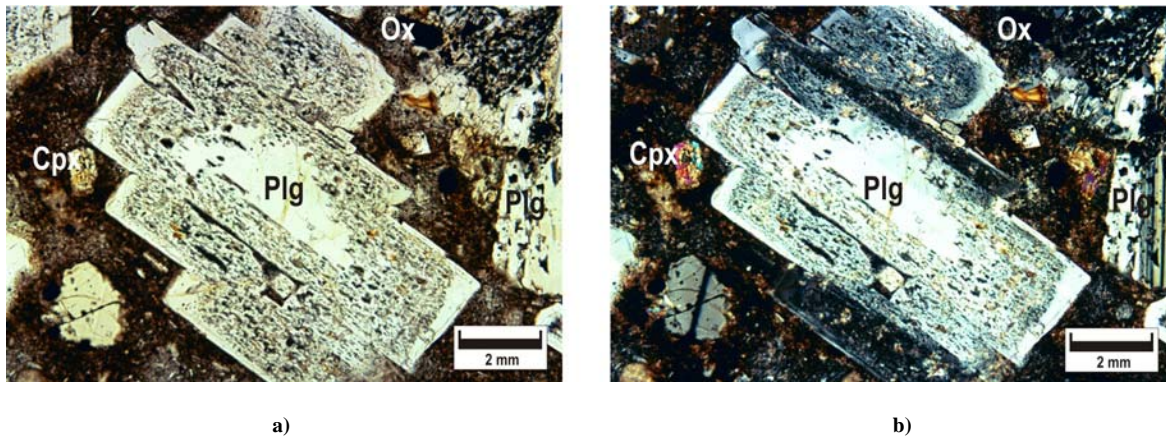


Foto 9. Fotomicrografía de lítico perteneciente a flujo de lava procedente de la Caldera Chanjalé donde se observan fenocristales de plagioclasa con textura Sieve y microfenocristales de augita y óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

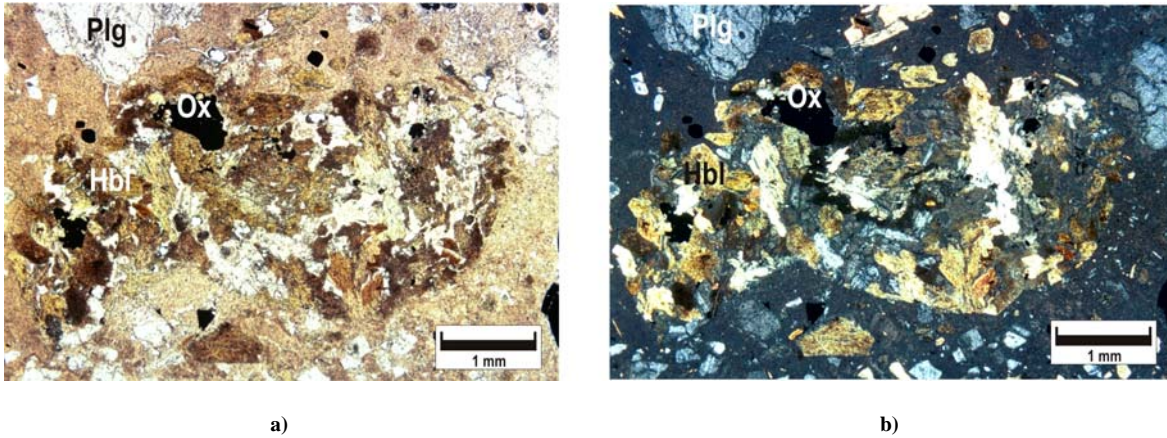
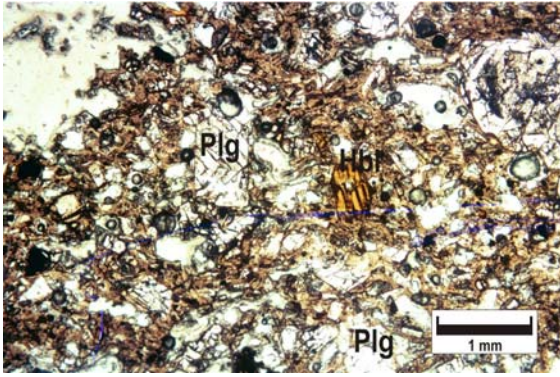


Foto 10. Fotomicrografía de lítico perteneciente a flujo de lava procedente de la Caldera Chanjalé donde se observan glomerocristales de hornblenda y microlitos de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz vítrea. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

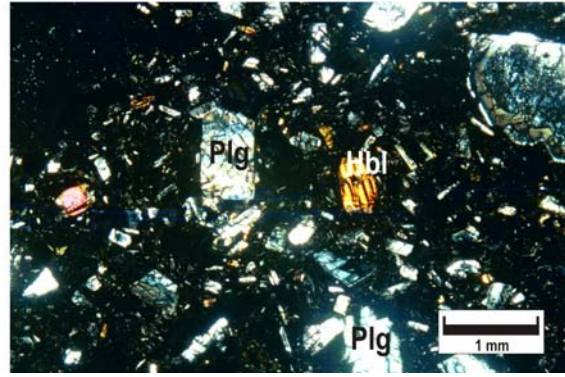
Ignimbritas

Los depósitos de ignimbritas correspondientes a esta secuencia se encuentran expuestos en las inmediaciones del poblado Muxbal donde se encuentran constituidos por una secuencia de depósitos de flujos piroclásticos, los cuales están constituidos por líticos densos de color gris y líticos juveniles con forma de tipo “*fiamme*”.

Los líticos juveniles se componen por una matriz constituida por vidrio y microlitos cuyo porcentaje es del 40% y cristales de plagioclasa (30%) del tamaño de fenocristales y microfenocristales con textura Sieve y celular; piroxeno (15%), con tamaño de fenocristales y microfenocristales. Otra fase que se puede encontrar en esta roca, aunque menos común es el olivino (5%), el cual posee formas subhedrales y anhedrales, en tamaños de microfenocristales y microlitos. El contenido de óxidos de hierro y titanio en esta roca es de aproximadamente el 10% y se presenta con formas subhedrales y anhedrales y con tamaño de microfenocristales y microlitos. Estos óxidos en su mayoría se presentan como inclusiones en los piroxenos y olivinos. El arreglo de los componentes, (minerales y matriz), de esta roca, le da una textura porfídica, mientras la abundante cantidad de vesículas la señala como de estructura vesicular (Foto 11).



a)



b)

Foto 11. Fotomicrografía de lítico perteneciente a depósito de ignimbrita procedente de la Caldera Chanjalé donde se observa una textura vescicular y microfenocristales de plagioclasa y hornblenda a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

Caldera San Rafael

Flujos de lava

Estas rocas afloran en las inmediaciones del poblado La Hacienda, Guatemala, donde encuentra expuesta una unidad de lava con forma masiva, color gris oscuro que altera a pardo rojizo, muy compacta, con textura porfírica, constituida por una matriz de vidrio y cristales, la cual se rodea a cristales de plagioclasa, piroxenos y anfíboles.

Estos flujos de lava también se presentan en la misma localidad formas columnares a prismáticas, con una altura aproximada de 40 m, presentan una textura porfírica, estructura muy compacta, densidad media-alta, compuesta por una matriz vítrea de color gris claro alterando a pardo oscuro en la que se encuentran inmersos cristales de plagioclasa con un tamaño máximo de 6 mm, piroxeno con un tamaño máximo de 4 mm y anfíbol con tamaño máximo de 3 mm.

A nivel microscópico estas rocas son hipocristalinas, con una matriz constituida por vidrio y microlitos cuyo porcentaje máximo es del 40%. La fase cristalina predominante en esta roca es la plagioclasa (30%), la cual posee formas euhedrales y subhedrales con tamaño de fenocristales y microfenocristales. Algunos de estos cristales presentan una textura celular, Sieve (Foto 12) y textura zoneada (Foto 13), así como inclusiones de vidrio y plagioclasa. La segunda fase predominante de estas rocas es el clinopiroxeno (15%) del tipo de la augita, el cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales con tamaño de fenocristales y microfenocristales. Estos cristales presentan en su interior inclusiones de óxidos de hierro y titanio, así como algunos bordes de reacción. La tercera fase más abundante en estas rocas es la hornblenda (10%), que se presenta en formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales, con bordes de disolución, gran alteración y contenido de óxidos en su interior (Foto 14). La fase menos abundante en estas rocas son los óxidos de hierro y titanio (5%). Estos cristales poseen una forma anhedral, tamaño de microfenocristales y microlitos. Se encuentran generalmente como inclusiones en los minerales máficos. El arreglo mineralógico de esta roca le atribuye una textura porfírica y se clasificó como andesita de augita.

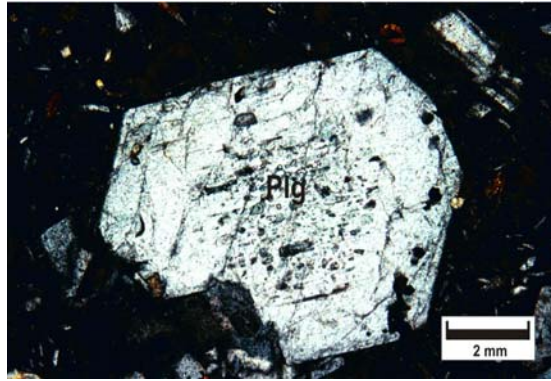


Foto 12. Fotomicrografía de fenocristal de plagioclasa perteneciente a flujo de lava procedente de la Caldera San Rafael donde se observa una textura Sieve con inclusiones de vidrio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

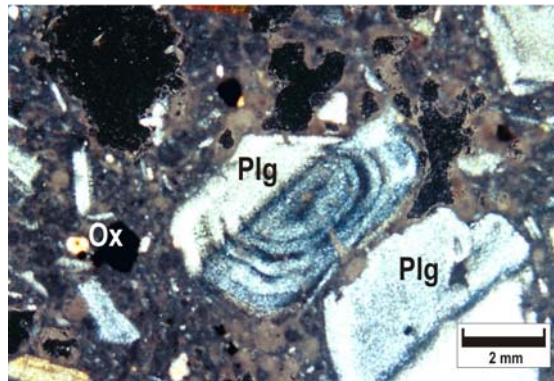
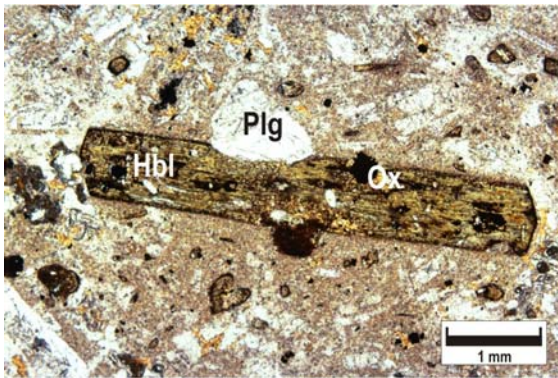
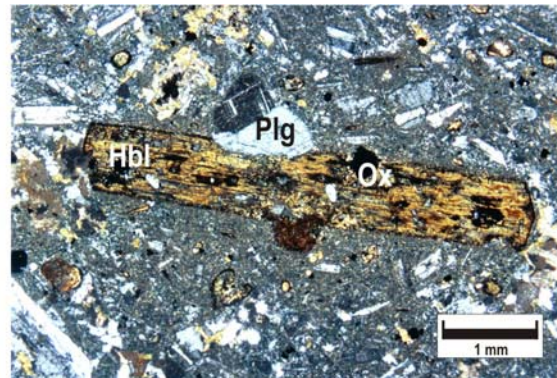


Foto 13. Fotomicrografía de fenocristal de plagioclasa perteneciente a flujo de lava procedente de la Caldera San Rafael donde se observa zoneamiento inverso. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.



a)



b)

Foto 14. Fotomicrografía de fenocristal de hornblenda perteneciente a flujo de lava procedente de la Caldera San Rafael donde se observan inclusiones de óxidos de Fe-Ti y microfenocristales de plagioclasa rodeados por una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

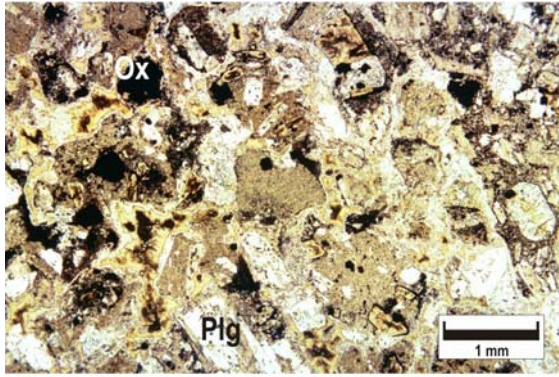
En el camino que conduce al poblado Las Ventanas existe una pared con altura menor a 80 m en la cual se expone una secuencia de flujos piroclásticos, entre los que se encuentra un flujo de bloques y cenizas y un depósito de ignimbritas. A continuación se presenta la descripción de estos depósitos con las características macroscópicas y microscópicas de las muestras representativas de los mismos.

Ignimbritas

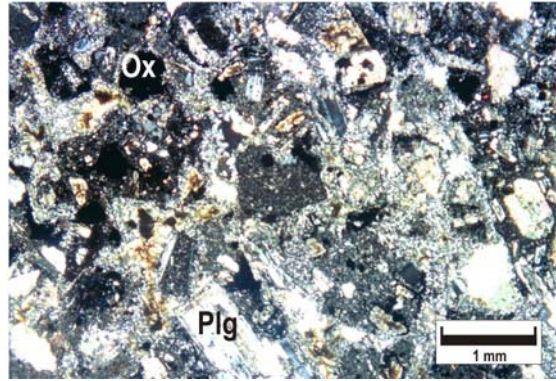
Este depósito de ignimbritas están expuestos en la cima de la pared antes mencionada con espesor aproximado de 40 m y posee un color gris oscuro, estructura masiva, compuesta por una matriz de arena de grano fino que rodea líticos angulosos y subredondeados de pómez y líticos densos. Los líticos de pómez son de color gris claro, estructura vesicular, densidad baja a media y presentan una matriz vítrea con vesículas que rodea cristales de plagioclasa y piroxeno. Los líticos densos son de color gris oscuro, estructura compacta, densidad baja a media y textura porfídica con una matriz vítrea que rodea cristales de plagioclasa y piroxeno.

Microscópicamente, los líticos grises de estos depósitos presentan una matriz compuesta por cristales y vidrio, con textura vesicular (Foto 15) y cuyo porcentaje máximo es el 40%. Esta matriz rodea fenocristales de plagioclasa que es la fase más abundante (30%). Los cristales de plagioclasa poseen formas euhedrales, subhedrales y anhedrales y varían en tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. Principalmente los fenocristales tienen texturas Sieve y celular (Foto 16), así como zoneamiento normal, inverso u oscilatorio. Como la segunda fase mineral predominante en esta roca se encuentra el piroxeno (15%) del tipo de la augita, la cual tiene formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales, presentando en la mayoría de los casos inclusiones de óxidos de hierro y titanio, los cuales representan la tercera fase predominante en estas rocas (5%) y se aglomeran en bordes de reacción o se encuentran dispersos en la matriz. Las vesículas que posee esta roca se encuentran rellenas en algunos casos con espículas de sílice (Foto 17). Esta roca posee una textura vesicular y se clasifica como andesita de augita.

En estos líticos juveniles se pueden encontrar también algunos fragmentos de roca dispersos en la matriz que abundan en un porcentaje menor al 5%. Estos fragmentos presentan una textura microporfírica y se componen de microlitos de plagioclasa, piroxeno, vidrio y óxidos de hierro y titanio.



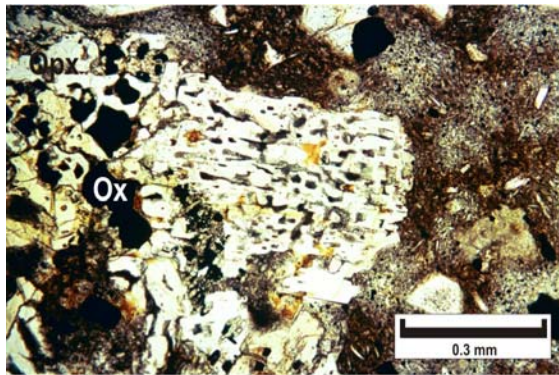
a)



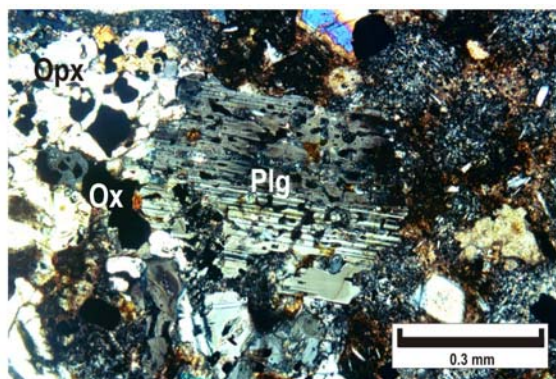
b)

Foto 15. Fotomicrografía de lítico perteneciente a un depósito de ignimbrita procedente de la Caldera San Rafael donde se observan una textura vesicular con microfenocristales de plagioclasa y óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz vítrea. a)

Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

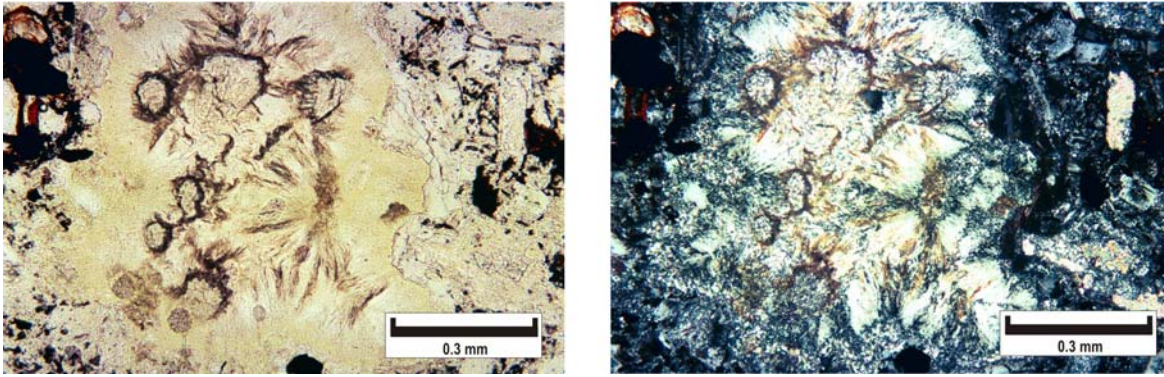


a)



b)

Foto 16. Fotomicrografía de lítico perteneciente a un depósito de ignimbrita procedente de la Caldera San Rafael donde se observan microfenocristales de plagioclasa con textura celular y microfenocristales de augita con inclusiones de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz vítrea. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 20X.



a)

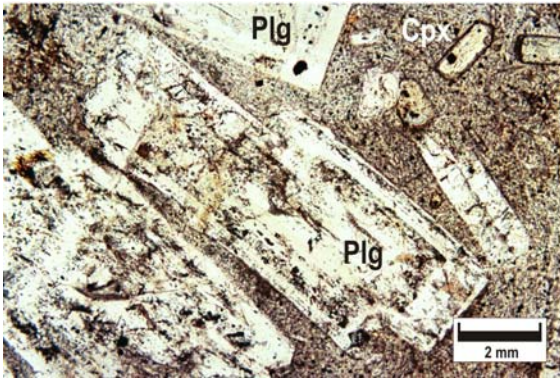
b)

Foto 17. Fotomicrografía de lítico perteneciente a un depósito de ignimbrita procedente de la Caldera San Rafael donde se observan vesículas rellenas por sílice en forma de espículas. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 20X.

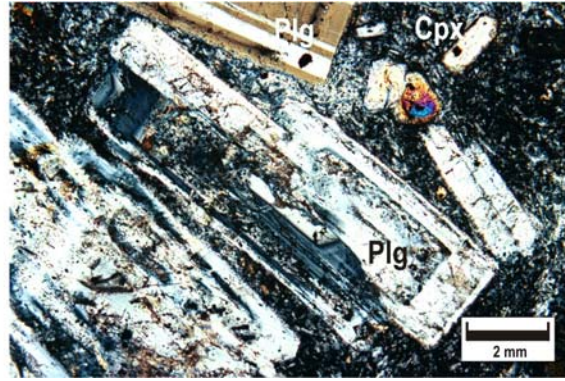
Flujos de bloques y cenizas

Los depósitos de flujos de bloques y cenizas se encuentran expuestos sobre el camino hacia el poblado Las Ventanas. Estos depósitos se presentan en forma masiva, bien consolidados, son monolitológicos, con líticos cuyos diám alcanzan hasta 2 m con algunas zonas de alteración hidrotermal. La matriz que compone estos depósitos es del tamaño de arena media. Hacia la cima esta secuencia está en contacto con un depósito de ignimbritas de color verde. Los líticos que componen este depósito son de color gris oscuro, estructura masiva, compacta, con cristales de plagioclasa y piroxeno y con textura porfídica.

A nivel microscópico los líticos de color gris rocas son hipocristalinos, con una matriz compuesta por vidrio y microlitos cuyo porcentaje máximo es del 50%. La fase predominante de estas rocas es la plagioclasa (30%), la cual se presenta en forma euhedral y subhedral con tamaño de microfenocristales y microlitos. La mayoría de estos cristales poseen textura Sieve (Foto 18), así como zoneamiento normal e inverso en menor cantidad. La segunda fase predominante es el clinopiroxeno (10%) y ortopiroxeno (10%), el cual se presenta en formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales. Algunos de estos cristales presentan de óxidos de hierro y titanio como inclusiones, así como algunos bordes de reacción (Foto 19). La tercera fase predominante en estas rocas es el olivino (5%), el cual se presenta con forma anhedral y con tamaño de microfenocristales y microlitos. La fase menos predominante en esta roca son los óxidos de hierro y titanio, los cuales se presentan en su mayoría como inclusiones de los piroxenos y anfíboles. La textura de esta roca es porfídica y se clasificó como andesita de augita.

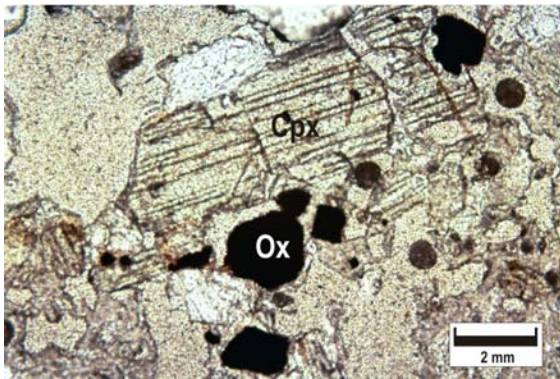


a)

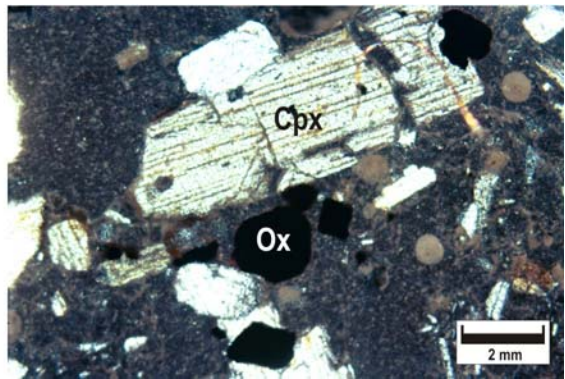


b)

Foto 18. Fotomicrografía de lítico perteneciente a un depósito de flujos de bloques y cenizas procedente de la Caldera San Rafael donde se observan fenocristales de plagioclasa con textura Sieve y microfenocristales de augita rodeados por una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.



a)



b)

Foto 19. Fotomicrografía de lítico perteneciente a un depósito de flujos de bloques y cenizas procedente de la Caldera San Rafael donde se observan fenocristales de augita con inclusiones de microfenocristales de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

4.3. Volcán Chichuj

El Volcán Chichuj es un volcán extinguido que se localiza en la parte más oriental del CVT siendo el edificio volcánico más antiguo de este complejo. La mayor parte de las rocas que conforman este edificio se encuentran expuestas en su flanco oeste, donde han sido reconocidas diversas unidades expuestas en paredes verticales que siguen una orientación Norte-Sur que corresponde a la estructura de colapso de este volcán. Los depósitos que conforman estas unidades se separan de los productos del Volcán Tacaná mediante paredes formadas como consecuencia del colapso de este volcán (Ver mapa geológico anexo). Los depósitos que representan a esta secuencia corresponden a unidades de flujos de lava, depósitos de flujo de bloques y cenizas y depósitos de avalancha (García-Palomo *et al.*, 2004).

Hacia la parte E-NE del Volcán Chichuj se encuentran también algunos flujos piroclásticos del Volcán Tacaná, sin embargo, estos depósitos fueron analizados dentro de la secuencia correspondiente al Volcán Tacaná para el estudio en la evolución de este complejo. La ubicación exacta de los sitios donde fueron recolectadas estas muestras se presenta en el anexo 1.

4.3.1. Clasificación química de roca total

Para el estudio de esta secuencia fueron analizadas un total de once muestras representativas de flujos de lava, flujos de bloques y cenizas y flujos de pómez pertenecientes a los depósitos de la secuencia Chichuj. Entre estas muestras se encuentran flujos de lava (4) y flujos de bloques y cenizas (3). En este estudio no han sido considerados los depósitos de avalancha debido a la falta de afloramientos con muestras de roca sanas.

Las rocas pertenecientes a los depósitos asociados a la actividad del Volcán Chichuj fueron analizados con ayuda del diagrama álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) vs. sílice (SiO_2) (Irvin y Baragan, 1971), donde dichas muestras se ubican dentro del campo de las rocas subalcalinas con un contenido en sílice entre 58.26% y 65.29% p., con una variación de 6.45 % p (Figura 10. a).

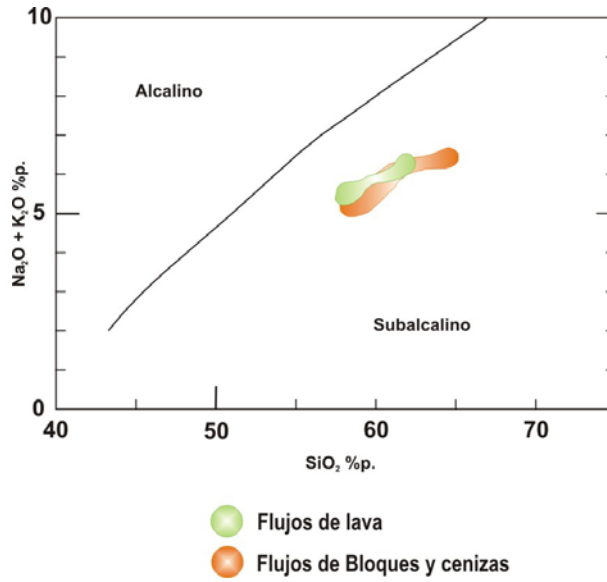


Figura 10. a) Diagrama Alcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) Vs. Sílice (SiO_2) propuesto por Irvin y Baragan (1971) para las rocas pertenecientes a la secuencia de los depósitos del asociados al Volcán Chichuj

Al realizar el análisis químico con ayuda del diagrama triangular AFM álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – MgO – FeO (Irvin y Baragan, 1971), se puede observar claramente que las rocas pertenecientes a los depósitos asociados al Volcán Chichuj obedecen la alineación típica de serie magmática calco-alcalina, misma que pertenece a la serie magmática subalcalina. En el caso de los enclaves, estos presentan una ligera tendencia hacia el campo de las rocas alcalinas (Figura 10.b).

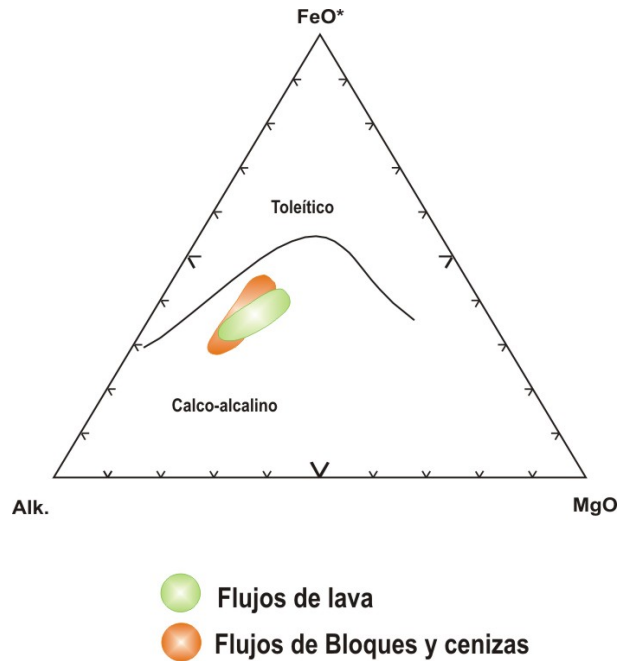


Figura 10. b) diagrama triangular AFM álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – MgO – FeO propuesto por Irvin y Baragan (1971)

Con ayuda del diagrama K_2O vs. sílice SiO_2 propuesto por Gill (1981), se realizó la clasificación de rocas volcánicas en función del contenido de potasio. En este diagrama se puede observar claramente que las rocas pertenecientes a flujos de lava, flujos de bloques y cenizas y flujos de pómez presentan un contenido de potasio que va de medio a alto y se ubican en el campo de las rocas intermedias en el caso de las muestras de los flujos de lava y en el caso de los depósitos de flujos de bloques y cenizas al de las rocas félsicas. Los enclaves de los flujos de lava se ubican dentro del campo de las rocas intermedias y presentan un contenido de potasio medio (Figura 10. c).

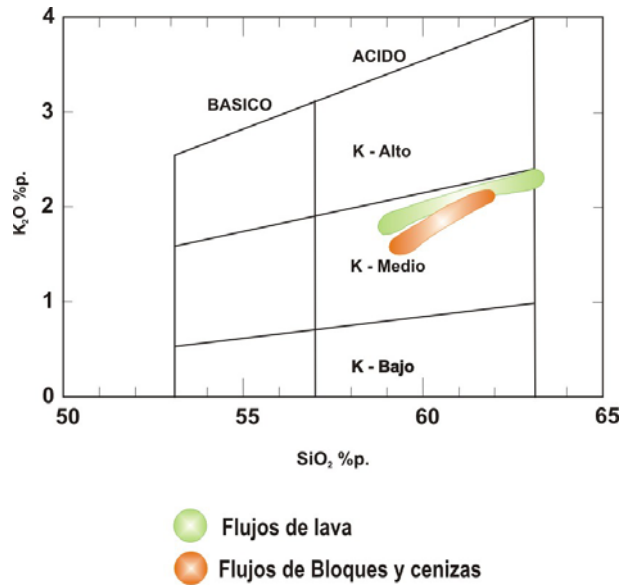


Figura 10. c) Diagrama K_2O Vs. Sílice SiO_2 propuesto por Gill (1981)

En el diagrama TAS (*Total Alcalis Silice*), (Le Bas *et al.*, 1986), donde se representa entre el contenido de SiO_2 y $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, las rocas pertenecientes a los flujos de lava del Volcán Chichuj se ubican dentro del campo de las rocas intermedias siendo clasificadas como andesitas, cuyo contenido en sílice es de 58.83% a 62.99% con una variación de 4.16% p. Los enclaves que encajonan los flujos de lava presentan un contenido en sílice del 53.41% p. y fueron clasificados como andesitas basálticas.

Las rocas que constituyen los flujos de bloques y cenizas se ubican tanto en el campo de las rocas intermedias y félsicas, siendo clasificadas como andesitas y dacitas, respectivamente. El contenido en sílice de estas rocas es de 62.02% a 65.29% con una variación de 3.27% p (Figura 10. d).

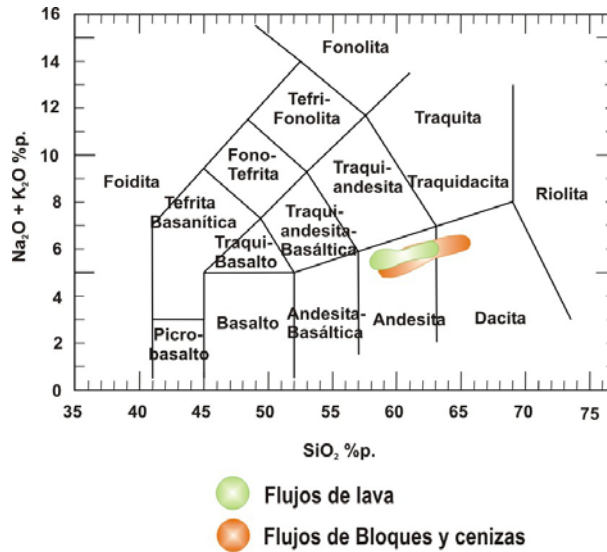


Figura 10. d) diagrama TAS (Total Alkalies Silice) propuesto por Le Bas *et al.* (1986).

4.3.2. Petrografía del Volcán Chichuj

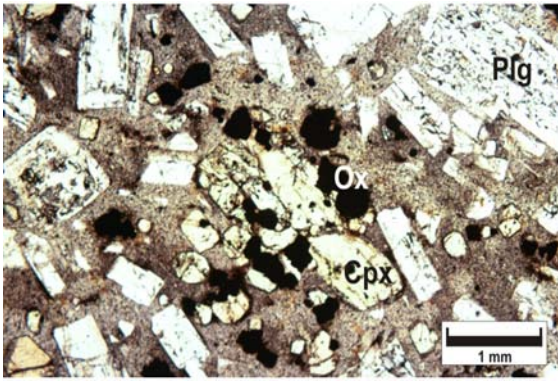
El análisis petrográfico de las rocas pertenecientes a la secuencia de este secuencia se llevó a cabo en muestras obtenidas de los diferentes depósitos asociadas al mismo. Durante este estudio se realizó la descripción de afloramientos de las diferentes unidades encontradas en el campo tomando como referencia la estratigrafía propuesta por García-Palomo *et al.* (2004). Posteriormente las muestras recolectadas fueron descritas megascópicamente y microscópicamente. El objetivo de estas descripciones fue determinar las texturas que las caracterizan y y las relaciones entre las distintas fases minerales que las conforman, para lo cual fueron seleccionadas seis muestras representativas de los diferentes depósitos encontrados.

A continuación se presenta una descripción de los diferentes depósitos asociados al Volcán Chichuj, así como las características petrográficas que los constituyen. El análisis petrográfico a detalle se muestra en el anexo 3.

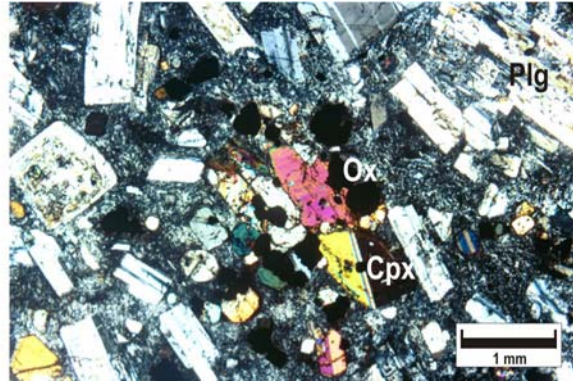
Flujos de lava.

Las rocas pertenecientes a los flujos de lava fueron colectadas en las inmediaciones del poblado Buenavista, donde aflora una unidad de lava cuyo espesor aproximado es de 15 m. Las rocas que conforman esta secuencia son de color gris claro que altera a rosa claro y presenta una textura porfírica, con bandeamiento. Presentan una densidad media y textura porfídica donde los cristales se encuentran rodeados por una matriz de vidrio. Los cristales son de plagioclasa cuyo un diámetro máximo es de 6 mm, piroxeno con diámetro de hasta 5 mm y anfíboles, con un diámetro máximo de 3 mm. Megascópicamente esta roca se clasifica como andesita.

A nivel microscópico esta roca es hipocristalina, posee una matriz de cristales y vidrio cuyo porcentaje total de la roca es del 30%. En esta roca la fase que predomina es la plagioclasa (40%), la cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos (Foto 20). En algunos casos, estos cristales poseen textura Sieve y algunas inclusiones de cristales de piroxeno con forma anhedral así como vidrio en menor cantidad. La segunda fase predominante es el piroxeno, el cual se presenta como augita (10%) e hiperstena (10%) con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales (Foto 20). En raras ocasiones, los cristales de augita llegan a presentar un hábito acicular con formas concéntricas. La tercera fase que predomina en esta roca es el anfíbol (5%), que se presenta con formas subhedrales y anhedrales, tamaño de fenocristales y microfenocristales. Estos cristales presentan bordes de reacción de color oscuro constituidos por óxidos de hierro y titanio (Foto 21). La fase que menos predomina en esta roca son los óxidos de hierro y titanio, los cuales se presentan con formas subhedrales y anhedrales, con tamaño de microfenocristales y microlitos. Estos óxidos se encuentran disgregados en la matriz de la roca y como inclusiones en algunos cristales de piroxenos y anfíboles principalmente. El arreglo mineralógico de esta roca le atribuye una textura porfírica y se clasifica como andesita de dos piroxenos.



a)

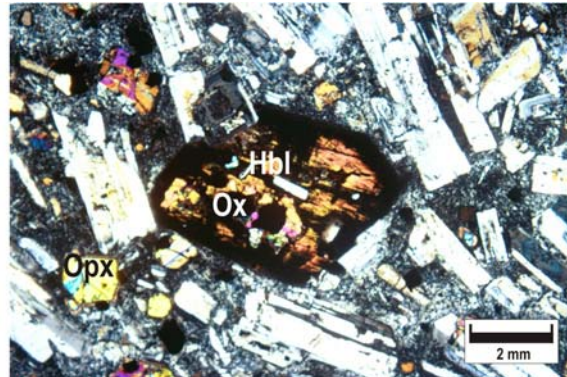


b)

Foto 20. Fotomicrografía de flujo de lava procedente del Volcán Chichuj donde se observan microfenocristales de plagioclasa con textura celular y Sieve, así como microfenocristales de augita con inclusiones de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.



a)



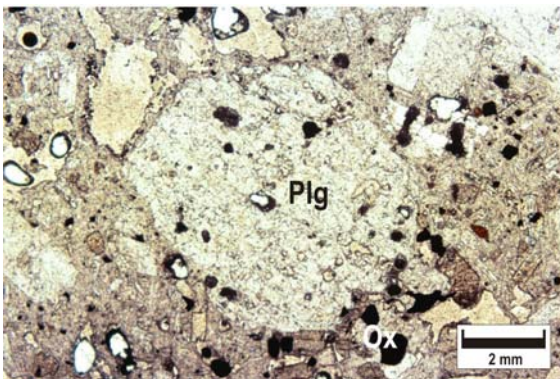
b)

Foto 21. Fotomicrografía de flujo de lava procedente del Volcán Chichuj donde se observan fenocristales de hornblenda y microfenocristales de augita y enstatita con inclusiones de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

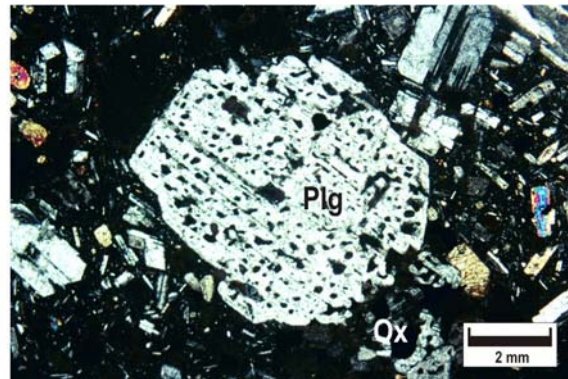
Flujos de Bloques y Cenizas

Las rocas analizadas de los depósitos de Flujos de bloques y cenizas fueron colectadas en el poblado Buenavista, donde aflora una unidad cuyo espesor aproximado es de 12 m, de color gris medio a oscuro, compuesta por una matriz de arena de grano medio que sustenta a líticos cuyo diámetro oscila entre 80 centím y 150 centím. Estos líticos son de color gris claro, de textura porfídica, estructura compacta, densidad media y se componen de una matriz vítrea en la que se encuentran inmersos cristales de plagioclasa cuyo diámetro máximo es de 7 mm, hornblenda con diámetro de hasta 3 mm y piroxeno con diámetro de hasta 1 cm. Megascópicamente esta roca se clasifica como andesita.

A nivel microscópico esta roca es hipocrystalina. Posee una matriz constituida por cristales y vidrio cuyo porcentaje aproximado es del 30%. La fase mineral que predomina en esta roca es la plagioclasa (40%), que se presenta con formas euhedrales, subhedrales y anhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. Estos cristales presentan zoneamiento que varía de normal a inverso en menor cantidad, así como textura Sieve y celular, con bordes de disolución o reabsorción e inclusiones de algunos cristales de piroxeno y vidrio (Foto 22). La fase que predomina después de la plagioclasa es el piroxeno augita (10%) e hiperstena (5%), el cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales. La tercera fase que predomina en esta roca son los óxidos de hierro y titanio, los cuales tienen formas subhedrales y anhedrales, con tamaño de microfenocristales y microlitos. Estos óxidos a menudo se presentan en bordes de reacción de cristales de hornblenda y dispersos en la matriz o como inclusiones en piroxenos y anfíboles. La fase mineral que menos predomina en esta roca es la hornblenda, la cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales. La hornblenda posee bordes de reacción con óxidos de hierro y titanio e inclusiones (Foto 23). El arreglo de los componentes mineralógicos de esta roca le atribuye una textura porfídica y se clasifica como andesita de augita.

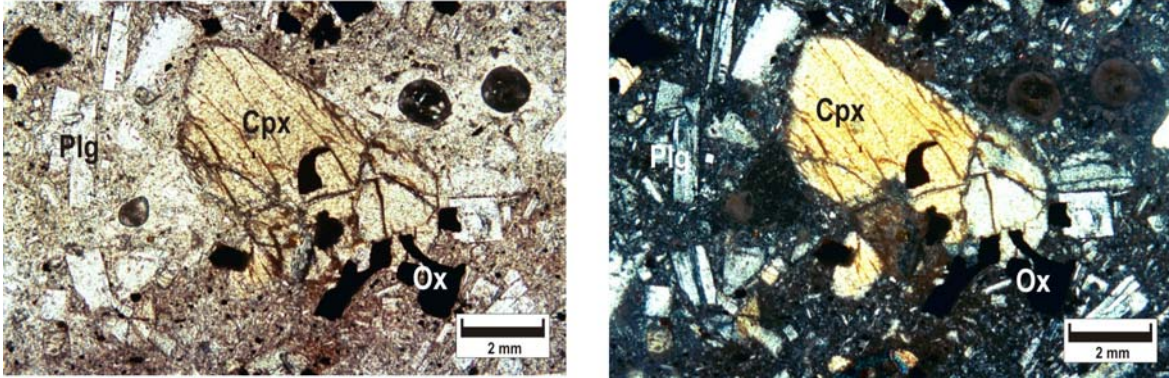


a)



b)

Foto 22. Fotomicrografía de flujo de lava procedente del Volcán Chichuj donde se observan fenocristales de plagioclasa con textura celular y microfenocristales de augita y enstatita con inclusiones de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.



a)

b)

Foto 23. Fotomicrografía de fenocristales de augita y enstatita con inclusiones de óxidos de Fe-Ti rodeados por una matriz de vidrio y microlitos presente en flujo de lava procedente del Volcán Chichuj. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

Depósitos de avalancha.

Las muestras pertenecientes a los depósitos de avalancha corresponden a líticas que fueron colectadas en el poblado Muxbal, donde se encuentra expuesta una secuencia de este tipo de color gris, dispuesta en forma masiva, con color amarillo que altera a pardo anaranjado en algunas zonas por alteración hidrotermal. Las rocas que predominan en esta unidad son de color gris claro, textura porfídica, estructura compacta, densidad media y se componen de una matriz de vítrea en la cual se encuentran inmersos cristales de plagioclasa, piroxeno y hornblenda. Megascópicamente, esta roca se clasifica como andesita.

A nivel microscópico estas rocas son hipocrystalinas, constituidas por una matriz de vidrio y microlitos cuyo porcentaje aproximado es del 30%. Mineralógicamente, la fase mineral que predomina en esta roca es la plagioclasa (30%), la cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. Estos cristales poseen zoneamiento oscilatorio, textura Sieve (Foto 24) y bordes de reabsorción. Así mismo, estos cristales se presentan como fantasmas que han sido reemplazados casi en su totalidad por óxidos. En otros casos, las plagioclasas presentan en su interior cristales de otras plagioclasas precesoras con formas anhedrales y subhedrales, así como inclusiones de vidrio. La segunda fase predominante son los piroxenos augita (10%) y enstatita (5%), el cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales, con algunos bordes de reacción, inclusiones de óxidos de hierro y titanio, y en raras ocasiones poseen formas aciculares. La tercera fase más abundante son los óxidos de hierro y titanio, los cuales se presentan con formas subhedrales y anhedrales. Estos

cristales de óxidos se encuentran disgregados en la matriz o como inclusiones en algunos piroxenos y en bordes de reacción de anfíboles. La fase menos abundante es la hornblenda, la cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales en su mayoría, con tamaño de fenocristales y microfenocristales, con bordes de reacción rodeados por óxidos de hierro y titanio e inclusiones de estos. El arreglo mineralógico de esta roca le atribuye una textura porfídica y se clasifica como andesita de dos piroxenos (Foto 25).

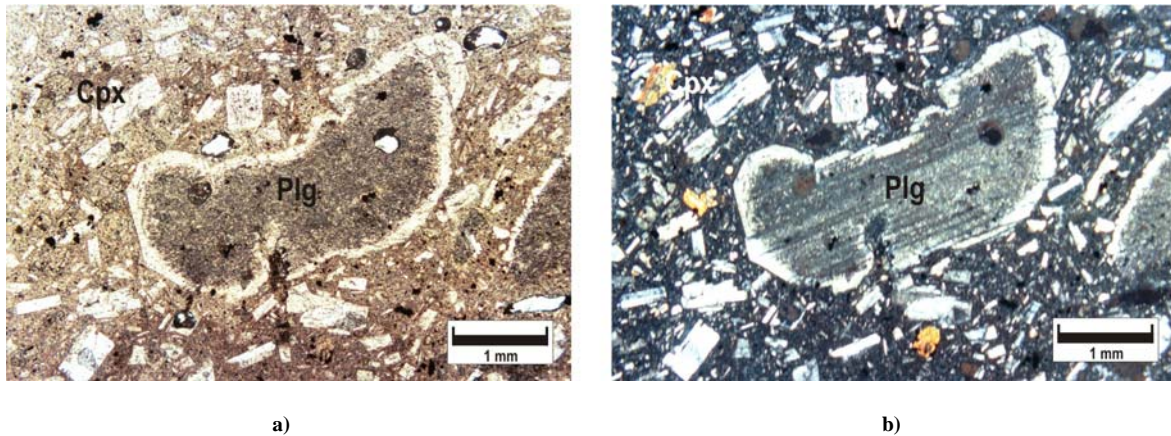


Foto 24. Fotomicrografía de fenocristal de plagioclasa con textura Sieve perteneciente a un depósito de avalancha presente en el Volcán Chichuj rodeado por una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

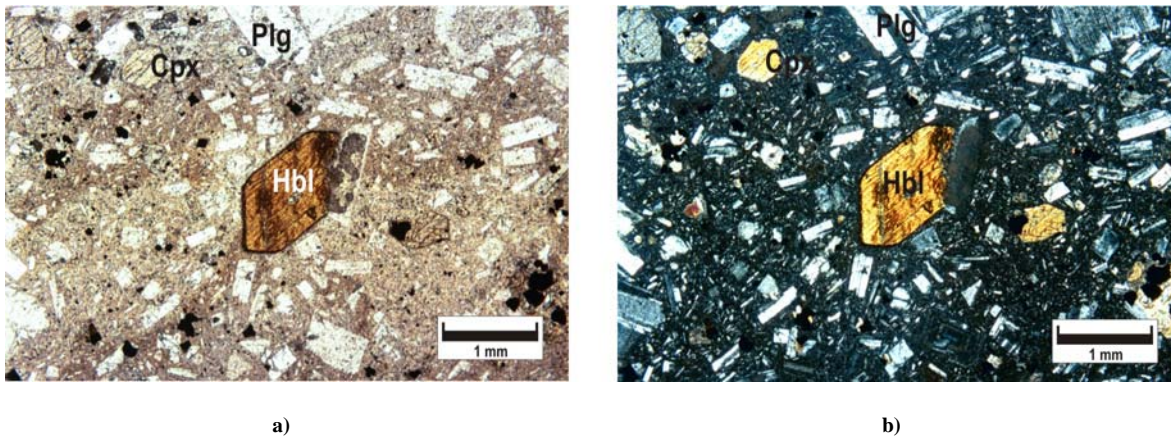


Foto 25. Fotomicrografía de microfenocristales de plagioclasa, augita y hornblenda rodeados por una matriz de vidrio y microlitos presentes en un depósito de avalancha generado por la actividad del Volcán Chichuj. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

4.4. Volcán Tacaná

El Volcán Tacaná se ubica en la parte central del CVT. La cima de este edificio se encuentra a una elevación aproximada de 4060 m.s.n.m donde existe un cráter abierto hacia el este cuyo diámetro aproximado es de 600 m. Dentro de este cráter presenta un domo de 80 m de altura formado por tres lóbulos. Este volcán se constituye principalmente por depósitos de flujos de bloques y cenizas, flujos de lava, depósitos de caída y depósitos de avalancha distribuidos en un área cuya forma geométrica es una media luna alineada en dirección NNO-SSE delimitada hacia el occidente por el edificio volcánico san Antonio, hacia el oriente por las estructuras de colapso del Volcán Chichuj y hacia el SE por las rocas del Cenozoico (Ver mapa geológico anexo).

Para el análisis de los depósitos asociados al Volcán Tacaná, se recolectaron muestras representativas de los diferentes depósitos volcánicos emitidos por la actividad de este volcán con el fin de realizar análisis químicos y físicos en roca total. La ubicación exacta de los sitios donde fueron recolectadas estas muestras se presenta en el anexo 1.

4.4.1. Clasificación química de roca total

Para el estudio de esta secuencia, fueron analizadas cuarenta y tres muestras representativas de los depósitos originados por la actividad del Volcán Tacaná. Las rocas recolectadas pertenecen a flujos de lava (13), flujos de bloques y cenizas (24), depósitos de caída (2), rocas del domo (4) y depósitos de flujos de pómez (2).

En el diagrama álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) vs. sílice (SiO_2) propuesto por Irvin y Baragan (1971), las rocas pertenecientes al Volcán Tacaná se ubican dentro del campo de las rocas subalcalinas con un contenido en sílice entre 64.80% y 56.25% p., presentando una variación de 8.54% p. (Figura 11. a).

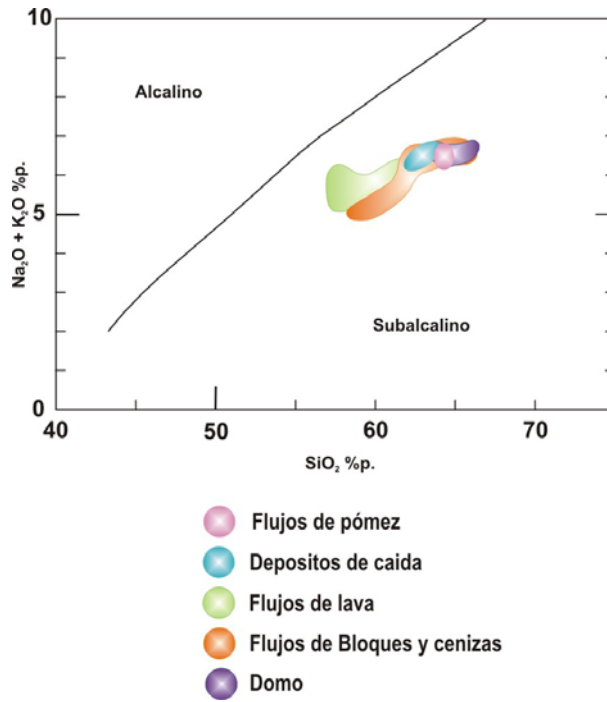


Figura 11. a) Diagrama Alcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) Vs. Sílice (SiO_2) propuesto por Irvin y Baragan (1971) para las rocas pertenecientes a los depósitos del asociados al Volcán Tacaná

En el diagrama triangular AFM álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – MgO – FeO propuesto por Irvin y Baragan (1971), las rocas pertenecientes a los depósitos asociados al Volcán Tacaná obedecen la alineación que caracteriza a la serie magmática calco-alcalina (Figura 11. b).

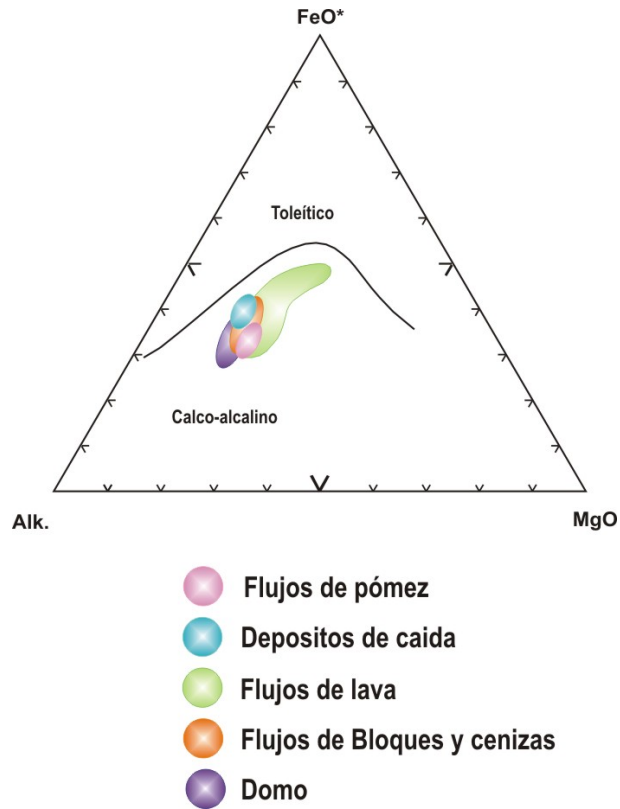


Figura 11. b) diagrama triangular AFM álcalis (Na₂O + K₂O) - MgO - FeO propuesto por Irvin y Baragan (1971)

En el diagrama K₂O vs. Sílice SiO₂ propuesto por Gill (1981), para la clasificación de rocas volcánicas en función del contenido de potasio, las muestras de flujos de lava se ubican en el campo de las rocas con contenido medio de potasio. Así mismo, las rocas que pertenecen a los flujos de bloques y cenizas se ubican en el campo de las rocas con contenido de potasio medio con una ligera alineación hacia el campo de las rocas con contenido de potasio alto. Las rocas del domo presentan un contenido de potasio que varía de medio a alto, en tanto que las rocas que pertenecen a los depósitos de caída presentan un contenido de potasio alto. Los depósitos de flujos de pómez poseen contenido de potasio de medio a alto (Figura 11. c).

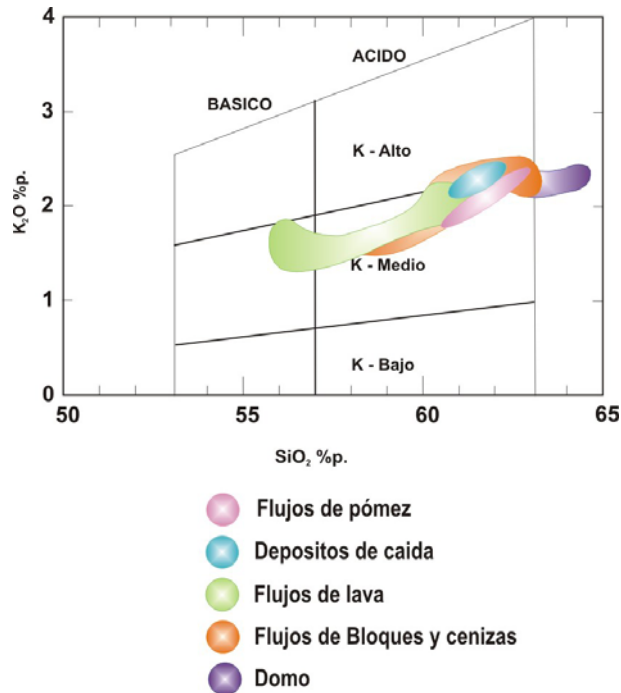


Figura 11. c) Diagrama K_2O Vs. Sílice SiO_2 propuesto por Gill (1981)

En el diagrama TAS (*Total Alcalis Silice*) propuesto por Le Bas *et al.* (1986), donde se representa entre el contenido de sílice SiO_2 y álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), las rocas que constituyen los depósitos de flujos de lava se ubican en el campo de las rocas intermedias clasificándolas como andesitas y andesitas basálticas. El contenido en sílice de los flujos de lava 56.25% a 62.93% con una variación de 6.68% p. Los flujos de bloques y cenizas se sitúan en el campo de las rocas intermedias y félsicas, clasificándose como andesitas y dacitas, respectivamente. El contenido en sílice que presentan estas rocas es de 58.37% a 63.37% con una variación de 4.99% p. Las rocas del domo presentan un contenido en sílice de 62.28% a 64.80% y tienen una variación del mismo de 2.52%, ubicándose en el campo de las rocas intermedias y félsicas clasificándose como andesitas y dacitas, respectivamente. En cuanto a las rocas que conforman los depósitos de caída, estas se ubican en su mayoría dentro del campo de las rocas félsicas e intermedias, siendo clasificadas como andesitas, respectivamente, las cuales presentan un contenido en sílice de 62.28% a 61.30% p. con una variación de 0.97% p. Finalmente, las rocas que pertenecen a los depósitos de flujos de pómez se encuentran dentro del campo de las rocas intermedias clasificándose como andesitas y presentando un contenido en sílice de 59.8% a 61.77% y con una variación de 1.97% p (Figura 11. d).

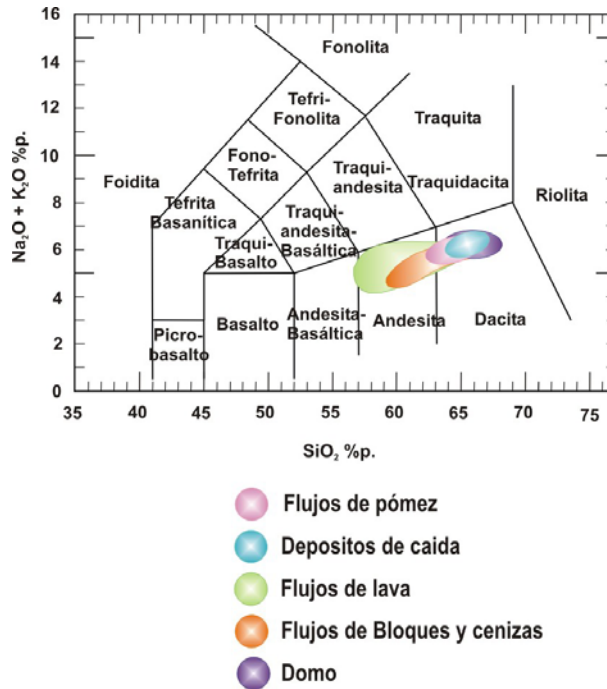


Figura 11. d) diagrama TAS (Total Alkalies Silice) propuesto por Le Bas *et al.* (1986).

4.4.2. Petrografía del Volcán Tacaná

Para realizar el análisis petrográfico de los depósitos generados por la actividad del Volcán Tacaná se llevó a cabo mediante la visita a diversas localidades en donde fueron descritos los depósitos tomando como referencia la estratigrafía de estos depósitos propuesta por García-Palomo *et al.* (2004). Posteriormente se efectuó el muestreo de rocas representativas de estos depósitos y se desarrolló la descripción megascópica y microscópica en muestra de mano con el objetivo de identificar las fases minerales que componen estas rocas y las texturas asociadas.

A continuación se presenta una descripción general en forma megascópica y microscópica de los depósitos asociados al Volcán Tacaná, para lo cual fueron seleccionadas un total de 21 muestras, entre las que se encuentran flujos de lava (5), flujos de bloques y cenizas (12), rocas del domo (1), líticos de caída (2) y flujos de pómez que sobreyacen a los depósitos del Volcán Chichuj (2). La descripción a detalle de cada muestra se presenta en el anexo 3.

Flujos de lava

Los flujos de lava del Volcán Tacaná constituyen los depósitos más antiguos de este edificio. Estos flujos afloran principalmente en el flanco oeste de este volcán.

Las rocas pertenecientes a los flujos de lava que afloran en la cima de este volcán fueron recolectadas en la zona del cráter denominada por los habitantes de este lugar como “Plan de las Ardillas”. En esta parte se encuentra expuesta una unidad de lavas de color gris, estructura fluidal y textura porfírica. Estas rocas se componen de una matriz vítrea que rodea algunos cristales de plagioclasa, piroxeno y hornblenda. Megascópicamente estas rocas se clasifican como andesitas.

Microscópicamente, estas rocas son hipocristalinas, con una matriz cuyo porcentaje aproximado es del 40% compuesta por vidrio y microlitos. En estas rocas la fase más abundante es la plagioclasa, la cual se presenta con formas euhedrales, subhedrales y anhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. Estos cristales de plagioclasa presentan bordes de reacción y disolución de otros cristales de plagioclasas de forma anhedral en su interior, textura Sieve (Foto 26), así como zoneamiento normal, inverso y oscilatorio. Los piroxenos augita e hiperstena presentes en esta roca representa la segunda fase más abundante (15%) y se presenta con formas euhedrales y subhedrales, variando en tamaño de fenocristales y microfenocristales. Estos cristales de piroxeno presentan inclusiones de óxidos de hierro y titanio y en ocasiones se pueden encontrar como inclusiones de microlitos en plagioclasas. El anfíbol de esta roca es la tercera fase más abundante (10%) presentándose con formas euhedrales y subhedrales, con un tamaño que varía de fenocristales a microfenocristales con abundantes bordes de reacción de color oscuro por la presencia de cristales de óxidos de hierro y cristales de piroxeno, así como inclusiones de óxidos de hierro y titanio en su interior. Los óxidos de hierro y titanio presentes en estas roca existen con formas euhedrales y anhedrales, con un tamaño que varía de microfenocristales a microlitos, concentrándose en los bordes de reacción de las principales fases minerales o inmersos en la matriz como la fase mineral menos abundante (<5).

La fase menos abundante en esta roca son los óxidos de hierro y titanio, que se presentan con formas subhedrales y anhedrales, con tamaños de microfenocristales y microlitos, y se encuentran como inclusiones, en bordes de reacción de anfíboles y piroxenos o bien, dispersos en la matriz. El arreglo mineralógico de esta roca le atribuye una textura porfírica y se clasifica como andesita de augita.

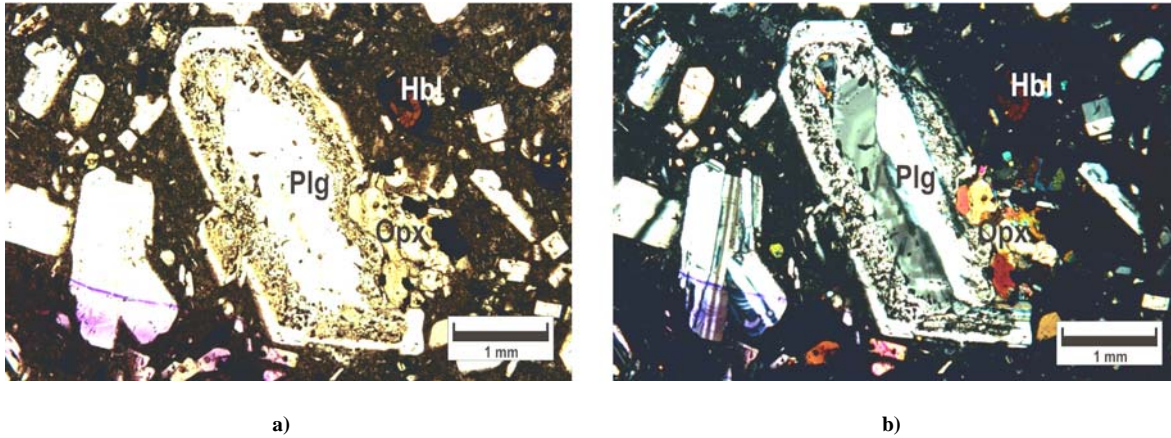


Foto 26. Fotomicrografía de fenocristales de plagioclasa, augita y hornblenda rodeados por una matriz de vidrio y microlitos presentes en un flujo de lava procedente del Volcán Tacaná. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

Flujos de Bloques y Cenizas.

Los depósitos de flujos de bloques y cenizas del Volcán Tacaná se encuentran ampliamente distribuidos alrededor de este volcán. En la actualidad, han sido reconocidas un total de cuatro unidades de estos depósitos, cuyas edades varían desde el Pleistoceno al Holoceno (García-Palomo *et al.*, 2004).

El estudio de estos depósitos se llevó a cabo mediante la recolección de muestras en los Poblados Muxbal, Chiquihuite, Santo Domingo, Monte Perla y en la Barranca El Peñasco, ubicada en la parte norte del Volcán Tacaná. A continuación se presenta una breve descripción de los depósitos visitados y de las muestras seleccionadas para el análisis físico de los mismos.

En el poblado Monte Perla, cerca de Talquián aflora la unidad más antigua de estos depósitos. Esta unidad tiene una edad aproximada de 42,000 años (Espíndola *et al.*, 1989) y de $38,630 \pm 5,100 / -3,100$ años (Espíndola y otros, 1993) y se encuentra expuesta en una pared cuya altura aproximada es de 25 m dispuesta en forma masiva, que presenta un color gris, compuesto por una matriz de arena de grano fino que sostiene líticos de color gris dispuestos de forma alineada con un diámetro máximo es de 1.30 m, textura porfídica, estructura compacta y densidad media a alta. Estos líticos están compuestos por una matriz vítrea en la que están inmersos cristales de plagioclasa, hornblenda y piroxeno. Megascópicamente esta roca se clasifica como andesita.

En el poblado Chiquihuite aflora una unidad de depósito de flujo de bloques y cenizas que sobreyace a un depósito de avalancha. Esta unidad se presenta en forma masiva y se compone de una matriz de ceniza fina que soporta clastos cuyo diámetro máximo es de 75 centímetros. Estos líticos son de color gris oscuro y se

componen de una matriz vítrea que rodea cristales de plagioclasa, anfíboles y piroxenos. Megascópicamente esta roca se clasifica como andesita.

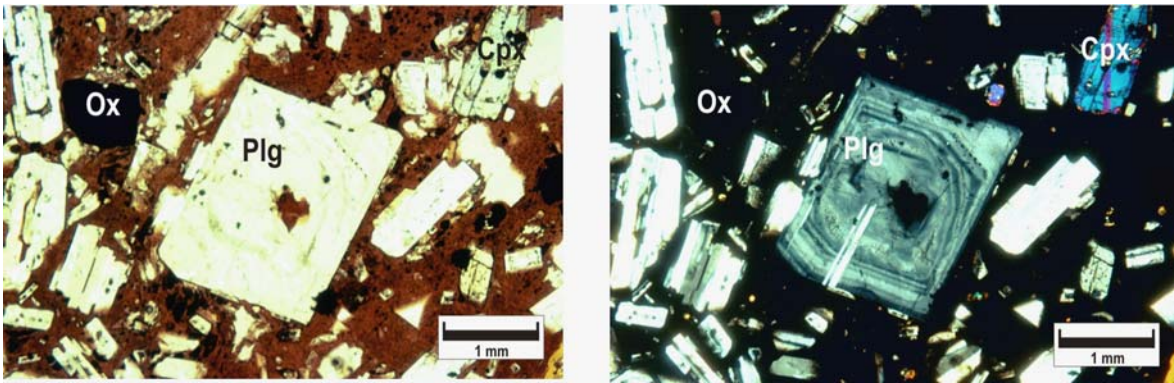
En la cima del Volcán Tacaná se encuentra expuesta una unidad de flujo de bloques y cenizas que posee un espesor aproximado de 15 m dispuesto en forma masiva, de color gris que altera a café, compuesto por una matriz de arena fina que soporta algunos líticos subredondeados y subangulosos de líticos con color gris. En algunas zonas del depósito estos clastos presentan una orientación preferencial, poseen estructura masiva, textura porfídica y se componen de una matriz vítrea que rodea cristales de plagioclasa con diámetro menor a 4 mm, anfíbol con diámetro menor a 4 mm y piroxeno con diámetro menor a 2 mm. Estas rocas fueron clasificadas como andesitas. Este depósito se encuentra desde la cima del Volcán Tacaná hasta el camino que conduce al poblado Xochimilco.

En el poblado Muxbal existe un depósito de flujo de bloques y cenizas que se encuentra expuesto en una pared vertical con una altura aproximada de 12 m. Este depósito se compone de una matriz de arena fina que soporta algunos líticos con orientación preferencial en algunas partes. Los líticos son de color gris y se constituyen de una matriz vítrea en la que se encuentran inmersos algunos cristales de plagioclasa, anfíbol y piroxeno. Megascópicamente estas rocas se clasifican como andesitas.

A nivel microscópico, las rocas que componen estos depósitos son hipocristalinas compuestas por una matriz cuyo porcentaje máximo es del 50% compuesta por vidrio y microlitos. La fase más abundante en estas rocas es la plagioclasa (20%), que se presenta en formas euhedrales, subhedrales y anhedrales; con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos, con bordes de disolución y presencia de otros cristales de plagioclasa en el interior. Los cristales de plagioclasa poseen también una textura Sieve y zoneamiento normal e inverso así como inclusiones de vidrio (Foto 27). La segunda fase más abundante en estas rocas es la hornblenda (15%), que se presenta en formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales, con bordes de reacción, algunos “fantasmas”, inclusiones de óxidos de hierro y titanio, y algunos microlitos de cristales de plagioclasa. Los piroxenos augita (10%) e hiperstena (5%), se presentan con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos, con bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y titanio (Foto 28). La fase menos abundante en estas rocas son los óxidos de hierro y titanio (5%), que se presentan con formas subhedrales y anhedrales, con tamaño de microfenocristales y microlitos. Estos óxidos a menudo se presentan dispersos en

la matriz o como inclusiones y anfíboles y piroxenos. El arreglo mineralógico de estas rocas les atribuye una textura porfírica y se clasifican como andesitas de augita e hiperstena.

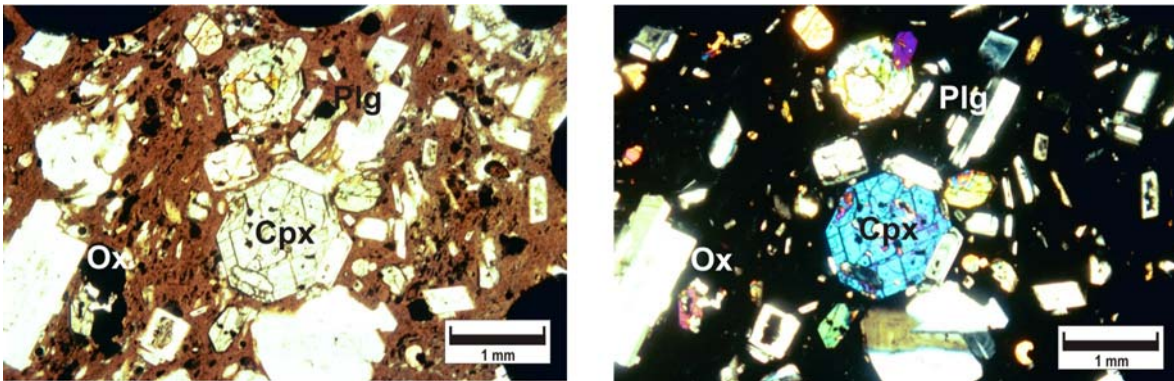
En algunas muestras, los cristales de plagioclasa presentan una orientación preferencial, así mismo, el vidrio y microlitos que conforman la matriz obedecen líneas de flujo. En otras muestras, se llegan a presentar aglomerados de cristales de plagioclasa, con anfíboles, piroxenos y óxidos de hierro y titanio, aunque en menor cantidad.



a)

b)

Foto 27. Fotomicrografía de fenocristales de plagioclasa y augita rodeados por una matriz de vidrio y microlitos presentes en un lítico perteneciente a un flujo de bloques y cenizas procedente del Volcán Tacaná. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.



a)

b)

Foto 28. Fotomicrografía de microfenocristales de augita rodeados por una matriz de vidrio y microlitos presentes en un lítico perteneciente a un flujo de bloques y cenizas procedente del Volcán Tacaná. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

Rocas del domo

Las rocas pertenecientes a esta estructura fueron muestreadas en la cima del Volcán Tacaná, donde aflora una unidad dispuesta en forma masiva y compacta de color gris, con textura porfírica, compuestas por una matriz vítrea en la que están inmersos cristales de plagioclasa, hornblenda y piroxeno. Estas rocas tienden a ser cristalinas y megascópicamente se clasifican como andesitas.

A nivel microscópico, estas rocas hipocristalinas, compuestas por una matriz cuyo porcentaje máximo es 40%, compuesta por vidrio y microlitos. La fase más abundante en estas rocas es la plagioclasa (30%), que se presenta en formas euhedrales, subhedrales y anhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. Estos cristales de plagioclasa poseen zoneamiento normal e inverso muy escaso, textura Sieve y celular, con bordes de disolución e inclusiones de vidrio y microlitos de plagioclasa (Foto 29). La segunda fase más abundante es la hornblenda, que se presenta con formas euhedrales, subhedrales y anhedrales; con tamaño de fenocristales y microfenocristales, con gran alteración, bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y titanio (Foto 30). La tercera fase más abundante son los piroxenos augita (10%) y enstatita (5%), que se presentan con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales, con bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y titanio. La fase menos abundante en estas rocas son los óxidos de hierro y titanio (5%), que se presentan con formas subhedrales y anhedrales, con tamaño de microfenocristales y microlitos. Estos óxidos a menudo se presentan dispersos en la matriz o como inclusiones y anfíboles y piroxenos. El arreglo mineralógico de estas rocas les atribuye una textura porfídica y se clasifican como andesitas de hornblenda.

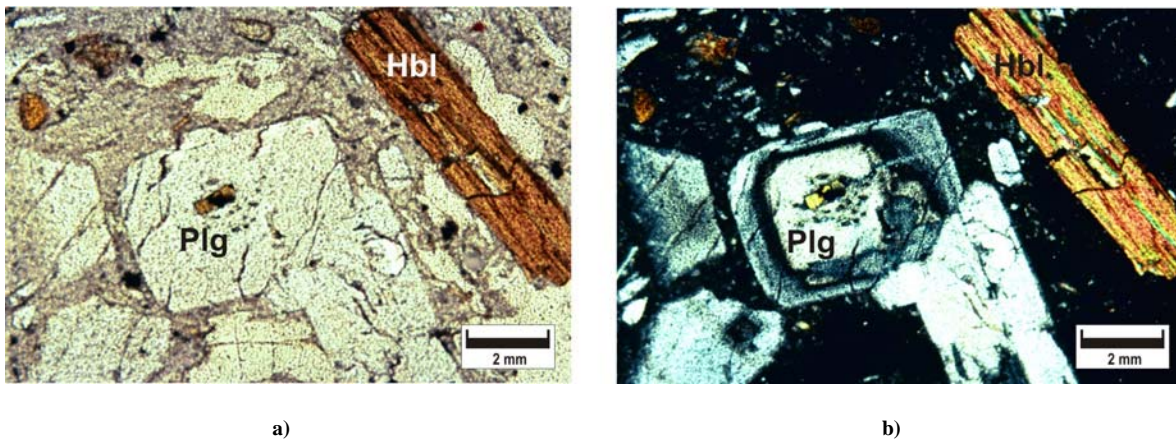


Foto 29. Fotomicrografía de fenocristales de plagioclasa con zoneamiento inverso de hornblenda rodeados por una matriz de vidrio y microlitos presentes en el domo del Volcán Tacaná. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

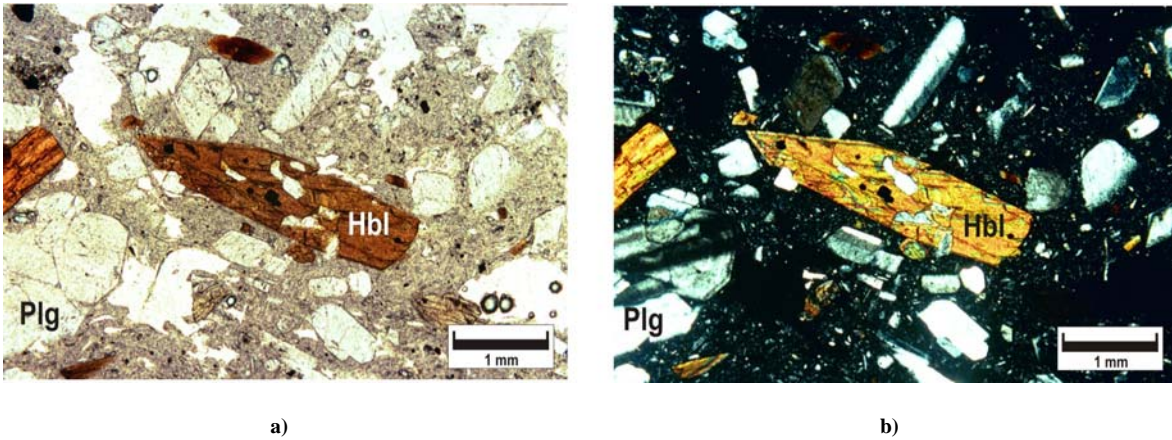


Foto 30. Fotomicrografía de fenocristal de hornblenda con inclusiones de microfenocristales y microlitos de plagioclasa presente en el domo del Volcán Tacaná. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

Depósitos de caída

Los depósitos de caída pertenecientes al Volcán Tacaná fueron analizados mediante el muestreo de líticos de caída muestreados en las laderas de la parte E-NE del Volcán Tacaná donde se encuentra expuesta secuencia de depósitos, entre los cuales se tienen tres depósitos de caída intercalados con flujos de ceniza, algunos fragmentos de pómez y líticos densos inmersos en una matriz de ceniza, con laminación, estratificación cruzada (*surges*). Los líticos juveniles provienen de la última actividad del Volcán Tacaná y están compuestos por plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno, anfíbol y óxidos de Fe-Ti inmersos en una matriz vítrea.

A nivel microscópico estas rocas son hipocristalinas y se componen de una matriz de vidrio y microlitos cuyo porcentaje máximo es del 40%. Esta matriz se encuentra rodeando cristales de plagioclasa que representan la fase cristalina más abundante (30%). Estos cristales de plagioclasa son de forma euhedral, subhedral y anhedral, tiene tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos y poseen textura Sieve y zoneamiento normal e inverso, con algunas maclas de penetración. La hornblenda es la segunda fase más abundante en estas rocas (15%) y se presenta con formas euhedrales y subhedrales, tamaño de fenocristales y microfenocristales, con algunos bordes de reacción en los que se concentran algunos cristales de óxidos de hierro y titanio (Foto 30). Los cristales de piroxeno existentes en esta roca representan la tercera fase más abundante de esta roca (10%) y se presentan con formas subhedrales y anhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales, teniendo en su interior inclusiones de óxidos de hierro y titanio. Los óxidos de hierro y titanio son la fase menos abundante en estas rocas y tienen formas subhedrales y

anhedrales con tamaño de microfenocristales y microlitos. La textura de esta roca es porfídica y se clasifica como andesita de hornblenda.

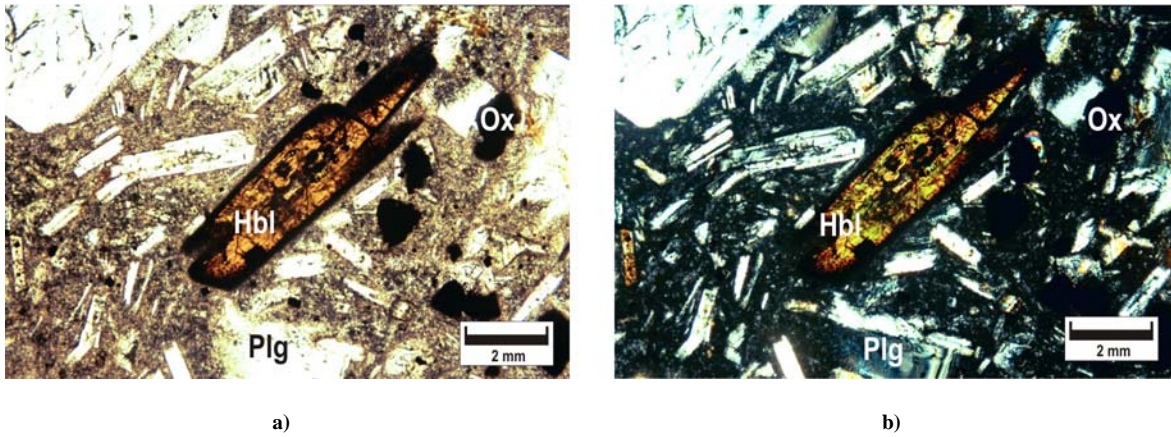


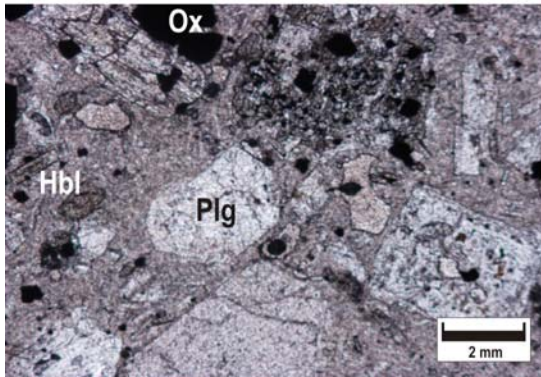
Foto 31. Fotomicrografía de fenocristales y microfenocristales de plagioclasa con zoneamiento normal y fenocristal de hornblenda con bordes de reacción inclusiones de microfenocristales y microlitos de plagioclasa presentes en un lítico perteneciente a un depósito de caída procedente del Volcán Tacaná. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

Flujos de Pómez

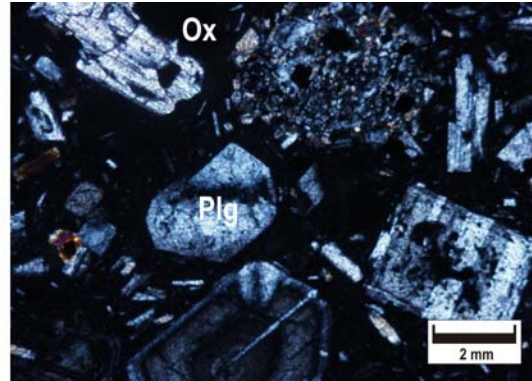
Las muestras correspondientes a los depósitos de flujos de pómez pertenecientes al Volcán Tacaná fueron recolectadas en la parte E-NE del Volcán Chichuj, donde se encuentra expuesta una unidad de flujo de pómez de color blanco que altera a amarillo, poco vesiculada, con una matriz vítrea en la que están inmersos cristales de plagioclasa de hasta 4 mm de diámetro, anfíboles con un diámetro máximo de 5 mm y piroxenos con diámetro de hasta 5 mm. El espesor aproximado de 6 m. La matriz de esta pómez sostiene también numerosos líticos de color gris, con estructura compacta, densidad media, textura porfídica, compuestos por una matriz vítrea que rodea cristales de plagioclasa con diámetro de hasta 4 mm y anfíboles de hasta 1 cm de diámetro. Esta roca se clasifica como andesita.

Los líticos grises de este depósito son rocas hipocristalinas. Los cristales se encuentran rodeados por una matriz constituida por vidrio y microlitos con un porcentaje del 50%. La fase cristalina que predomina es la plagioclasa (30%), la cual se presenta de forma subhedral y anhedral con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. Estos cristales presentan zoneamiento inverso en menor cantidad, intercrecimiento escaso e inclusiones de vidrio en dimensiones pequeñas. La siguiente fase más abundante en esta roca es el la hornblenda (15%), la cual se presentan en forma subhedral y anhedral con tamaño de fenocristales y microfenocristales. Estos cristales poseen inclusiones de óxidos de hierro y titanio y bordes

de reacción. La fase que menos predomina en esta roca son los óxidos de hierro y titanio (<5%), los cuales tienen formas subhaciales y anhaciales (Foto 31). El arreglo mineralógico de esta roca le asigna una textura porfírica. Esta roca se clasificó como andesita de hornblenda.



a)



b)

Foto 31. Fotomicrografía de un lítico perteneciente a un flujo de pómez procedente del Volcán Tacaná donde se observan fenocristales y microfeno cristales de plagioclasa con zoneamiento normal y textura celular. En esta foto se pueden observar algunos microfeno cristales de hornblenda, augita y óxidos de Fe-Ti disgregados en una matriz de vidrio y microlitos. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

4.5. Domo Las Ardillas

Esta estructura se localiza entre los volcanes Tacaná y San Antonio, y se encuentra constituida por un domo central con dos flujos de lavas que abarcan la parte noroeste del Volcán Tacaná y la parte sureste del Volcán San Antonio (Ver mapa geológico anexo).

4.5.1. Clasificación química de roca total

Para el estudio de esta estructura fueron seleccionadas cuatro muestras correspondientes a los flujos de lava emitidos durante la actividad de este domo. Los valores obtenidos de estos porcentajes fueron recalculados bajo condiciones anhidras (Anexo 2) con la finalidad de determinar la clasificación química de las muestras mediante los diagramas de discriminación. La ubicación exacta de los sitios donde fueron recolectadas estas muestras se presenta en el anexo 1.

En el diagrama álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) vs. sílice (SiO_2) propuesto por Irvin y Baragan (1971), las rocas pertenecientes a los flujos de lava emitidos por este domo se ubican en el campo de las rocas subalcalinas con un contenido de sílice de 60.33% a 64.99% p., con una variación de 4.35% p (Figura 12. a).

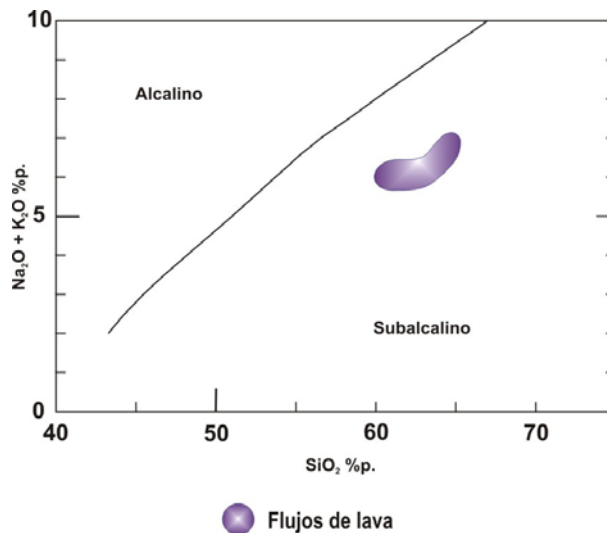


Figura 12. a) Diagrama Álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) Vs. Sílice (SiO_2) propuesto por Irvin y Baragan (1971) para las rocas pertenecientes a la secuencia del Domo Las Ardillas

En el diagrama triangular AFM álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – MgO – FeO propuesto por Irvin y Baragan (1971), las rocas pertenecientes a estructura se ubican en el campo de las rocas calco-álcalinas (Figura 12. b),

mientras que en el diagrama K_2O vs. Sílice SiO_2 propuesto por Gill (1981), para la clasificación de rocas volcánicas en función del contenido de potasio, las rocas que constituyen los flujos de lava presentan contenido de potasio medio a alto y se ubican dentro del campo de las rocas de composición félsica (Figura 12. c).

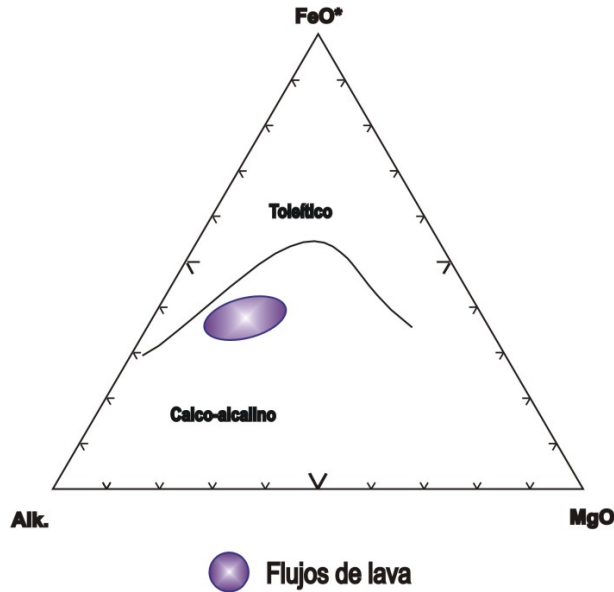


Figura 12. b) diagrama triangular AFM álcalis ($Na_2O + K_2O$) – $MgO - FeO$ propuesto por Irvin y Baragan (1971)

En el diagrama TAS (*Total álcalis diagram*) propuesto por Le Bas *et al.* (1986), donde se representa entre el contenido de sílice SiO_2 y álcalis ($Na_2O + K_2O$), estas rocas se ubican en el campo de las rocas intermedias y félsicas, siendo clasificadas como andesitas y dacitas. Estas rocas poseen un contenido en sílice de 60.63% a 64.99% p., con una variación de 4.35% p (Figura 12. d).

4.5.2. Petrografía del Domo Las Ardillas

Flujos de lava

Los flujos de lava emitidos por el Domo las Ardillas afloran principalmente en las inmediaciones del poblado Agua Caliente, donde se encuentra expuesta una unidad de rocas en forma de risco, de color gris, con bandeamiento, textura porfírica, compuesta por una matriz vítrea en la que se encuentran inmersos cristales de plagioclasa, piroxeno y hornblenda. Megascópicamente, esta roca se clasifica como andesita.

A nivel microscópico estas rocas son hipocristalinas, compuestas por una matriz de vidrio y microlitos cuyo porcentaje máximo es del 50%. La fase mineralógica más abundante es la plagioclasa (20%), la cual se presenta con formas euhedrales, subhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y en menor cantidad como microlitos, con textura zoneamiento normal e inverso (Foto 32), celular y Sieve (Foto 33). La segunda fase más abundante son los piroxenos augita (10%) e hiperstena (5%), los cuales se presentan con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales y microfenocristales, con bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y titanio en su interior. La tercera fase más abundante es la hornblenda (10%), la cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales en la mayor parte de los casos. Estos cristales de hornblenda presentan numerosos bordes de reacción que se acompañan de óxidos de hierro y titanio, así como inclusiones de los mismos (Foto 34). La fase menos predominante son los óxidos de hierro y titanio (5%), los cuales se presentan con formas subhedrales y anhedrales, con tamaño de microfenocristales y microlitos. Estos óxidos se encuentran aislados, como inclusiones en minerales o bien, en los bordes de reacción de cristales de hornblenda y piroxeno (Foto 34). El arreglo mineralógico de esta roca le atribuye una textura porfírica y se clasifica como Andesita de Augita. En algunos casos, la cantidad de óxidos de hierro y titanio supera a la de la hornblenda, llegando a presentarse en un porcentaje del 10% cuando la hornblenda posee gran alteración en su interior.

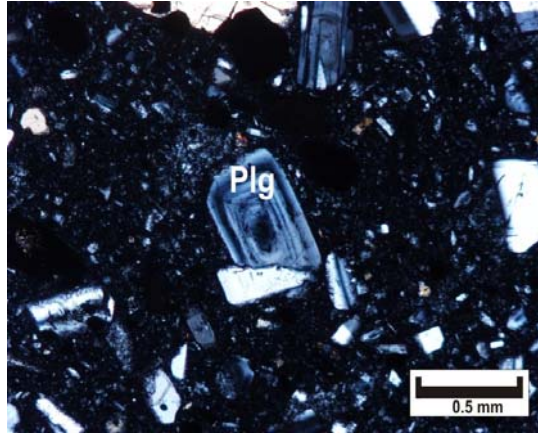
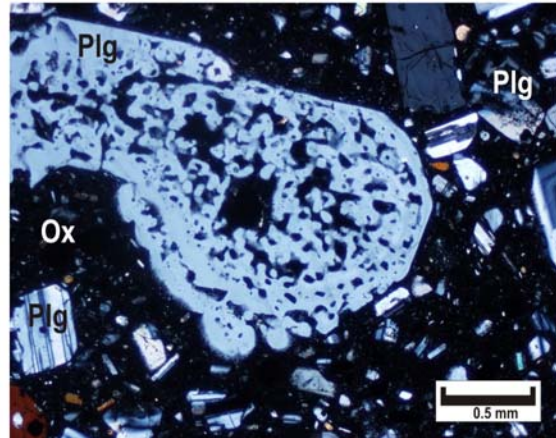
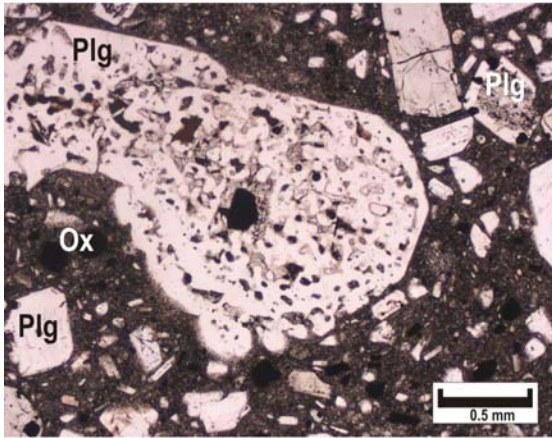


Foto32. Fotomicrografía de microfenocrystal de plagioclasa con zoneamiento normal presente en un flujo de lava procedente del Domo Las Ardillas. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 2.5X.



a)

b)

Foto 33. Fotomicrografía de microfenocrystal de plagioclasa con textura celular donde se observan inclusiones de vidrio y microlitos de óxidos de Fe-Ti presente en un flujo de lava procedente del Domo Las Ardillas. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 2.5X.

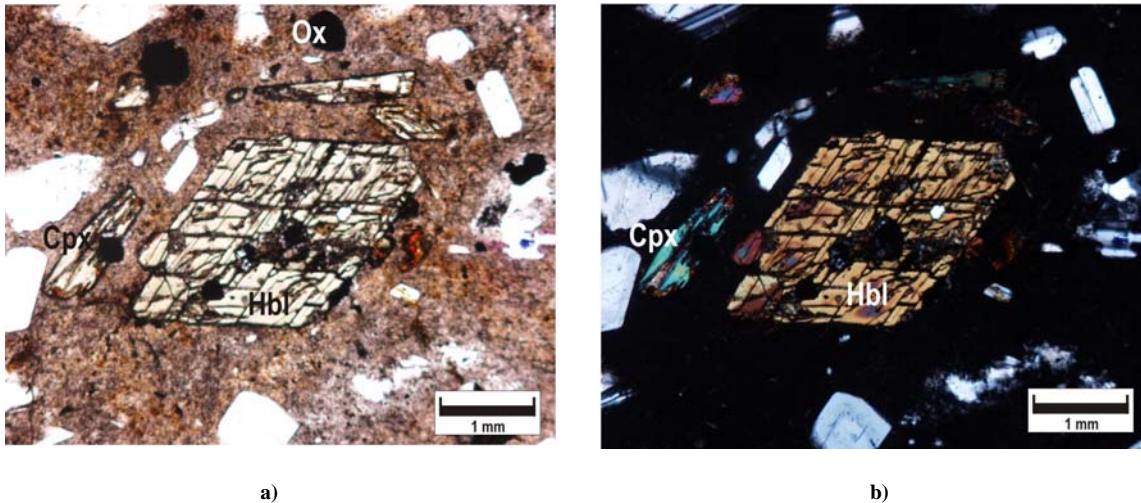


Foto 34. Fotomicrografía de fenocristal de hornblenda donde se observan inclusiones de óxidos de Fe-Ti con tamaño de microlitos presente en un flujo de lava procedente del Domo Las Ardillas. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

4.6. Volcán San Antonio

El edificio volcánico San Antonio es la estructura más joven del Complejo Volcánico Tacaná. Este volcán se ubica en la parte suroeste del Domo las Ardillas a una altura de 3700 m.s.n.m., donde presenta un domo central al que se asocian algunos flujos de lava de dimensiones menores. Además de estos flujos, el Volcán San Antonio se constituye por depósitos de flujos de bloques y cenizas y depósitos de avalancha (Ver mapa geológico anexo).

4.6.1. Clasificación química de roca total

Para el análisis químico de las rocas pertenecientes a los depósitos del Volcán San Antonio fueron seleccionadas un total de veintisiete muestras de roca sana representativas de cada depósito, entre las que se encuentran flujos de lava (7), rocas del domo (4) y líticos juveniles de depósitos de flujos de bloques y cenizas (16). La ubicación exacta de los sitios donde fueron recolectadas estas muestras se presenta en el anexo 1.

En el diagrama álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) vs. sílice (SiO_2) propuesto por Irvin y Baragan (1971), las rocas de los depósitos asociados al Volcán San Antonio se ubican en su totalidad dentro del campo de las rocas subalcalinas (Figura 13. a). Por otra parte, en el diagrama triangular AFM álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – MgO – FeO propuesto por Irvin y Baragan (1971), estas rocas se ubican en su totalidad dentro del campo de la serie

magmática calco-alcalina y con ligeras variaciones en el límite con el campo de las rocas de la serie toleítica (Figura 13. b). El contenido en sílice de estas rocas es de 52.93% 64.79% p con una variación de 11.86%.

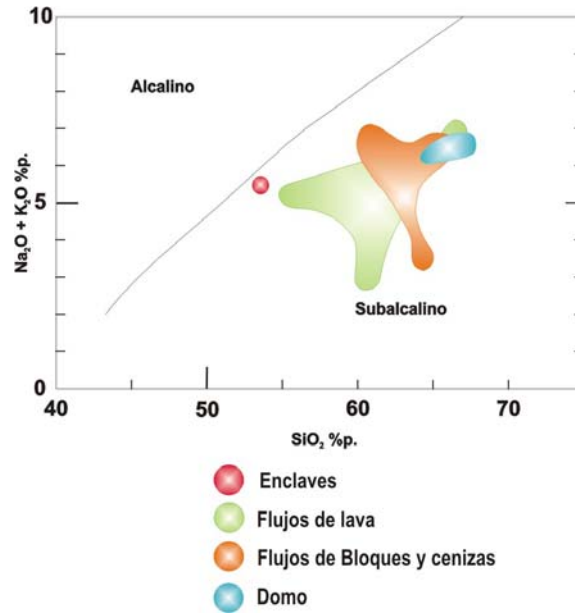


Figura 13. a) Diagrama Álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) Vs. Sílice (SiO_2) propuesto por Irvin y Baragan (1971) para las rocas pertenecientes a los depósitos generados por la actividad del Volcán San Antonio

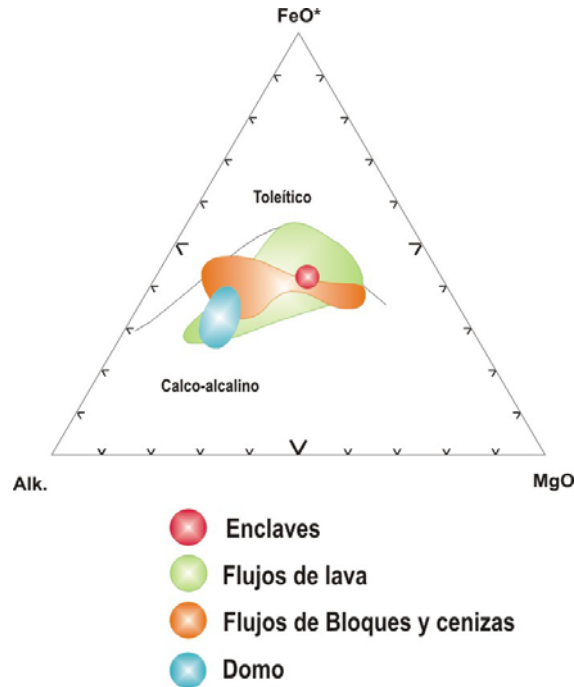


Figura 13. b) diagrama triangular AFM álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – MgO – FeO propuesto por Irvin y Baragan (1971)

En el diagrama K_2O vs. SiO_2 propuesto por Gill (1981), para la clasificación de rocas volcánicas en función del contenido de potasio, las rocas pertenecientes a los depósitos flujos de bloques y cenizas presentan un contenido de potasio que varía de medio a alto. Por otra parte las rocas pertenecientes a los flujos de lava presentan un contenido de potasio medio al igual que las rocas del domo. Los enclaves presentes en estos flujos tienen un contenido de potasio medio (Figura 13. c).

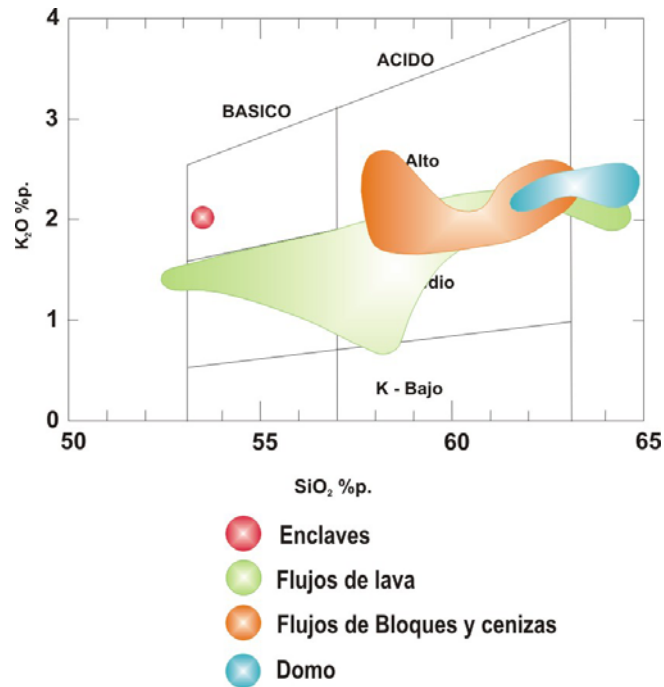


Figura 13. c) Diagrama K_2O Vs. Sílice SiO_2 propuesto por Gill (1981)

En el diagrama TAS (*Total Alcalis Silice*) propuesto por Le Bas *et al.* (1986), las rocas que constituyen los depósitos de flujos de bloques y cenizas pertenecen al grupo de las rocas intermedias y se ubican en el campo de las andesitas (Figura 13. d). El contenido en sílice de estas rocas es de 58.3% a 63.38% a p con una variación de 5.08% p. Los flujos de lava del Volcán San Antonio se pertenecen al dominio de las rocas intermedias y félsicas ubicándose en el campo de las andesitas y dacitas, respectivamente con un contenido en sílice de 57.67% a 64.57% p. con una variación de 6.8% p. Los enclaves presentes en estas rocas pertenecen al grupo de las rocas intermedias y se ubican en el campo de las andesitas basálticas con un contenido de 52.93% p en sílice.

Finalmente, las rocas pertenecientes al domo se ubican en su mayoría dentro del campo de las rocas félsicas siendo clasificadas como dacitas. El contenido en sílice de estas rocas es de 62.18% a 64.79% p., con una variación de 2.61% p.

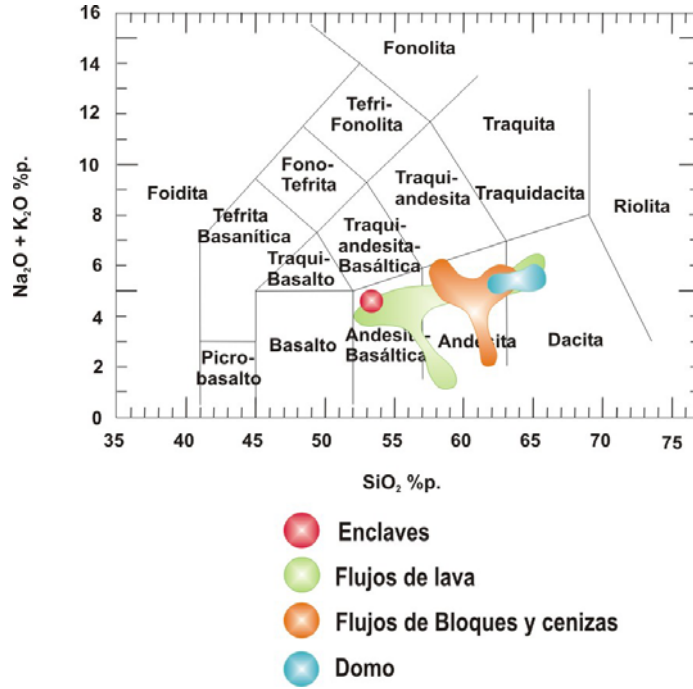


Figura 13. d) diagrama TAS (*Total Alkalies Silice*) propuesto por Le Bas y colaboradores (1986).

4.6.2. Petrografía del Volcán San Antonio

Flujos de lava

Los flujos de lava emitidos por el Volcán San Antonio afloran principalmente en las inmediaciones del poblado Santa María La Vega, donde se encuentra expuesta una secuencia de flujos de lava de color gris oscuro a medio, textura porfírica, estructura fluidal, densidad media a alta y constituida por una matriz vítrea en la cual se encuentran inmersos cristales de plagioclasa y gran cantidad y anfíboles.

A nivel microscópico estas rocas son hipocristalinas, con una matriz cuyo porcentaje es del 40% y se encuentra compuesta por vidrio y microlitos. La plagioclasa presente en estas rocas es la fase predominante (30%) y se presenta en formas euhedrales y subhedrales y tamaño de fenocristales y microfenocristales. Estos cristales presentan en gran abundancia zoneamiento (Foto 35) normal y textura Sieve y celular con inclusiones de vidrio. Los anfíboles de esta roca representan la segunda fase más abundante (15%), presentándose en forma subhedral y anhedral con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos (Foto 36). En esta roca la tercera fase más abundante es el piroxeno (5%) del tipo augita, la cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales, con bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y titanio, así como vidrio (Foto 37). Los óxidos de hierro y titanio de esta roca se pueden encontrar concentrados en bordes de reacción de cristales, como inclusiones en cristales de anfíboles y piroxenos o dispersos en la matriz. Esta roca presenta una textura porfídica y se clasifica como andesita de hornblenda.

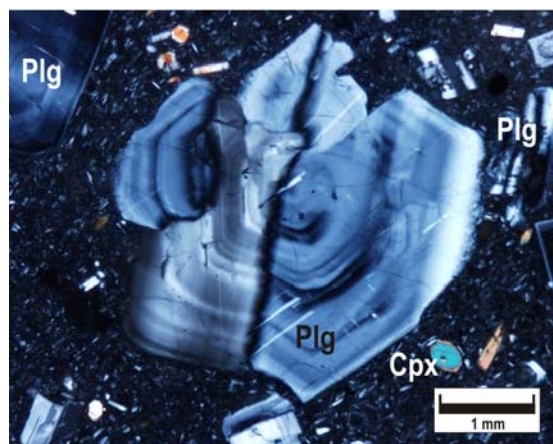
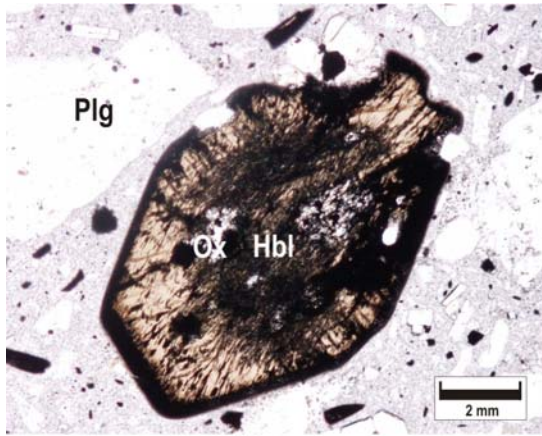
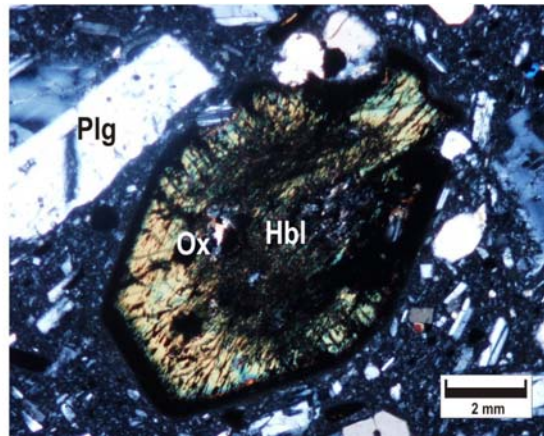


Foto 35. Fotomicrografía de fenocristal de plagioclasa con zoneamiento inverso presente en un flujo de lava procedente del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

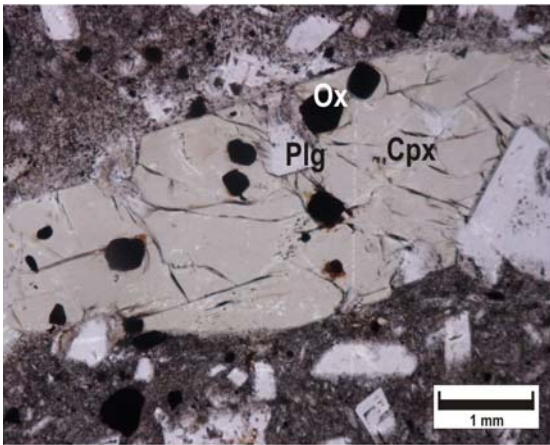


a)

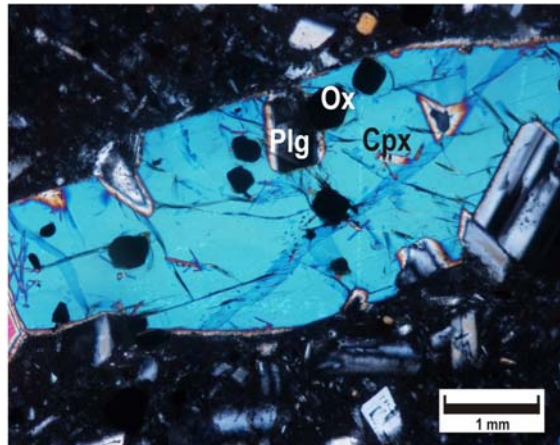


b)

Foto 36. Fotomicrografía de fenocristal de hornblenda donde se observan bordes de reacción y reabsorción con inclusiones de óxidos de Fe-Ti con tamaño de microlitos presente en un flujo de lava procedente del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.



a)



b)

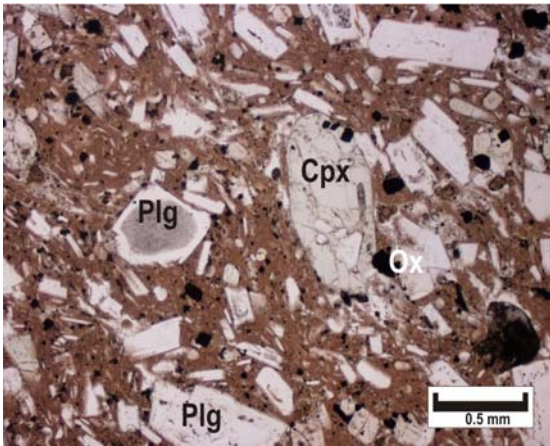
Foto 37. Fotomicrografía de fenocristal de augita inclusiones de óxidos de Fe-Ti y microfenocristales de plagioclasa presente en un flujo de lava procedente del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

Flujos de Bloques y cenizas.

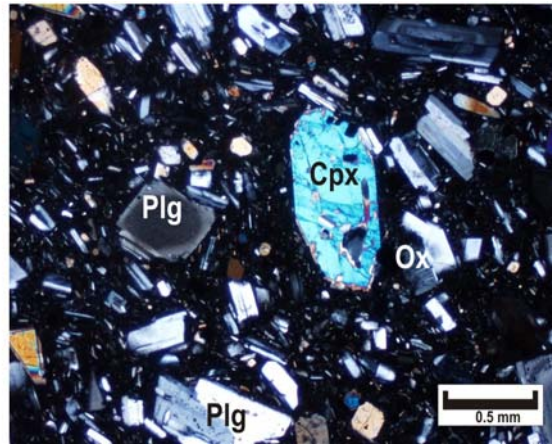
Los depósitos de flujos piroclásticos emitidos por el Volcán San Antonio afloran principalmente en el flanco sur de este volcán. En el poblado Mixcún aflora una secuencia de flujos de bloques y cenizas de color gris claro, con estructura caótica, constituido por una matriz de arena fina a media que sostiene líticos subangulosos con diámetro máximo de 1 metro, los cuales tienen una estructura compacta, densidad media y textura porfírica, Estos líticos son de color gris claro y se componen de una matriz vítrea que rodea algunos cristales de plagioclasa, anfíbol y piroxeno. Estas rocas se clasifican megascópicamente como andesitas.

Sobre el camino que conduce al poblado Chespal se encuentra expuesta una pared de aproximadamente 17 m donde aflora una unidad de flujo de bloques y cenizas con gradación inversa litificado de color gris constituido por una matriz de arena fina a media que sostiene líticos cuyo diámetro máximo es de 60 centímetro. Estos líticos son de color gris oscuro, densidad media y textura porfídica. Estos líticos son de color gris oscuro y se componen de una matriz vítrea que rodea cristales de plagioclasa, anfíbol y piroxeno. Estas rocas se clasifican como andesitas.

A nivel microscópico los líticos de color gris rocas son hipocristalinos, con una matriz compuesta por vidrio y microlitos cuyo porcentaje máximo es del 40%. La fase predominante de estas rocas es la plagioclasa (30%), la cual se presenta en forma euhedral y subhedral con tamaño de microfenocristales y microlitos. La mayoría de estos cristales poseen textura Sieve (Foto 38), así como zoneamiento normal, inverso y oscilatorio en menor cantidad así como inclusiones de vidrio. La segunda fase predominante es hornblenda (15%), la cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos. Estos cristales presentan bordes de reacción en los que se rodean de óxidos de hierro y titanio, así como algunas inclusiones de los mismos. La tercera fase en abundancia es el piroxeno (5%) del tipo augita, la cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales, presentando bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y titanio, así como vidrio (Foto 39). La fase menos predominante en estas rocas son los óxidos de hierro y titanio, los cuales se presentan en su mayoría como inclusiones de los piroxenos y anfíboles. La textura de esta roca es porfírica y se clasificó como andesita de hornblenda.

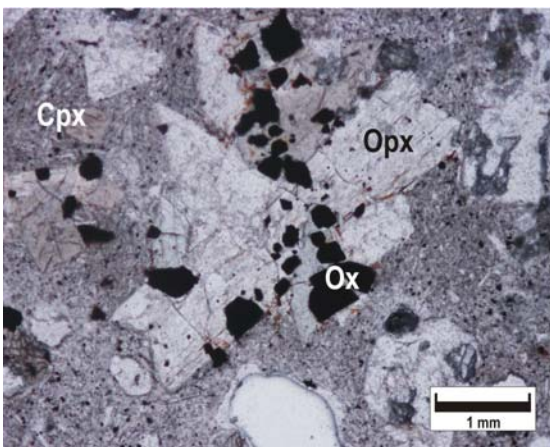


a)

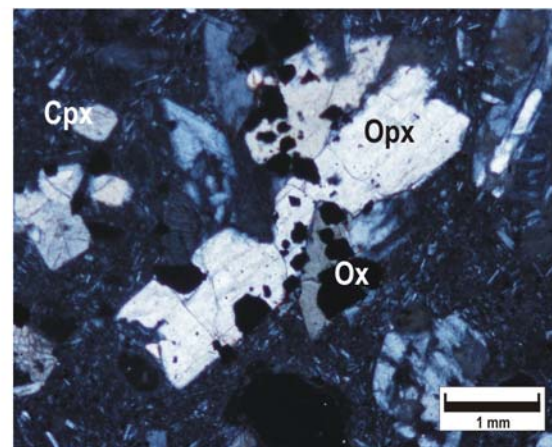


b)

Foto 38. Fotomicrografía de microfenocristales de augita, plagioclasa con textura Sieve y óxidos de Fe-Ti en un lítico perteneciente a un flujo de bloques y cenizas procedente del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 2.5X.



a)



b)

Foto 39. Fotomicrografía de fenocristales de ortopiroxeno con inclusiones de óxidos de Fe-Ti en un lítico perteneciente a un flujo de bloques y cenizas procedente del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

Enclaves

Los enclaves máficos se encuentran presentes en los líticos pertenecientes a los flujos de bloques y cenizas. Estas rocas poseen una forma elongada y elipsoidal, textura afanítica, tienen color gris oscuro, poseen un diámetro máximo de 4 centímetros, presentan bordes de reacción en contacto con la roca encajonante.

A nivel microscópico estas rocas son hipocristalinas, conformados por intersticios ocupados por vidrio (50%) entre las distintas fases minerales (Foto 40). Las plagioclasas de esta roca representan la fase mineral más abundante (35%) muestran formas euhedrales con hábito tabular encontrándose alineadas en forma paralela o cruzadas entre sí, con texturas Sieve y celular.

En estas rocas, la hornblenda es la segunda fase que más abunda presentándose con formas euhedrales y subhedrales, con un tamaño que varía de microfenocristales a microlitos, los cuales tienen en su interior inclusiones de vidrio, así como algunos bordes de reacción y de reabsorción. La fase que menos abunda en esta roca es el piroxeno del tipo de la augita (<2%), el cual se presenta con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de microfenocristales y fenocristales en menor cantidad (Foto 41). En esta roca se puede encontrar también olivino en pequeñas cantidades (<1%), el cual se presenta con formas anhedrales, con tamaño de microfenocristales y se presenta con numerosas inclusiones de óxidos de hierro y titanio. Esta roca tiene una textura intersertal y se clasifica como andesita de hornblenda.

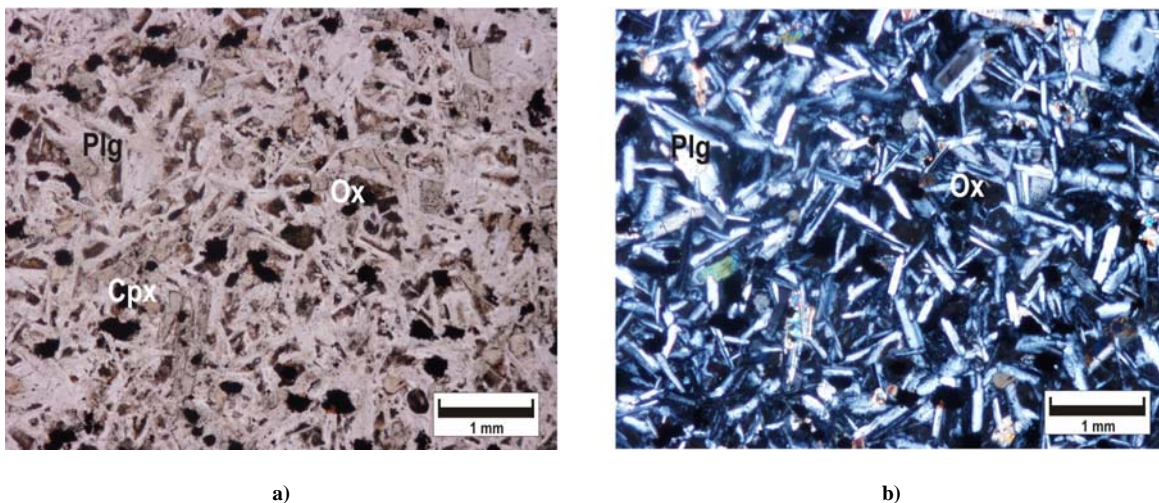


Foto 40. Fotomicrografía de enclave máfico con textura intersticial presente en un flujo de lava procedente del Volcán San Antonio donde se observan microfenocristales de plagioclasa, augita y óxidos de Fe-Ti. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

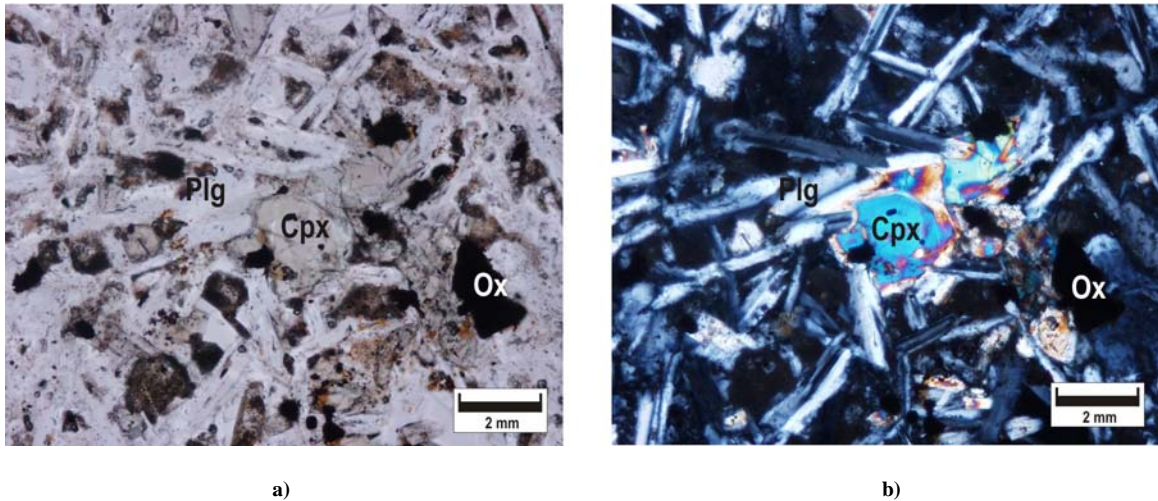


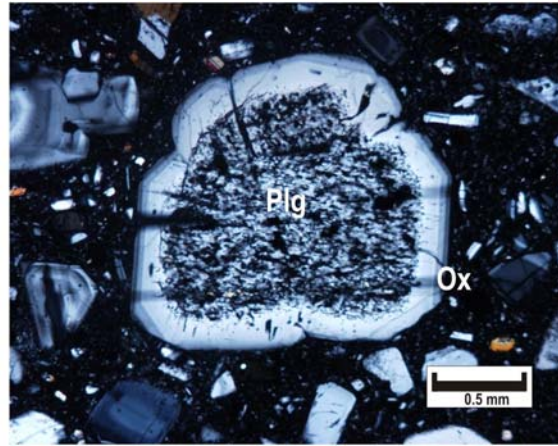
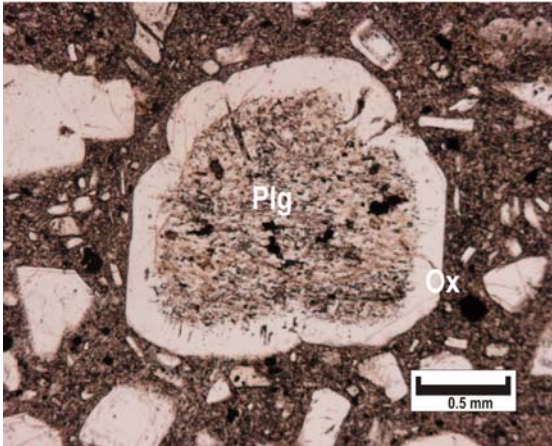
Foto 41. Fotomicrografía de microfenocristales de augita, plagioclasa y óxidos de Fe-Ti en un enclave máfico presente en un flujo de bloques y cenizas procedente del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 10X.

Rocas del domo

Las rocas del domo presente en el Volcán San Antonio fueron recolectadas en la cima de este edificio volcánico. Estas rocas se presentan una textura porfírica, estructura masiva, con color gris, compuestas por una matriz vítrea en la que se encuentran inmersos cristales de plagioclasa de hasta 4 mm de diámetro, hornblenda y piroxeno.

Estas rocas son hipocristalinas y se componen de con una matriz compuesta por vidrio y microlitos cuyo porcentaje máximo es del 50%. La plagioclasa de estas rocas es la fase más abundante (30%) y se presenta con formas euhedrales y subhedrales, con un tamaño que varía de fenocristales a microfenocristales y microlitos. Estos cristales presentan numerosas inclusiones de vidrio así como texturas Sieve y celular (Foto 42), zoneamiento normal e inverso (Foto 43). La hornblenda de esta roca es la segunda fase más abundante y tiene formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos en un porcentaje máximo del 15% (Foto 44). La mayoría de los fenocristales de hornblenda poseen inclusiones de vidrio y minerales, así como bordes de reacción formados por óxidos de hierro y titanio (Foto 45). La tercera fase más abundante en estas rocas son los piroxenos del tipo augita (5%) y enstatita (5%). Estos cristales se presentan con formas euhedrales y subhedrales, con tamaño de fenocristales, microfenocristales y microlitos y se presentan también como inclusiones en cristales de plagioclasa. Los óxidos de hierro y titanio son la fase que menos predomina y se pueden encontrar con formas subhedrales y anhedrales, como inclusiones en

cristales de anfíbol y piroxeno o dispersos en la matriz de esta roca. Esta roca tiene una textura porfírica y se clasifica como andesita de hornblenda.



a)

b)

Foto 42. Fotomicrografía de microfenocristal de plagioclasa con textura Sieve presente en el domo del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 2.5X.

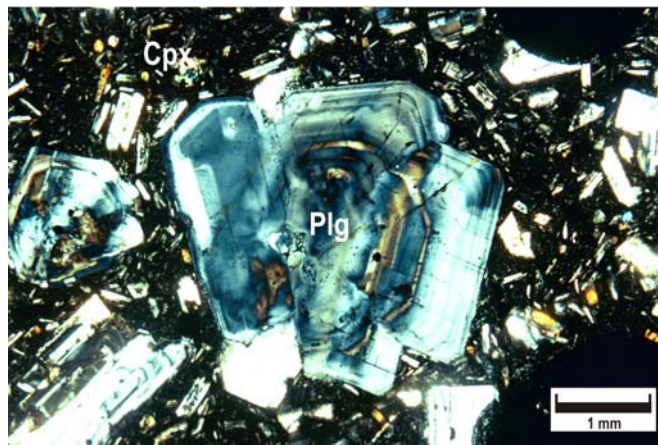


Foto 43. Fotomicrografía de fenocristal de plagioclasa con zoneamiento inverso presente en el domo del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

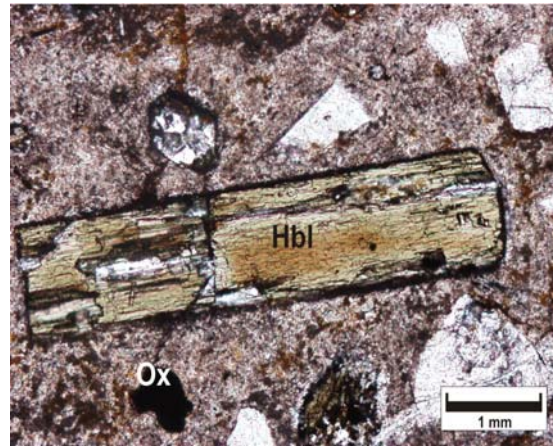
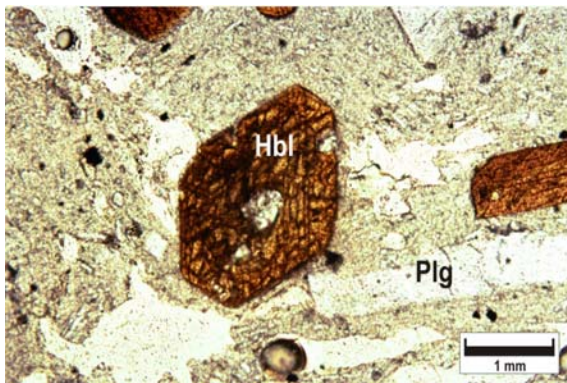
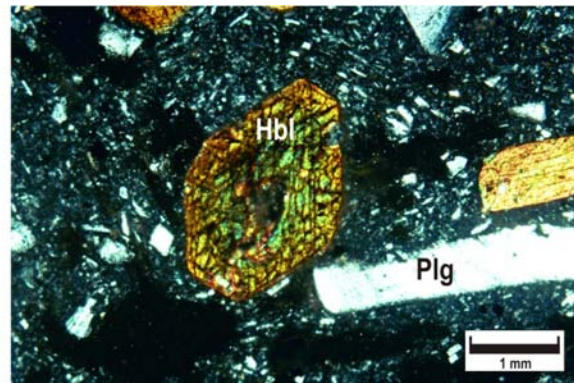


Foto 44. Fotomicrografía de fenocristal de hornblenda con bordes de reacción presente en el domo del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.



a)



b)

Foto 45. Fotomicrografía de fenocristal de hornblenda con inclusiones de microfenocristales de plagioclasa y óxidos de Fe-Ti presente en el domo del Volcán San Antonio. a) Vista con luz paralela, b) vista con luz polarizada 4X.

5. DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

La discusión de este trabajo se llevo a cabo analizando en forma individual cada una de las secuencias que conforman el área de estudio, esto es debido a que en dos de ellas (Secuencia de rocas del Basamento y Secuencia de Calderas) este es el primer trabajo químico y petrográfico a detalle. Esto hizo necesario relacionar cada una de estas secuencias al marco teórico-hipotético del ambiente tectónico y génesis de cada una de ellas. Esto no sucede con la secuencia del CVT, ya que en diversos trabajos se tienen ya definidas estas dos características. Una vez establecidos el ambiente y la génesis de las secuencias pre-CVT, se propone un modelo de evolución mágmatica del área de estudio.

Basamento

El basamento del área esta constituido en su totalidad por una secuencia de rocas ígneas plutónicas en un ambiente dominado por la subducción de la placa de Cocos bajo la placa de Norteamérica.

En la fase de convergencia de placas litosféricas se llevan a cabo procesos que favorecen las condiciones para que se desarrolle tanto el vulcanismo andesítico como el plutonismo orogénico granítico de grandes dimensiones (D'Amico *et al.*, 1987). En la actualidad, la mayor parte de las rocas que forman los complejos plutónicos son de naturaleza granitoide, que incluyen rocas graníticas, tonalíticas y eventualmente cuarzodioríticas (granodiorita). Las rocas diorítico-gabróicas se encuentran en su mayoría en cantidades subordinadas. Las asociaciones plutónico-orogénicas se clasifican en dos tipos:

1) **Asociación plutónica a granitos dominantes.** Se compone por **0-5% diorita y gabro, 15-20% tonalita-granodiorita** y aproximadamente **80% granito**, Este tipo de plutonismo también se denomina como ercinotipo. Con dos tipos de granito:

a) Granito I (I=igneo). Son granitos que varían en la línea metaluminosa-aluminosaturada (que puede en buena parte coincidir con el I-caledoniana (Pitcher, 1983 en D'Amico *et al.*, 1987). El origen del granito I ha sido atribuido a la evolución de los magmas que vienen del manto

b) Granito S (S=sedimentario). Son granitos denominados así por la línea peraluminosa. Los granitos S se originan por anatexis cortical.

Los plutones de este tipo son compuestos, del mismo modo que aquellos andinotípicos, de las múltiples intrusiones que se han establecido en zonas afectadas por mecanismos de subsidencia y colapso, intrusiones, diapirismo y domos. En estos son bastante frecuentes los cuerpos plutónicos zonados, variando normalmente de más básicos a la periferia respecto al centro.

Los granitos tipo I poseen una gran abundancia de anfíboles y una escasez de piroxenos (a menudo corroídos dentro de los anfíboles) y rocas máficas; la presencia de biotita en dioritas, como único mineral félsico; plagioclasas zonadas en las tonalitas y la presencia difusa de inclusiones xenolitos. Las pegmatitas son muy frecuentes en las asociaciones de tipología a granito dominante, lo cual revela el importante papel del agua durante la petrogénesis.

En los granitos tipo S, la asociación mineralógica se caracteriza por la constante presencia de muscovita junto a biotita ("granito de dos micas") y de la consiguiente ausencia de hornblenda. Es muy frecuente la presencia de minerales de aluminio como andalusita, sillimanita, cordierita, que en su mayoría son formados por procesos de cristalización magmática (D' Amico *et al.*, 1982).

2) ***Asociación plutónico calcoalcalina***, tienen una composición comparable con las asociaciones volcánicas orogénicas y donde la relación cuantitativa entre la asociación litológica más representativa es la siguiente: **15% diorita+gabro; 50% tonalita+granodiorita; 35% granito.**

El plutonismo calco-alcalino o andinotipo se refiere a complejos batolíticos con dimensiones variadas: de millares de km a centenas de km de longitud. Estos generalmente tienen formas alargadas y debido a sus grandes dimensiones, son detectables por ser paralelas a la faja de subducción litosférica del margen continental activo. Los batolitos son macro-estructuras compuestas, ya sea en su conjunto o en segmentos y son formados por la intersección de algunos plutones con menores dimensiones (por ej. los complejos batolíticos de los Andes peruanos, (D' Amico *et al.*, 1987, referencias en el). Estos cuerpos plutónicos son indicadores de un proceso de emplazamiento *in situ* de centenares y millares de cuerpos intrusivos que forman el batolito compuesto a través del tiempo.

Entre los caracteres petrográficos más típicos de los plutones son: las plagioclasas de las rocas y en particular las de las tonalitas son casi siempre zonadas con cambios de composición entre una zona y la otra, lo cual revela una historia de cristalización en diversas etapas. En los gabros y dioritas dominan las hornblendas, mientras los piroxenos (ortopiroxenos y clinopiroxenos) a menudo son limitados y se

presentan como núcleos corroídos de los anfíboles. La biotita prevalece sobre la hornblenda en las granodioritas y comúnmente es el único mineral félsico en los granitos. La presencia de los minerales félsicos hidratados es la base interpretativa para la implicación una cierta cantidad de agua siempre presente en los magmas plutónicos.

En las cordilleras como los Andes o las cadenas occidentales de Norteamérica, donde la corteza oceánica es o ha estado sometida a un régimen de subducción bajo la corteza continental, se tiene el máximo desarrollo del plutonismo, con predominio cuantitativo de las asociaciones plutónico-calcoalcalinas, las cuales se presentan de manera menos compleja, se acompañan en menor grado por asociaciones de colisión continental y el magmatismo es cuantitativamente menos abundante (D'Amico *et al.*, 1987).

Los datos obtenidos mediante el análisis geoquímico y petrográfico realizado a las rocas pertenecientes al basamento del Complejo Volcánico Tacaná, han permitido determinar que estas pertenecen a la serie magmática calcoalcalina, la cual es típica de zonas de subducción, con asociaciones litológicas entre las cuales destaca la presencia de rocas graníticas acompañadas de gabros, dioritas y granodioritas en menor cantidad. La asociación mineralógica de estas rocas presenta una gran cantidad de minerales hidratados, óxidos de hierro y titanio, y texturas como zoneamiento de plagioclasas. Estas características se encuentran íntimamente ligadas al ambiente tectónico que rige esta zona, y que ha sido definido como plutonismo orogénico, el cual se desarrollo en el periodo de predominio plutónico con la influencia menor tensión cortical favoreciendo la formación de plutones de composición intermedia-félsicos.

Relaciones entre plutonismo y vulcanismo orogénico

El plutonismo y vulcanismo orogénico se encuentran asociados al mismo entorno geodinámico y pueden desarrollarse en los mismos intervalos de tiempo geológico, con significativas diferencias en su distribución de las composiciones y la no correspondencia de los tiempos de formación y emplazamiento en la región. Frecuentemente, las asociaciones volcánicas son de composiciones intermedias a máficas respecto a las asociaciones plutónicas co-regionales. No existe una marcada superposición durante los tiempos de emplazamiento de las secuencias volcánicas y las masas plutónicas muestran poca superposición.

En una unión general geodinámica y petrogenética, el magmatismo orogénico se desarrolla durante largos períodos, sólo o en gran predominio en forma volcánica, y en otro período solo o en gran predominio en forma plutónica. Eso es posiblemente debido a la diversidad en el régimen tectónico: períodos de mayor tensión cortical favorecen las subidas volcánicas, mientras períodos de menor tensión coinciden con los asentamientos plutónicos, en particular de los fundidos intermedios-félsicos suficientemente ligeros para remontar por fuerza de flote (D'Amico, 1987).

Calderas

Las calderas son depresiones volcánicas cuya forma es más o menos circular con un diámetro variable, que es en la mayoría de los casos, superior al de los cráteres de los edificios incluidos en estas estructuras, independientemente de la pendiente de las paredes o de la forma del fondo. Aunque su origen no ha sido entendido del todo, la hipótesis más aceptada es aquella que describe el origen de las calderas por procesos de subsidencia y eyección explosiva de material con la remoción de rocas más antiguas. Las calderas se forman por el colapso de una cámara magmática poco profunda y se reconocen por acompañarse de eventos eruptivos que involucran grandes volúmenes de material diferenciado, asociados con lavas andesíticas. Las calderas forman grandes cantidades de ignimbritas durante la erupción asociada y en general, su diámetro aumenta de manera proporcional al volumen de material expulsado durante la erupción. La geometría, subsidencia y procesos de colapso se infieren para clasificar la fuente, la preexistencia de factores volcánicos y tectónicos que influyeron en su formación.

La mayoría de las calderas se encuentran asociadas a la erupción de grandes volúmenes de magmas diferenciados, implicando casi siempre dichas erupciones a la formación de ignimbritas. La formación de una caldera de colapso es un suceso catastrófico asociado con una única erupción de larga duración. El origen de estas estructuras es principalmente por subsidencia de las rocas encajonantes afectadas por el régimen tectónico y estructural del entorno. La erupción de un volumen de magma cuyo volumen es entre 1 y 10 km³, se considera como el límite para que se inicie un proceso de caldera de colapso en la altura, aunque algunas erupciones históricas considerables no han generado ningún tipo de colapso, o han mostrado solamente un colapso limitado, mientras que algunas erupciones muy pequeñas, que no han ido

acompañadas de la formación de ignimbritas, han producido ensanchamientos significativos de las dimensiones de las calderas.

La formación y desarrollo de una caldera es el reflejo de la formación de un sistema térmico, pudiéndose diferenciar tres estadios principales:

- i) Crecimiento de un edificio volcánico de composición intermedia en el área donde se desarrollará la caldera. Estas rocas volcánicas y sus rocas plutónicas asociadas reflejan la formación de un canal térmico hacia la superficie, y el inicio del crecimiento de un batolito.
- ii) Erupción del batolito en forma ignimbrítica, con un colapso caldérico asociado.
- iii) Reactivación del movimiento ascendente del batolito original hacia niveles más superficiales, provocando una reactivación del magma, acompañada de actividad hidrotermal y mineralizaciones.

En general, se considera que las erupciones se originan a través de centros emisores fisurales o fracturas anulares, siendo estas últimas interpretadas como la expresión en superficie de las fallas que controlan la subsidencia del bloque hundido y la salida del magma.

Las estructuras caldéricas presentes en el Complejo Volcánico Tacaná se encuentran asociadas a fenómenos de colapso posiblemente originados por un periodo de mayor tensión cortical que favoreció al emplazamiento del magma. Este emplazamiento se manifestó en la superficie de forma efusiva y explosiva, la primera dio origen a los flujos de lava de las calderas Chánjale, San Rafael y Sibinal, mientras que la segunda dio origen a los depósitos de ignimbritas y flujos piroclásticos en las mismas calderas. El inicio del colapso fue por el momento en el que la cámara magmática pasa de condiciones de sobrepresión a descompresión debido a la pérdida en los estados iniciales de la erupción de un magma rico en volátiles que se sitúa en el techo de la cámara. El inicio del colapso, su duración y las proporciones relativas de ignimbrita intracaldera y externa, pueden variar ampliamente.

Las rocas pertenecientes a los depósitos de ignimbritas se componen de una mezcla de magma espumoso enfriado (pómez), junto con fragmentos líticos que fueron arrancados de las paredes de los conductos volcánicos o arrastrados del substrato y cristales liberados por el magma durante la fragmentación del mismo. De entre estos componentes, solo los fragmentos grandes de pómez representan la verdadera composición del magma y en muchas erupciones se puede producir la extrusión simultánea de magmas de composiciones diferentes. En la secuencia de calderas presentes en el CVT, los productos emitidos durante

la actividad efusiva de estas estructuras (flujos de lava) es principalmente de composición andesítica, mientras que los productos emitidos durante la actividad explosiva (ignimbritas y flujos de bloques y cenizas) presentan una composición que va desde andesítica a dacítica con una variación del 10%, lo que nos indica una variación química con los productos menos evolucionados hacia la parte inferior y los más evolucionados hacia la parte superior, lo cual indicaría la existencia de una cámara magmática estratificada.

Complejo Volcánico Tacaná.

En el CVT se han registrado dos tipos de actividad: efusiva y explosiva. La actividad efusiva se manifiesta por la emisión de flujos de lava de composición principalmente andesítica y domos de composición predominantemente dacítica. Por otra parte, la actividad explosiva se encuentra representada por la emisión de flujos piroclásticos de composición predominantemente andesítica.

La variación química entre los productos volcánicos emitidos en diferentes periodos de tiempo es atribuida a un aporte periódico y continuo de magmas en la cámara magmática, como consecuencia del proceso de subducción que originan la fusión parcial de corteza continental, corteza oceánica y del manto. Este aporte quedo registrado petrográficamente en las texturas tipo sieve, celular y de desequilibrio (bordes de reacción) en los cristales que constituyen las principales fases minerales de las rocas de los depósitos originados durante cada actividad, y con la presencia de enclaves máficos de composición andesítico basáltica en rocas juveniles andesíticas y dacíticas.

En la Figura 14, se puede observar que durante la etapa de actividad del Volcán Chichuj se puede observar que los productos emitidos durante la etapa efusiva varían en su contenido en sílice del 59 al 63 %p., mientras que los productos asociados a la actividad explosiva (flujos de bloques y cenizas) varían del 62 al 65 %p. SiO₂. Los productos emitidos durante el periodo de actividad del Volcán Tacaná varían en su contenido en sílice de 56-63 %p., actividad efusiva (flujos de lava), 58-63 %p. actividad explosiva (flujos de bloques y cenizas, depósitos de caída y flujos de pómez) y 62-65 %p. actividad efusiva (formación de domos). Los productos emitidos durante la actividad de tipo efusivo del Domo Las Ardillas presentan un contenido en sílice de 60 a 65% p.

Los productos emitidos durante la actividad del Volcán San Antonio varían en su contenido en sílice de 58-65 %p. para los flujos de lavas, 59-64 %p. para los flujos de bloques y cenizas y de 62-65 %p. para los domos.

De las observaciones anteriores podemos deducir que existe una variación en la composición química (contenido en sílice) en los productos de cada secuencia entre el 5 y 9 %p. y una disminución en el contenido en sílice principalmente entre las secuencias, lo que indicaría inyecciones periódicas de magma más básico en la cámara magmática donde reside el magma remanente de la actividad de la secuencia anterior (Figura 14).

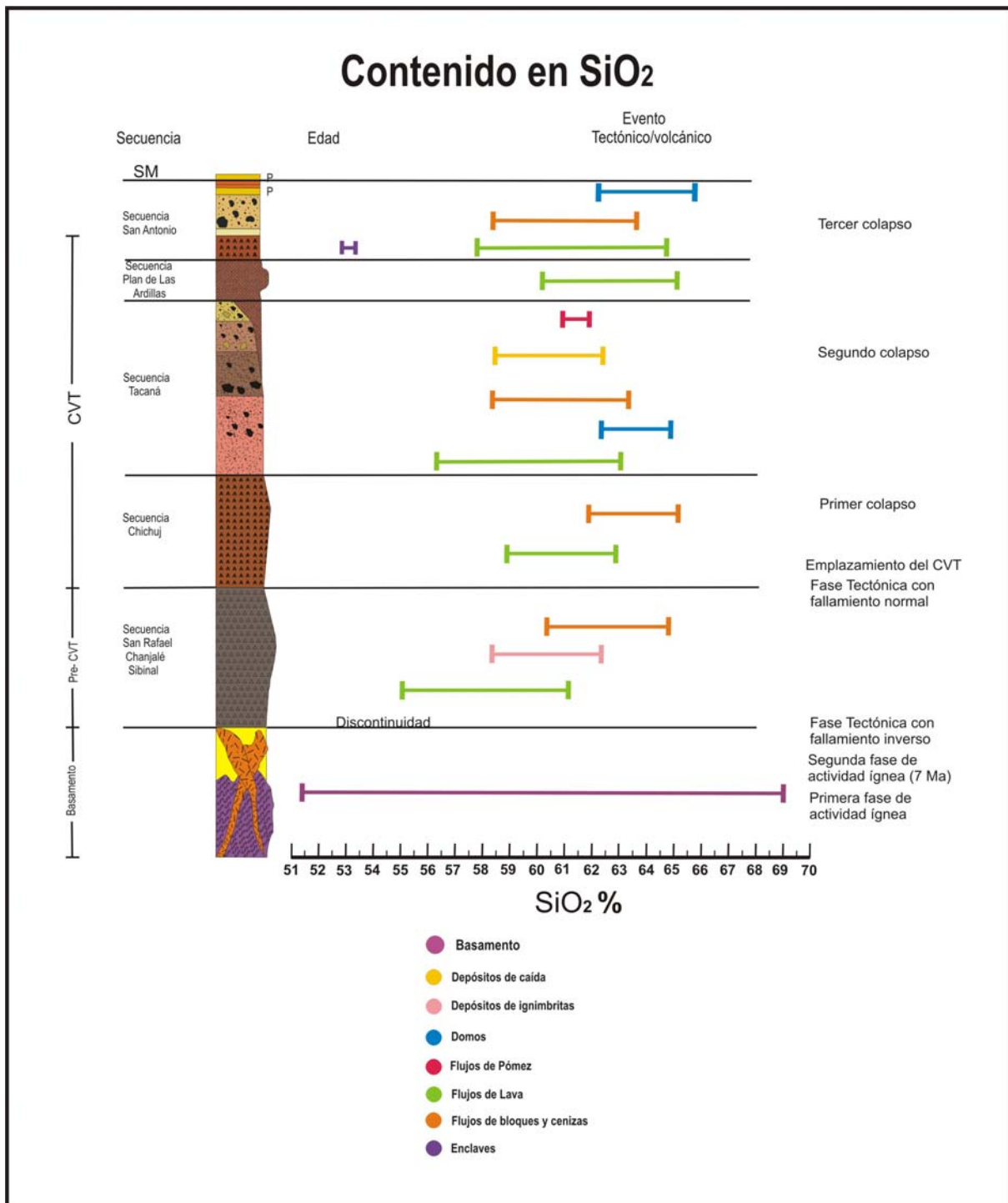


Figura 14. Variación del contenido en sílice de los productos generados por la actividad del CVT

5.2 Modelo de evolución magmática de los productos del CVT.

En base de las características petrográficas y químicas de las rocas de las secuencias, Basamento, Calderas y Complejo Volcánico Tacaná existentes en el área de estudio se propone el siguiente modelo de evolución magmática:

Origen del basamento: “Actividad Plutónica”

La secuencia más antigua en el CVT corresponde a una secuencia de rocas metamórficas del Mesozoico que fueron intrusionadas durante el Cenozoico como consecuencia de los procesos de subducción formando una asociación plutónica calciocalina constituida por granitos, granodioritas, dioritas y gabros las cuales se originaron en un ambiente tectónico de tipo orogénico. Este ambiente fue producto de la subducción de la Placa de Farallón por debajo de la Placa Norteamericana (Figura 15.1). El contacto entre estas dos placas dio origen a:

- Fluidos derivados de la fusión parcial de la corteza oceánica (FCO) y sedimentos asociados (FS).
- Fusión parcial de la cuña del manto producida por la introducción de la placa oceánica con variación de sus condiciones físicas, lo que produjo fluidos por la fusión parcial del manto (FM).
- Migración y combinación de estos fluidos (FCO-FS + FM) hacia la corteza continental.
- El emplazamiento del magma (FCO-FS + FM) a través de la corteza produjo fusión parcial de esta (FCC).
- La mezcla de los fluidos de la corteza oceánica-continental, sedimentos y cuña del manto dio origen a un magma con características subcalcinas que se estacionó en la corteza donde inició un proceso de diferenciación magmática.

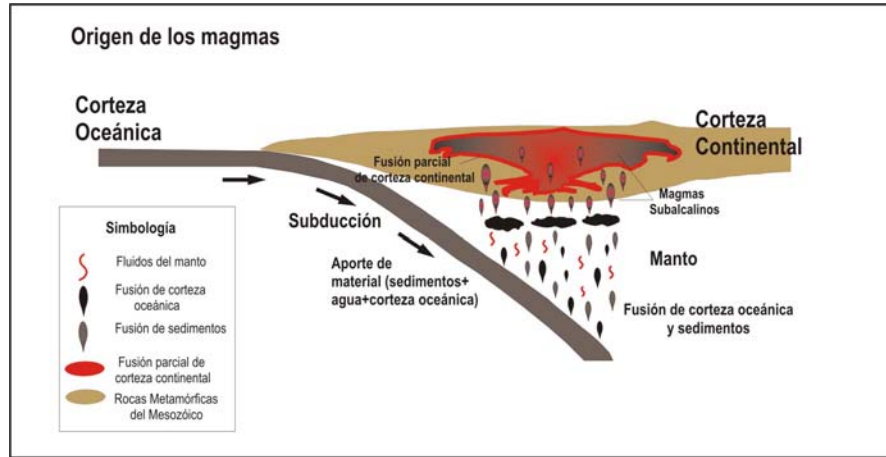


Figura 15.1. Origen los magmas subalcalinos que formaron las rocas del basamento del CVT en un ambiente orogénico.

Al estacionarse el magma en la corteza continental comenzó a evolucionar, produciendo una diferenciación magmática de tipo concéntrica debido a una variación en su temperatura desde la periferia hacia la parte más interna del mismo (Figura 15.2).

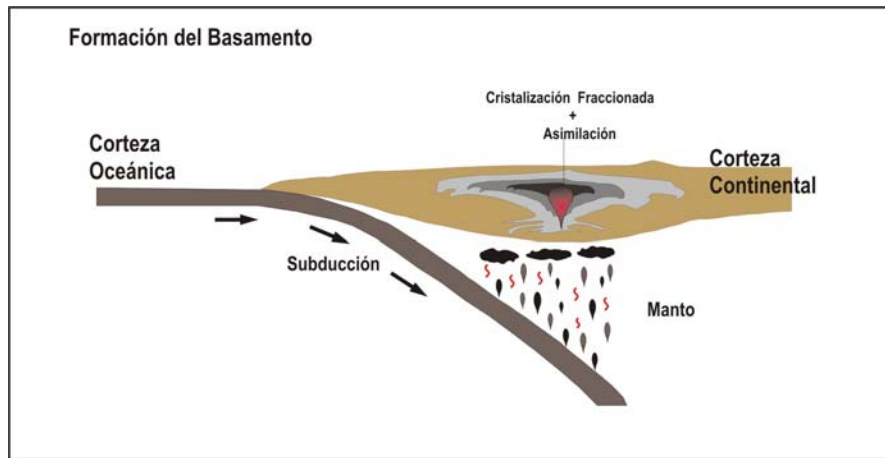


Figura 15.2. Evolución magmática del material emplazado en la corteza continental.

Esta diferenciación dio origen a una variación litológica del cuerpo plutónico con características calcoalcalinas, con los productos más evolucionados en la periferia (granitos), graduando a dioritas, granodioritas, a más básicos (gabros) en la parte más interna (Figura 15.3).

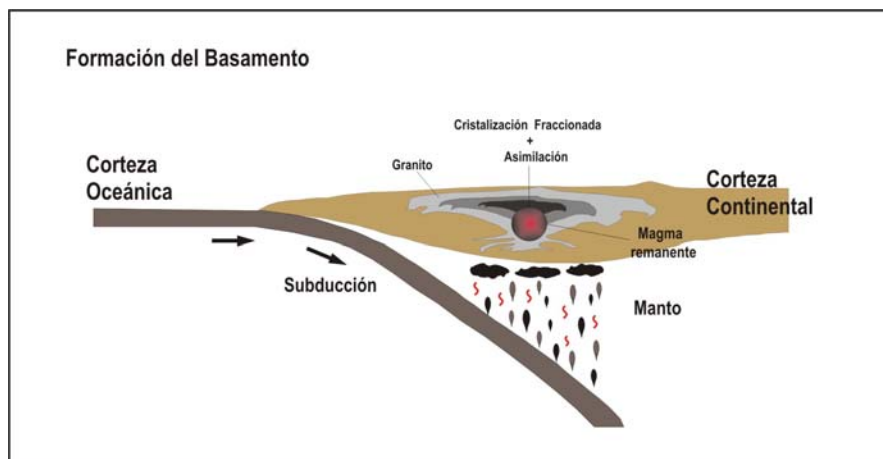


Figura 15.3. Formación de cuerpos plutónicos constituyentes del basamento en el CVT donde permanece magma remanente en proceso de evolución.

Esta variación no sigue círculos concéntricos, sino formas sinuosas irregulares concéntricas en todo el cuerpo plutónico, donde las partes más evolucionadas se encuentran en la parte externa y las menos evolucionadas en la parte interna. La continuidad de la actividad tectónica provocó que estos cuerpos plutónicos sufrieran plegamiento, fracturamiento, callamiento, levantamiento y erosión, lo que permitió su exposición en la superficie. En algunas regiones se exponen granitos (69.38% p. SiO₂), en otras las dioritas (54.87% p. SiO₂), granodioritas (61.74 % p. SiO₂) y gabros (51.33% p. SiO₂).

En algunos afloramientos se encontraron rocas oscuras (melanolitos) rodeadas por rocas más claras (asociaciones concéntricas expuestas por un tipo de exfoliación esferoidal o de tipo cebolla). En la parte inferior y central del cuerpo plutónico residió magma de compsiación intermedia en una cámara magmática en estado fluido y en proceso de evolución (Figura 15.4).

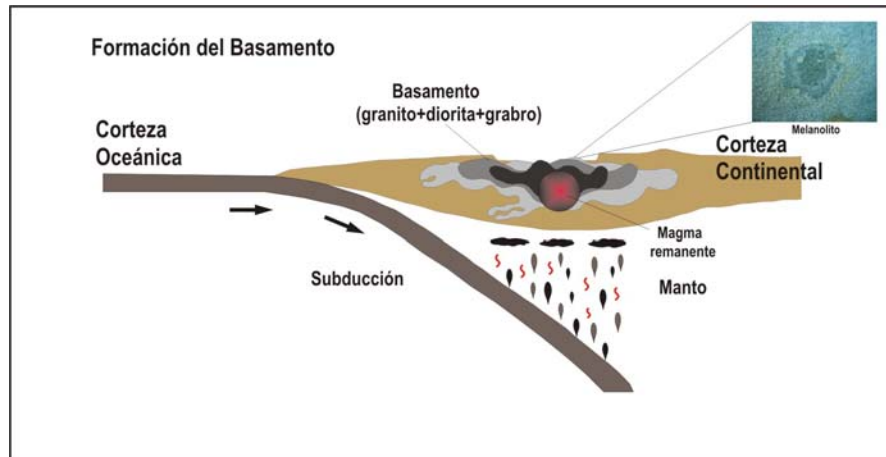


Figura 15.4. Levantamiento de deformación de las rocas del basamento en el CVT hacia la superficie.

Origen de la secuencia de Calderas “Actividad Volcánica efusiva-explosiva”

Posterior a la formación del Basamento, las rocas que lo conforman sufrieron deformación durante el Mioceno como consecuencia de los procesos de subducción y el magma remanente de la actividad anterior se encontraba en proceso de evolución. Esta cámara magmática recibió un nuevo aporte de magma más básico que se mezcló con el magma ahí existente, originando un magma híbrido (Figura 15.5).

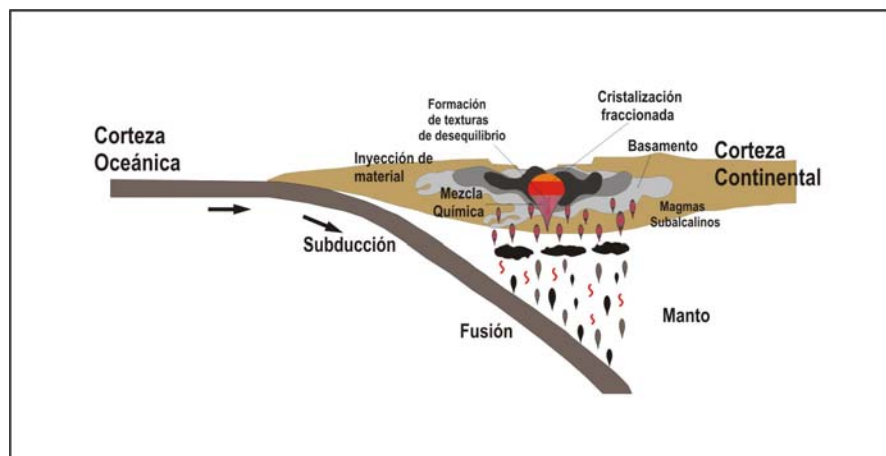


Figura 15.5. Inyección de nuevo material hacia la cámara magmática y mezcla química con el magma ácido remanente formando un magma de composición intermedia.

Después de esta mezcla y durante el Plioceno Superior inició la actividad efusiva con la emisión de flujos de lava del magma híbrido de composición andesítica (55.02% p. SiO₂) aprovechando zonas de debilidad en el basamento provocada por los movimientos corticales del régimen tectónico de la región.

Al cesar la actividad efusiva el magma en la superficie y en las zonas de debilidad (conductos) se enfrió y provocó su taponamiento (Figura 15.6).

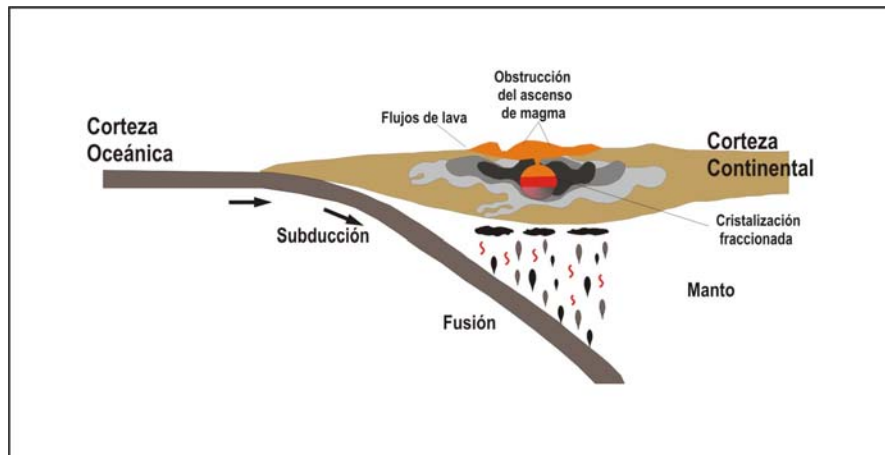


Figura 15.6. Ascenso del magma en forma efusiva que obstruye el conducto generando condiciones de desequilibrio en la cámara magmática donde se desarrolla el proceso de diferenciación magmática.

El magma que residía en la cámara magmática continuó con su proceso de evolución, que con las condiciones de un sistema cerrado provocó el aumento de la presión interna, cuando esta superó la presión externa (litostática), ejercida por la cubierta litológica, se generó actividad volcánica de tipo explosivo que dio origen a la emisión de ignimbritas (58.08% p. SiO₂) y flujos de bloques y cenizas de composición dacítica (64.87 p. SiO₂). La emisión de los grandes volúmenes de estos flujos provocó un vacío en la parte superior del reservorio magmático (Figura 15.7).

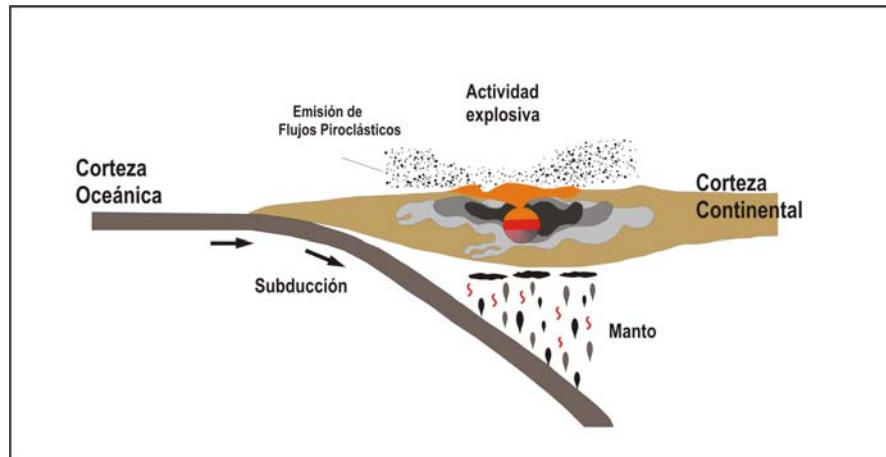


Figura 15.7. Actividad explosiva con la emisión de flujos piroclásticos generando un vacío de material en la cámara magmática.

Este vacío produjo un colapso del material sobreyacente, dando origen a las estructuras de colapso de tipo caldera conocidas como Chanjalé, San Rafael y Sibinal (Figura 15.8). La actividad de estas calderas concluyó durante el Pleistoceno.

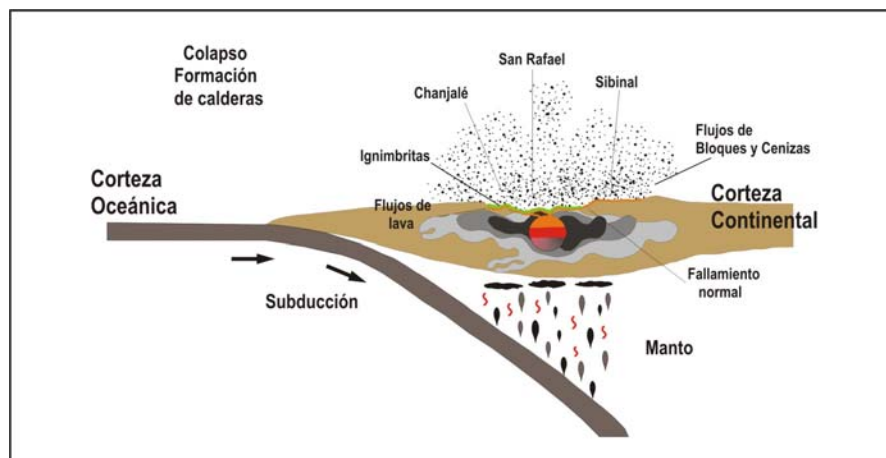


Figura 15.8. Colapso de la cámara magmática afectado por la disminución en la presión interna generando las estructuras caldéricas Sibinal, Chanjalé y San Rafael generando depósitos de ignimbritas.

Después de este colapso hubo un periodo de reposo, durante este periodo existieron inyecciones magmáticas de pequeños volúmenes que no desencadenaron ninguna actividad volcánica, pero que si cambiaron la composición química del magma de dacítico a andesítico (Figura 15.9).

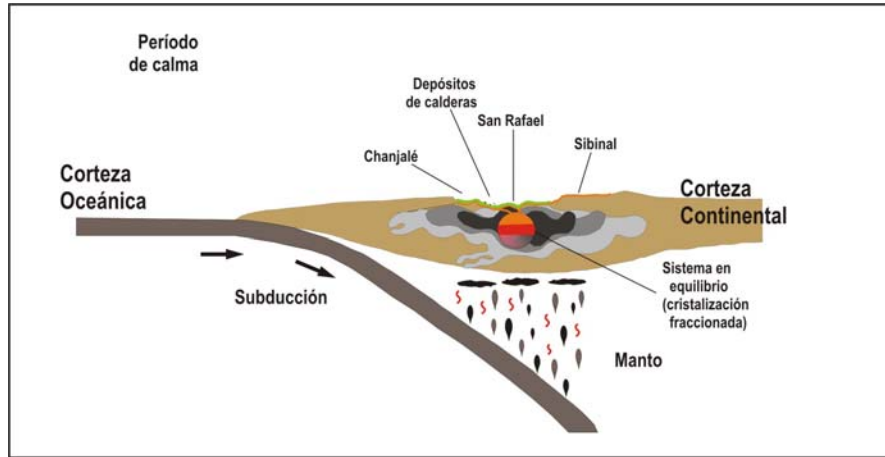


Figura. 16.9. Período de reposo durante el cual el líquido remanente en la cámara magmática continúa un proceso de diferenciación magmática.

Origen de la secuencia y estructuras del CVT

La secuencia de CVT fue originada durante el Pleistoceno Tardío. Durante dicho período, en la cámara magmática se encontraba un magma andesítico en proceso de evolución por Cristalización Fraccionada, que provocó estratificación de la cámara magmática. El magma fue expulsado hacia la superficie mediante una actividad efusiva con la emisión de flujos de lava andesítica (58.83% a 62.99 %p. SiO₂), cuya acumulación periódica formó la base del Volcán Chichuj (Figura 15.10).

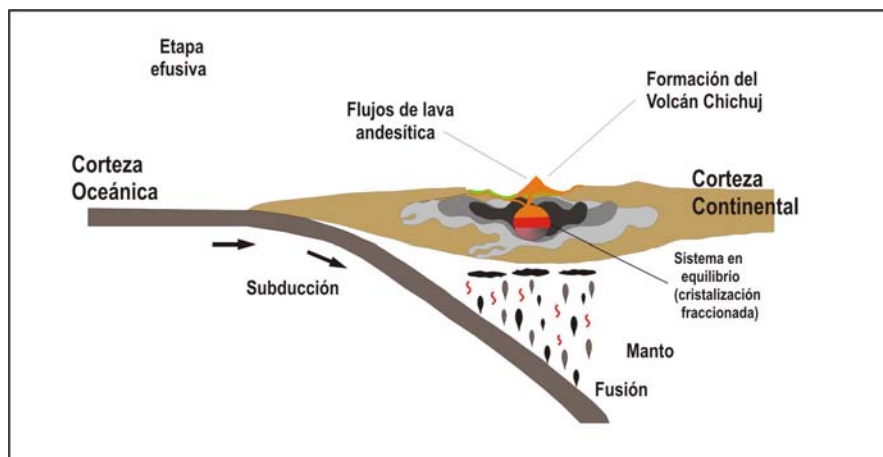


Figura 15.10. Reactivación de la etapa efusiva que se manifiesta con la emisión de flujos de lava aprovechando las zonas de debilidad que formarán la base del Volcán Chichuj.

Después de este período existe una inyección de magma básico a la cámara magmática produciendo un desequilibrio en el sistema magmático provocando actividad de tipo explosivo con la generación de flujos piroclásticos de composición andesítica y dacítica (62.02% a 65.29% p. SiO₂) Durante el periodo de actividad del Volcán Chichuj tuvo una alternancia de actividad efusiva y explosiva. La actividad efusiva dio lugar a la formación de flujos de lava y flujos piroclásticos emitidos durante la actividad explosiva. Durante el último período eruptivo el Volcán Chichuj registro un colapso del flanco occidental produciendo un depósito de avalancha (Figura 15.11).

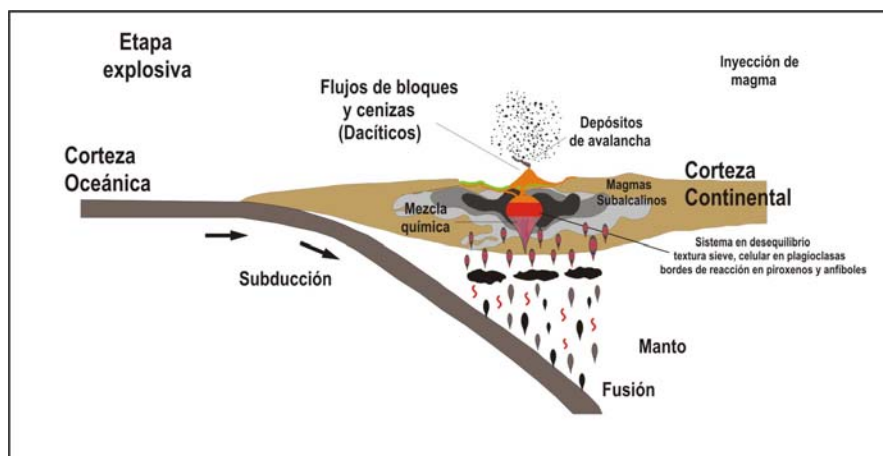


Figura 15.11. Inicio de la etapa explosiva del Volcán Chichuj provocada por la inyección de material nuevo produciendo desequilibrio en la cámara magmática, mismo que se manifiesta con la emisión de flujos piroclásticos y colapso de un flanco del edificio volcánico Chichuj generando depósitos de avalancha.

A esta actividad le siguió un periodo de reposo quedando en la cámara magmática un líquido de composición dácítica que continuó con el proceso de evolución mediante diferenciación magmática. La manifestación de actividad subsecuente siguió un conducto diferente al de la actividad anterior, lo que produjo una migración hacia el suroeste (Figura 15.12).

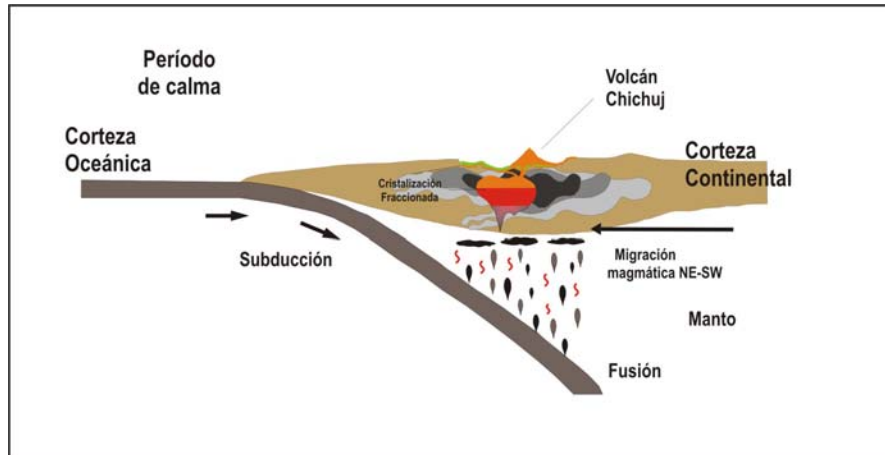


Figura 15.12. Período de reposo durante el cual el Volcán Chichuj se extingue e inicia la migración magmática del líquido remanente en la cámara magmática, mismo que continúa con el proceso de diferenciación magmática.

Posterior al periodo de reposo hubo una inyección de nuevo magma más máfico que se mezcló con el magma dácítico remanente en la cámara magmática. La mezcla de estos magmas dio lugar a la formación de magma híbrido andesítico que fue emitido durante una nueva actividad afusiva que se manifestó en la superficie en forma de flujos de lava andesíticos (56.25% a 62.93% p. SiO₂) y formación de domos andesítico-dácíticos (62.28% a 64.80% p. SiO₂) que construyeron el Volcán Tacaná. La emisión de este material fue a través de un nuevo conducto, lo cual registró una migración hacia el NO del Volcán Chichuj de la actividad volcánica (Figura 15.13).

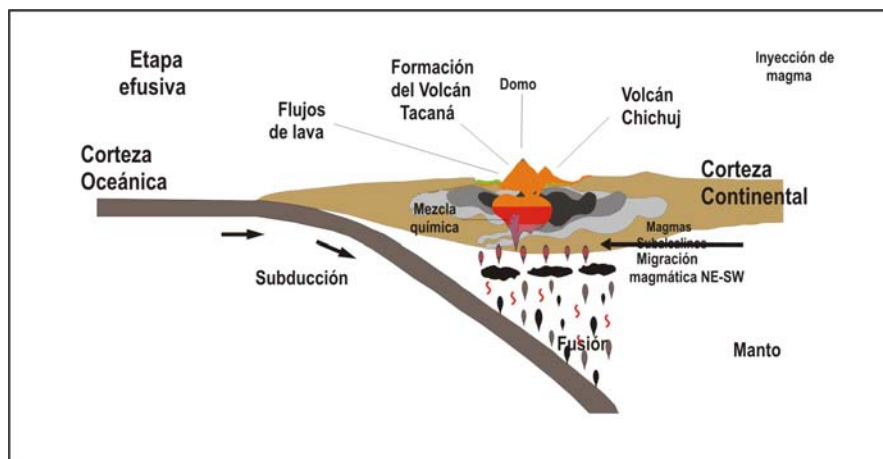


Figura 15.13. Inyección de nuevo material a la cámara magmática que marca el inicio de una nueva actividad efusiva con la emisión de flujos de lava.

Después de este período existe la inyección de nuevo material de composición máfica que alteró las condiciones de la cámara magmática, lo que provocó actividad de tipo explosivo con la emisión de flujos piroclásticos (flujos de bloques y cenizas 58.37% a 63.37% p. SiO₂, flujos de cenizas y flujos de pómez SiO₂ 59.8% a 61.77%, así como depósitos de caída SiO₂ 62.28% a 61.30%).

Durante la actividad del Tacaná se tiene registrada tanto actividad efusiva con la emisión de flujos de lava y formación de domos. La actividad explosiva se manifestó con la destrucción parcial o total de domos con la generación de flujos piroclásticos. La actividad de esta estructura volcánica siguió un ciclo que inició con actividad de tipo explosivo y culminó con actividad de tipo efusivo. La actividad explosiva tuvo como agente disparador la inyección de nuevo magma a la cámara magmática. Durante los periodos de reposo entre un ciclo y otro se caracterizan por la mezcla química total del magma inyectado con el magma residente en la cámara magmática. (Figura 15.14).

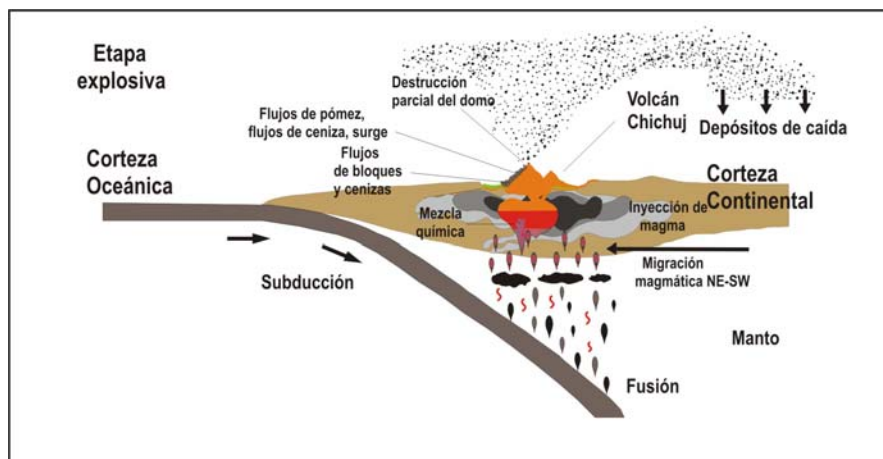


Figura 15.14. Actividad explosiva del Volcán Tacaná provocada por la inyección de magma, mismo que provoca un desequilibrio en la cámara magmática.

Durante el periodo de calma se reestablecieron las condiciones de equilibrio en la cámara magmática con la mezcla química de los magmas. Como producto de esto se formó un magma híbrido que se diferencia mediante el proceso de cristalización fraccionada (Figura 15.15).

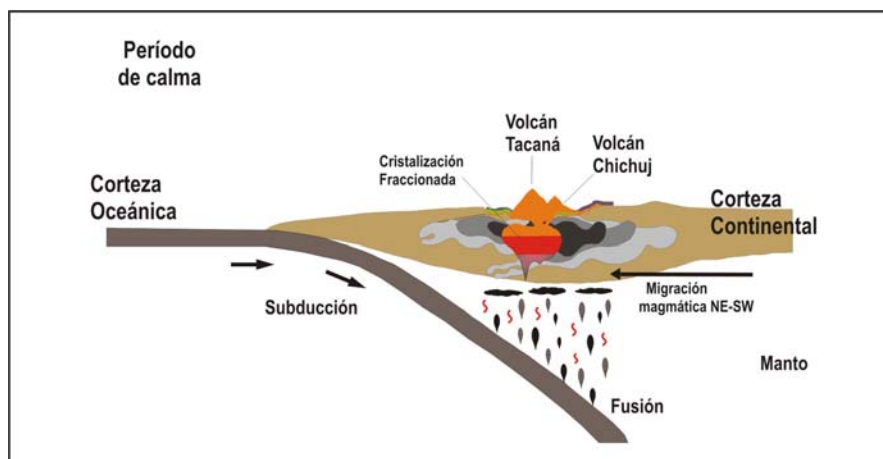


Figura 15.15. Período de reposo del Volcán Tacaná donde continúa la migración magmática y la cristalización fraccionada.

El magma continuó con la migración hacia el suroeste y aprovechó las zonas de debilidad para ascender de forma efusiva sobre el flanco occidental del Volcán Tacaná formando un domo de composición andesítico-dacítica (60.63% a 64.99% p. SiO₂) denominado Las Ardillas, mismo que cesa su actividad con la migración del magma (Figura 15.16).

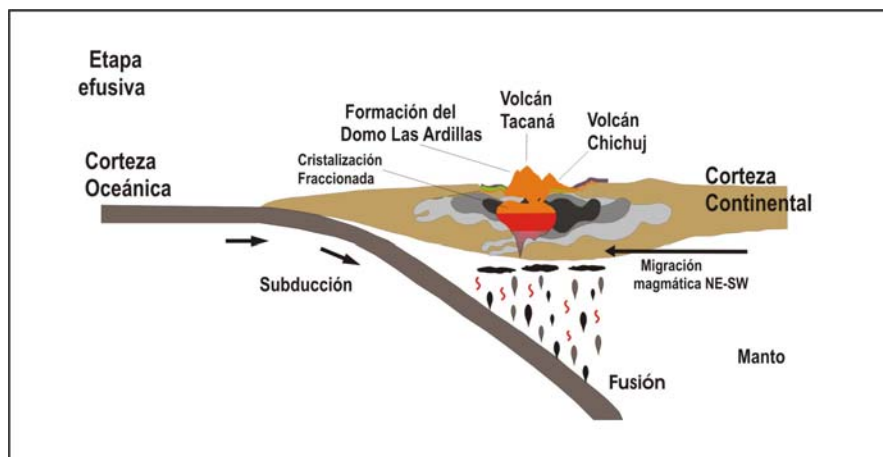


Figura 15.16. Inicio de una nueva etapa efusiva durante la cual se forma el Domo las Ardillas hacia el sureste del Volcán Tacaná.

La diferenciación magmática continuó y migró ascendiendo por las zonas de debilidad emitiendo flujos de lava de composición andesítica y dacítica (SiO_2 57.67% a 64.57% p.) que formaron la base del Volcán san Antonio (Figura 15.17).

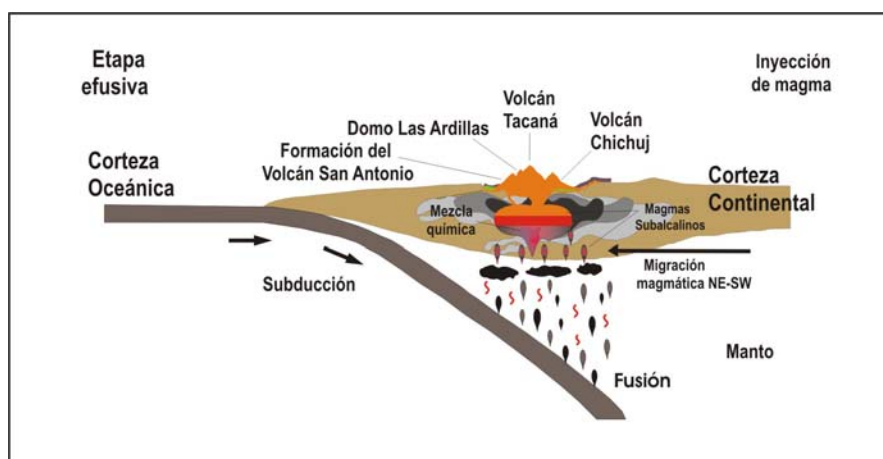


Figura 15.17. Formación de la etapa efusiva del Volcán San Antonio con la emisión de flujos de lava.

Una vez que esta actividad cesó hubo un nuevo aporte de material de composición andesítico-basáltica, lo que modificó las condiciones en la cámara magmática y culminó con una explosión de tipo peleana que destruyó parcialmente el domo y originó depósitos de flujos de bloques y cenizas (Figura 15.18).

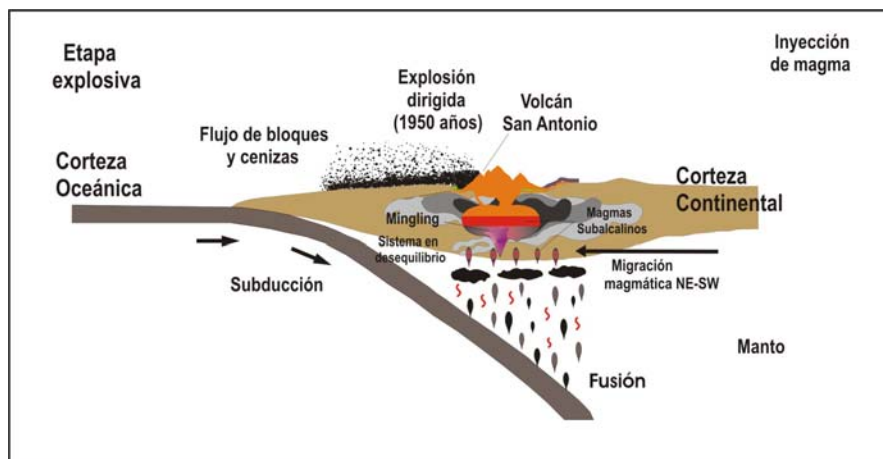


Figura 15.18. Actividad explosiva del Volcán San Antonio provocada por la inyección de magma andesítico-basáltico produciendo desequilibrio en la cámara magmática.

Durante el periodo de actividad del Volcán San Antonio se presentó tanto actividad explosiva con el depósito de un flujo de bloques y cenizas (58.3% a 63.38% p. SiO₂) y culminó con actividad efusiva. La actividad volcánica culminó con la formación de un domo de composición dacítica (64.79% p. SiO₂) que corona la cima de esta estructura volcánica (Figura 15.19).

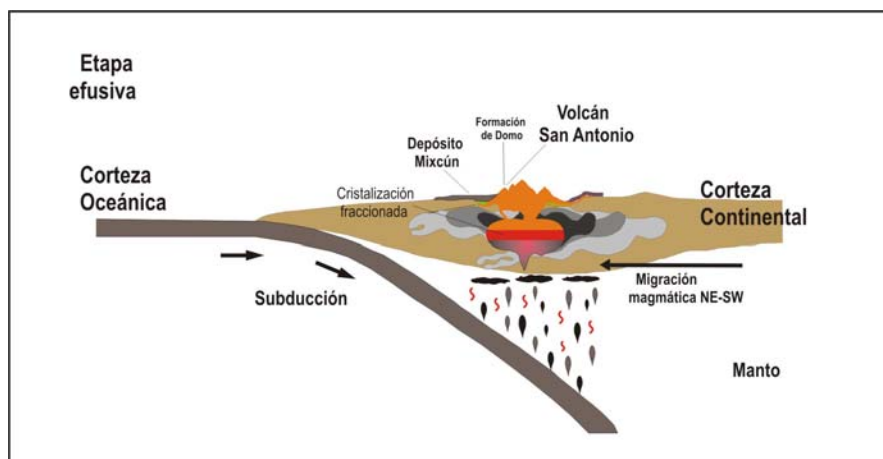


Figura 15.19. Formación del domo en la cima del Volcán San Antonio como parte de la última actividad efusiva del mismo.

El Volcán San Antonio presentó una actividad de tipo freatomagmática en mayo de 1984, dicha actividad se debió a la interacción entre un cuerpo de agua que se puso en contacto con el magma residente en la cámara magmática. Actualmente presenta actividad fumarólica, con la emisión de vapor y gases y donde posiblemente se ha reestablecido el proceso de diferenciación magmática (Figura 15.20).

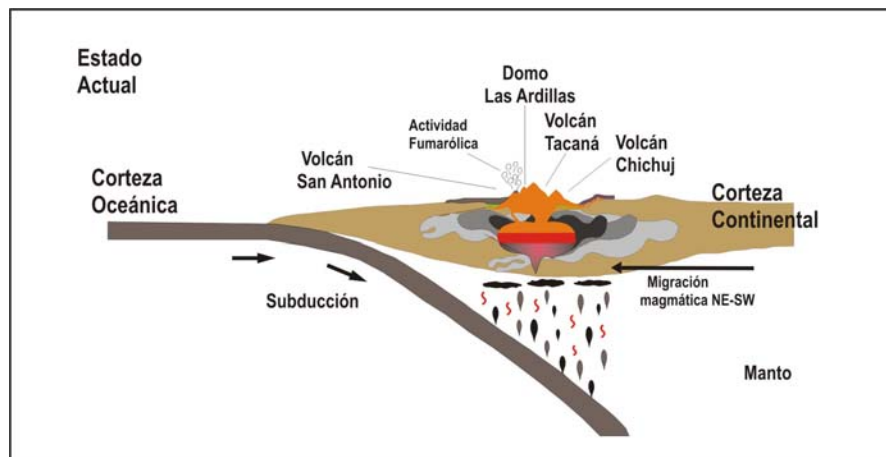


Figura 15.20. Estado Actual del Volcán San Antonio con actividad fumarólica.

6. CONCLUSIONES

La actividad magmática, en la región donde se ha desarrollado el CVT, ha estado íntimamente relacionada con la subducción de la placa de Cocos respecto a la placa Norteamericana, un episodio principalmente de tipo compresivo que provocó la fusión parcial de las placas, sedimentos y manto en contacto. Esto dió origen a los magmas de tipo calco-alkalino.

Este magmatismo no tuvo una manifestación superficial y se desarrolló como una actividad plutónica de tipo calco-alkalino, dando como resultado una asociación litológica compuesta por granito, granodiorita, diorita y gabro. Durante este episodio la variación litológica del basamento se puede explicar mediante la evolución concéntrica, por un proceso de cristalización fraccionada, del cuerpo magmático. Como se observó que en el centro de los cuerpos graníticos se encontraban cuerpos oscuros de composición más máfica.

Posteriormente la actividad cambió de tipo intrusiva a una actividad efusiva y explosiva de forma alternante que dio origen a las estructuras caldéricas Sibinal, Chanjalé, San Rafael y sus productos, así como las grandes estructuras volcánicas Chichuj, Tacaná, Las Ardillas y San Antonio formados por la acumulación de sus productos expulsados.

Las características petrográficas (texturas de desequilibrio en los minerales) y químicas (presencia de andesitas-basálticas, andesitas y dacitas) son una clara evidencia de que durante este periodo alternante de actividad explosiva y efusiva, se han presentado inyecciones periódicas de magma más básico a la cámara magmática. Estas inyecciones pueden ser las que han desequilibrado el sistema magmático y han desencadenado las manifestaciones explosivas, las cuales una vez que se ha liberado su energía prosiguen con actividad efusiva que marca el fin de un evento eruptivo.

Los periodos de reposo, que siguen después de mezclarse químicamente los magmas, son caracterizados por la evolución del magma, formado por la mezcla de los magmas, por el proceso de cristalización fraccionada dando lugar a una cámara magmática estratificada.

Todos los productos del Basamento, Secuencia de Calderas y CVT se encuentran en el dominio de las rocas subalkalinas, con la alineación típica de las rocas calcialcalinas con contenidos medio a alto en potasio.

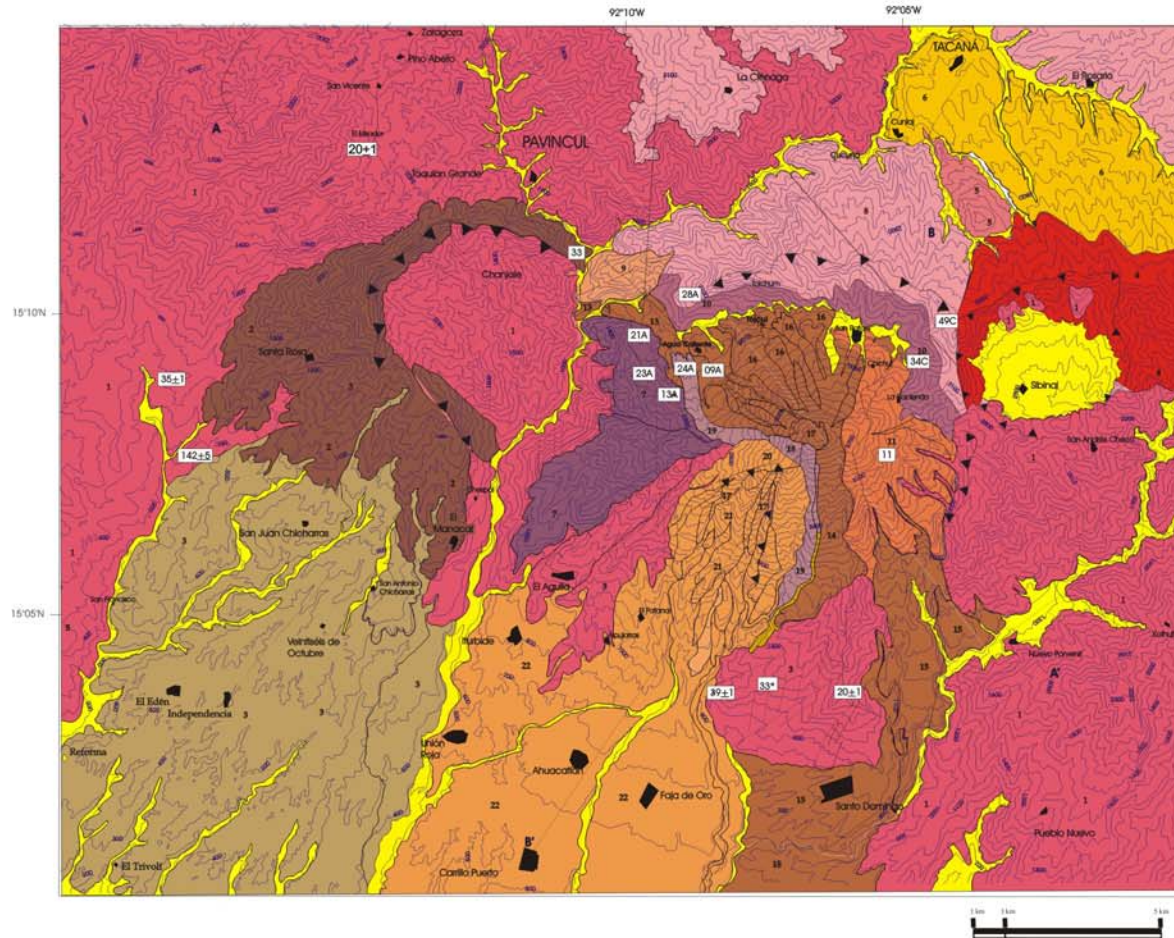
BIBLIOGRAFÍA

- Armienta, M.A., y De la Cruz-Reyna, S., (1995). Some hydro-geochemical fluctuations observed in Mexico related to volcanic activity. *Applied Geochemistry*. 10: 215-227.
- Bergeat, A., 1984, Zur Kenntnis Eruptivgesteine der Republik Guatemala. *Zeitschr. Geol. Ges.*, 131-157.
- Böse, E., (1902). Ceniza del Volcán de Santa Maria. *Parergones del Instituto Geológico de México*. 1(1-10): 51-54.
- Böse, E., (1902). Breve noticia sobre el estado actual Del Volcán de Tacaná. *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate*. 1-2, 4-6: 267-270.
- Bravo, H.; Rebollar, C.J.; Uribe, A., and Jiménez, O., 2004. Geometry and state of stress of the Wadati-Benioff zone in the Gulf of Tehuantepec, México. *J. Geophys. Res.*, 109: B04307
- Burkart, K., (1983). Neogene North American-Caribbean Plate Boundary Across Northern Central America: Offset Along The Polochic Fault. *Tectonophysics*. 99: 251-270.
- Consejo de Recursos Minerales, 2003. Monografía Geológico-Minera del Estado de Chiapas, 2003
- Cox, K. G., J. D. Bell, et al. (1979). The interpretation of igneous rocks. London, Allen and Unwin.
- D'Amico, F., Innoceti, F., Sassi, F. P., 1987, Magmatismo e metamorfismo, Unione Tipografica Editrice, 536 pp.
- Damon, P.E., y Montesinos, E., (1978). Late Cenozoic Volcanism and Metallogenesis over and Active Benioff zone in Chiapas, Mexico. *Arizona Geological Society Digest*. 11: 155-168.
- Damon, P.E., and G.P. Salas, 1975. Dating of Mesozoic-Cenozoic metallogenetic provinces within the Republic of Mexico (1965-1975): Cooperative Research Project between Laboratory of Isotope Geochemistry. Dep. Of Geosciences, University of Arizona and the Consejo de Recursos Minerales, Interim Report, no publicado.
- De Cserna, Z., Aranda-Gómez, J.J., y Mitre-Salazar, L.M., (1988). Mapa fotogeológico preliminar y secciones estructurales del Volcán Tacaná. Instituto de Geología, México.
- De la Cruz, M.V., y Hernández, Z.R., (1985). Estudio Geológico a semidetalle de la zona geotérmica del Volcán Tacaná, Chis. *Comisión Federal de Electricidad*. 41/85: 28 págs.

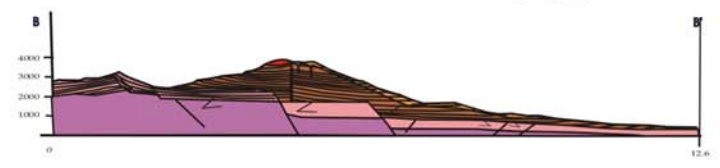
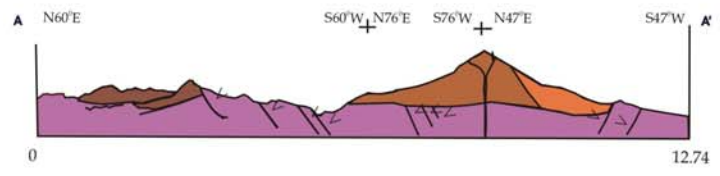
- De la Cruz-Reyna, S., M. A. Armienta, et al. (1989). "Chemical changes in spring waters at Tacaná Volcano, Chiapas, México." Journal of Volcanology and Geothermal Research 38: 345-353.
- De Mets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F. and Stein, S., 1990. Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 101:425-478.
- Espíndola, J. M., J. L. Macías, et al. (1993). El Volcán Tacaná: Un ejemplo de los problemas en la evaluación del Riesgo Volcánico. Simposio Internacional sobre Riesgos Naturales e Inducidos en los Grandes Centros Urbanos de America Latina, CENAPRED, México D.F., Serie Scienza No. 6.
- Espíndola, J.M., Medina, F.M., y De los Ríos, M., (1989). A C-14 age determination in the Tacaná volcano (Chiapas, Mexico). *Geofísica Internacional*. 28: 123-128.
- García-Palomo, A., Macías, J.L., Arce, J.L., Nora, J.C., Hughes, S., Saucedo, R., Espíndola, J.M., Escobar, R., y Layer, P., (2004). Geological evolution of the Tacaná Volcanic Complex, Mexico-Guatemala. 29 págs.
- Gill, J. B. (1981). Orogenic andesites and plate tectonics. Berlin, Springer-Verlag.
- Guzmán-Speziale, Marco., Pennington, W.D., y Matumoto, T., (1989). The Triple Junction of the North America, Cocos, and Caribbean plates: Seismicity and Tectonics. *Tectonics*. 8(5): 981-997.
- Irvine, T. N. and W. R. A. Baragar (1971). "A guide to the chemical classification of the common rocks." Canadian Journal of Earth Sciences 8: 523-548.
- Le Bas, M. J., R. W. Le Maitre, et al. (1986). "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram." Journal of Petrology 27: 745-750.
- Macías, J.L., Arce, J.L., Mora, J.C., and García-Palomo, A., (1999). The Agua Caliente Debris Avalanche deposit a northwestern sector collapse of Tacaná Volcano, México-Guatemala. *Geological Society of America Bulletin (Special Paper)*, Submitted.
- Macías, J.L., Espíndola, J.M., García-Palomo, A., Scout, K.M., Hughes, S., and Mora, J.C., (2000). Late Holocene Peléan-style eruption at Tacaná volcano, Mexico and Guatemala, present, and future hazards. *Geological Society of American Bulletin*. 112(8): 1234-1249.
- Mc Kenzie, W. S., Donaldson C. H., Gulford, C. Atlante delle Rocce Magmatiche e delle loro tessiture., Editorial Zinachelli, Primera Edición, 1990, 148 pág.

- Mc Kenzie, W. S., Gufford, C. Atlante dei minerali costituenti le rocce in sezione sottile., Editorial Zinacelli, Primera Edición, 1985, 98 pág.
- Mercado, R., y Rose, W.I., (1992). Reconocimiento geológico y evaluación preliminar de la peligrosidad del volcán Tacaná, Guatemala/México. *Geofísica Internacional*. 31: 205-237.
- Mora, J.C., Macías, J.L., García-Palomo, A., Espíndola, J.M., Manetti, P., Vaselli, O., (2004). Petrology and geochemistry of the Tacaná Volcanic Complex, Mexico-Guatemala: Evidence for the last 40 000 yr of activity. *Geofísica Internacional*. 43: 331-359.
- Mugica, R. (1987). Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas en el Macizo de Chiapas. Mexico, Instituto Mexicano del Petróleo.
- Mülleried, F.K.G., (1951). La reciente actividad del Volcán Tacaná, Estado de Chiapas, a finales de 1949 y principios de 1950. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. 25 págs.
- Pardo, M. and Suárez, G., 1995. Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, 100: 12,357-12,373.
- Rebollar, C.J., Espíndola, V.H., Uribe, A., Mendoza, A. And Pérez-Vertti, A., 1999. Distribution of stress and geometry of the Wadati-Benioff zone under Chiapas, Mexico. *Geofísica Internacional*, 38:95-106.
- Saucedo, R. and H. Esquivias (1988). Evaluación del riesgo volcánico en el área del Volcán Tacaná. México, IPN-ESIA: 142.
- Tarbuck & Lutgens, 1999, *Ciencias de la Tierra*, Editorial McGraw-Hill.

GEOLOGÍA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO TACANÁ



LEYENDA



Elaborado por: Garcia-Palomo et al., 2004

ANEXO 1: BASE DE DATOS

Elevación	E	N	Muestra	Zona	Deposito	Edad	Observaciones
BASAMENTO							
1100	588835.76	1677254.02	TAC0359	Agua Caliente	Roca Metamórfica		Control estructural. Roca metamórfica de grano muy fino y recrystalizada
1370	588774.45	1677683.95	TAC0367	Agua Caliente	Roca Metamórfica		Control cartográfico
1436	587459.81	1678109.17	TAC0308A	Camino a Benito Juárez	Roca Metamórfica		Roca metamórfica verde muy recrystalizada
1965	596959.64	1668406.32	TAC9702	Chiquihuite	Basamento		Afloramiento de granodiorita con cristales de piroxeno de hasta 1cm, plagioclasa. Ortoclasa, biotita y muscovita
1760	591222.57	1677416.79	TAC0329A	Las Ventanas	Granito		Granito compuesto por plagioclasas, cuarzo con gran alteración y presencia de óxidos.
1130	587371.87	1669628.69	TAC0364C	El Aguila	Granito		Granito de color gris claro compuesto por plagioclasas, cuarzo y biotita con tamaño de <3mm, de formas que varían de subhedrales a euhedrales.
1530	579766.6	1667543.25	TAC9719	Muxbal	Granito		Granito constituido por cuarzo, feldespato, plagioclasa, mica
1370	602106	1665785.53	TAC9719	Muxbal	Granito		Granito constituido por cuarzo, feldespato, plagioclasa, mica
1130	587164.72	1669136.32	TAC0365C	El Aguila	Diorita		Muestra para datación
1130	587401.73	1669628.8	TAC0364Cgr	Camino El Aguila-Azteca	Granito		Datación por micas
2616	601207.08	1673493.94	TAC0354C	Sibinal	Granito		Granito con exfoliación tipo cebolla en la parte externada coloración gris alterando a amarillo ocre constituido por fenocristales de cuarzo.
0	593543.53	1664060.27	13	Unión Juárez	Granito	22.2+-0.5	Bibliografía Demon P & Montesinos. Granito de biotita hornblenda road from Tuxtla Chica to Unión Juárez
2616	601207.08	1673493.94	Granito	Camino al Tacaná poblado	Granito		Muestra de feldespatos potásicos con anfíboles, granito en contacto con otro granito amarillo
2768	603219.52	1677435.66	TAC0339C	Sibinal	Granito		Granito amarillo alterado y fracturado. Control cartográfico
2749	600787.5	1673891.59	TAC0344C	Camino al Tacaná poblado	Granito		Afloramiento de granito amarillo fuertemente alterado con muscovita.
1400	590746.51	1677046.24	TAC02114	Flanco Oeste Tacana (colapsado)	Granito		Granito constituido por cuarzo, feldespato, mica muscovita y biotita.
1430	590505.05	1677752	TAC0361	Río San Rafael	Granito		Control cartográfico
1400	590746.51	1677046.24	TAC02114	Sector Oeste del Volcán Tacaná	Granito		Control Estructural. Roca con planos de esquistosidad. Presenta algunos enclaves máficos de textura afanítica y ricos en minerales máficos.
Sin ubicación	Sin ubicación	Sin ubicación	2M-2679	Unión Juárez	Tonalita	20+-1	Bibliografía IMP C-2009. Tonalita gneílica de biotita hornblenda, Unión Juárez, Puente Río Monte Perla
Sin ubicación	Sin ubicación	Sin ubicación	GAP-588	El Aguila	Diorita	142+-5	Bibliografía IMP C-2009. Diorita gneílica de hornblenda
993	589443.98	1666379.57	TAC9859	Apujarras	intrusivo		Roca intrusiva que aflora sobre el camino a Alpujarras rica en plagioclasa.
1018	587462.78	1677310.33	TAC0357	Cerca de Don Pedro	Dique		
1350	588325.78	1677958.79	TAC0360C	Chiquihuite	Dique		Control Cartográfico
1640	590171.84	1679041.19	TAC0364	Agua Caliente	Dacita		
1590	589996.21	1678149.47	TAC0366	Agua Caliente	Granodiorita		Control cartográfico
2080	591412	1674744.4	TAC0313A	Risco/Peña	Granito		
1679	590171.84	1679041.19	Intrusivo	Agua Caliente	Intrusivo		Intrusivo predominante en feldespato potásico.

CALDERA SAN RAFAEL						
1400	587516.12	1670981.13	TAC0363C	Piedra Parada, Azteca	Flujo de lava	
1910	592085.95	1677942.49	TAC0296		Flujo de lava	Flujo de lava de color gris alterando a pardo rojizo, textura porfirica.
3150	599877.74	1677267.6	TAC0350C	Volcán Tacana	Flujo de lava	Roca gris oscuro semiclara con xenocristales y algunos anfíboles
3100	599706.88	1675331.12	TAC0346C	Volcán Tacana	Flujo de lava	Se tomaron datos estructurales. Sobre el camino se observó un cuerpo rocoso tabular con un rumbo de NW 21° SE de 5 m de altura y 6 m de alto. El afloramiento se conforma por una roca de color gris claro densa y muy compacta que intemperiza a gris rojizo. Se encuentra constituida por plagioclasa, anfíboles y piroxenos. Los máficos forman aglomerados.
3294	599877.74	1677267.6	TAC0349C	Volcán Tacana	Lava Columnar	1872 +/- 24 Ka Lava columnar andesítica prismática con una altura de 40m en la vertical. Roca muy dura y compacta de color gris constituida por px, plg, hbl rodeados por una matriz vítrea de color gris claro.
2882	599322.25	1674530.62	TAC0338C1	Camino al Tacaná poblado	Flujo de lava	de vidrio oscuro. Presenta muchos cristales oxidados en algunas vesículas. También presenta xenolito de granito de 4 cm
2595	599925.18	1673119.76	TAC0337al	Tochatzé	Flujo de lava	
2882	599322.25	1674530.62	TAC0338C	Camino al Tacaná poblado •	Flujo de lava	Coleda de lava al extremo de la avalancha muy mineralizada por contacto al granito. Muy alterada
1350	588325.78	1677958.79	TAC0360	Río San Rafael	Flujo de lava	Observación estratigráfica
3150	599877.74	1677267.6	TAC0349Ces	Volcán Tacana	Escoria	Lava andesítica, columnar
1590	590624.18	1677813.91	TAC0363	Agua Caliente	Ignimbrita	Control cartográfico
2595	599925.18	1673119.76	TAC0337a	Las Ventanas	pómez flujo	Pumice amarilla con depósito de BAF.
1630	590753.27	1675294.91	TAC02107	cerca del Río San Rafael	Ignimbrita	Ignimbrita alterada antigua alterada con xenocristales <2cm en andesitas.
1350	588325.78	1677958.79	TAC0360A	Tecoyitac	FBC	Control cartográfico
1520	590333.31	1675846.35	TAC02108		Ignimbrita	BAF joven con clastos de ignimbrita.
1240	587430.78	1669843.98	TAC0362C	Camino a Toquian	Flujo Piroclástico	
2597	603825	1673709	TAC0353C	Volcán Tacana	Depósito de caída	Depósito masivo de 60cm de espesor de depósitos de caída con coloración amarilla alterados con pumice de diámetro <5.3cm, vesiculados y con algunos líticos grises densos que subyacen y sobreyacen a este posible flujo de lodo.
2745	598840.58	1675511.83	TAC0334Ca	Camino al Tacaná poblado	Avalancha	17 +/- 23 Ka Avalancha con bloques de Andesita gris y rojo bandeada. Se muestreo la andesita gris para observación. Andesita porfirica, subredondeada con xenocristal de anfíbol de 0.7 mm
2745	598840.58	1675511.83	TAC0334C	Camino al Tacaná poblado	Avalancha	17 +/- 23 Ka Bloque dentro de una avalancha. Punto de control.
3103	600185	1675570	TAC0347C	Volcán Tacana	Avalancha	Punto de control de la avalancha. En el partesguas afloran megabloques de lavas de 8m.
1798	590843.39	1675141.63	TAC0323a	Cañada Agua Zarca	FBC y Flujo de lava	Lava flujo expuesto y recubierta en algunas partes por BAF.
3218	600124	1676840	TAC0348C	Volcán Tacana	Avalancha	Depósito de avalancha desde los 3100m constituida de bloques angulosos y subangulosos fracturados. También se presentan algunos líticos de andesitas con diferente grado de alteración y matriz areno-arcillosa

CALDERA CHANJALÉ							
1535	587576.08	1678939.19	TAC9875	Cerca de Malacate	Lava Caldera Ter		Lava caldera
1680	591283.92	1676986.87	TAC0328B	camino a Las ventanas	Flujo de lava		Trail to Las Ventanas
1680	591283.92	1676986.87	TAC0328B	camino a Las ventanas	Flujo de lava		
990	584680.57	1670909.34	TAC0358C	Camino a Chespal	Flujo de lava		
1130	587371.53	1669720.86	TAC0361C	Tecoytac	Flujo de lava		Contacto entre granito y flujo de lava en una pared de altura <10m. El flujo de lava presenta estructuras de flujo y líticos de andesita con bordes de reacción.
1535	587576.08	1678939.19	TAC9876a	Finca de Muxbal	Ignimbrita		Líticos juveniles en ignimbrita
1500	591225.31	1676710.11	TAC02111		Ignimbrita		DAD con aproximadamente 53cm de espesor.
1680	591283.92	1676986.87	TAC0328A	camino a Las ventanas	Ignimbrita y andesita		Andesita de color gris oscuro con cristales de plagioclasa y matriz afanítica inmersos en ignimbrita.
1535	587576.08	1678939.19	TAC9876a	Finca de Muxbal	Ignimbrita		
1600	591255.63	1676587.32	TAC0327A	camino a Las ventanas	FBC		Depósito de flujo de bloques y cenizas que presenta algunas partes con alteración hidrotermal.
1035	588392.62	1676054.06	TAC0330a	Las Ventanas	Flujo de detritos	26,340+910/-820	Flujo de detritos con tendencia a flujo hiperconcentrado, estratificación gradada inversa con elastos redondeados.
1045	587648.93	1675406.05	TAC0331a	Las Ventanas	DAD		Control cartográfico. DAD antiguo con ignimbrita.
1090	587649.04	1675375.33	TAC02120		DAD		DAD heterolítico con matriz café rojizo.
475	582310.63	1665708.48	control	Caldera Chanjale	Lahar		Punto de control cartográfico
CALDERA SIBINAL							
2882	602390	1680352	TAC0355C		Surge y Depósito de caída		Depósito de caída de 3m de espesor, de color amarillo con pumice de color amarillo, poco vesiculada, con estratificación gradada inversa, líticos de color gris de composición andesítica, con diámetro de 3 a 5 cm. Hacia la base se encuentra en contacto con un depósito arcilloso (SURGE)
2787	601482	1680745	TAC0357C		Domo		Roca del domo que en esta sección se comporta como colada de lava con estructura fluidal, constituida por fenocristales de plagioclasas con diámetro de 1cm, de formas tabulares, euhedrales y subhedrales, fenocristales de piroxenos de 0,5mm rodeados por una matriz vítrea de color oscuro. Esta roca posee coloración rosa en algunas partes y textura afanítica en las mismas.
2988	602725.23	1681274.31	TAC0341C	Camino al Tacaná poblado	Flujo de lava		Afloramiento de lavas con alteración en capas. Exfoliación tipo cebolla. Roca de color gris con fenocristales de plagioclasa y piroxenos. Máficos muy escasos
3086	605369.89	1677076.48	TAC0340C	Camino al Tacaná poblado	Flujo de lava		Afloramiento de lava de color gris oscuro con textura porfirica con plagioclasa rodeada por vidrio. Roca muy densa y compacta. Se observan xenolitos de 8 cm de longitud de una andesita con hbl y px alterada.

VOLCÁN CHICHUJ						
455	583875.02	1662364.97	control	Santo Domingo	Lahar	Punto de control cartográfico
2930	597215.56	1671510.69	TAC9887	a Talquian	Flujo de lava	
2050	596948.8	1671048.7	TAC9888	Pepales	Flujo de lava	
2175	599100.78	1670412.39	TAC9890	C. Chiqui. F. Guatemala	Flujo de lava	
2175	599100.78	1670412.39	TAC9891p		pómez	6910-+-95
2175	599100.78	1670412.39	TAC9891lj-1		FBC	6,000
2175	599100.78	1670412.39	TAC9891lj-2		FBC	6,000
3125	595535.11	1673685.36	TAC0332b	Buenavista	Flujo de lava	Control cartográfico
3130	598103.28	1673388.65	TAC0333a	Buenavista	Flujo de lava	Lava flujo de color gris claro a rosa constituida por dos unidades. Una brecha basal con clastos cuyo diámetro es <45cm cubierto por una unidad masiva de lava.
3110	598074.19	1673204.17	TAC0334al	Buenavista	Lítico FBC	Buenavista BAF
3110	598074.19	1673204.17	TAC0334as	Buenavista	Scoria FBC	Buenavista BAF
2640	599626.7	1673118.5	TAC0335alyp	Tochatzé	pómez	Tochatzé. Depósito de caída de color café claro a amarillo, con estratificación gradada. Los clastos tienen un diámetro de 6,5, 4 y 3 cm. El espesor total de este depósito es de 4 cm.
2640	599626.7	1673118.5	TAC0335awp	Tochatzé	Lítico	Tochatzé. Flujo de pumice con líticos de 10, 8, 7 y 6 cm soportados por una matriz de arena (<15%). Este depósito posee un espesor de 89 cm
3294	599626.7	1673118.5	TAC0335ayp	Tochatzé	pómez	Flujo de pumice de color amarillo, estructura masiva, con líticos cuyo espesor varía de 11 a 16 cm. con 50 cm de espesor
2206	597785.26	1670898.52	TAC0342C	Camino al Tacaná poblado	Flujo de lava	Petrografia en roca encajonante. Andesita de color gris muy compacta y densa. Se encuentra poco vesiculada con encristales de plagioclasa, anfíboles de 4 mm rodeados por una matriz vítrea de color gris.
2206	597785.26	1670898.52	TAC0342Ce	Camino al Tacaná poblado	Flujo de lava	Química en enclave
2228	598053.16	1671083.99	TAC0343Cil	Volcan Chichuj	Lítico gris claro denso	Unidad inferior de un flujo piroclástico
2228	598053.16	1671083.99	TAC0343Cp	Volcan Chichuj	pómez	Flujo de pumice de 6m de espesor. Pumice blanca con fenocristales de piroxeno de 5 mm, anfíboles de 8mm rodeados por una matriz vítrea de color blanco que rodea las vesículas.
2228	598053.16	1671083.99	TAC0343Cil	Volcan Chichuj	pómez	Unidad superior de un flujo piroclástico
2960	598183.73	1675570.53	TAC0336C	Camino al Tacaná poblado	pómez	Muestreo de pumice redondeadas soportadas grano a grano
2210	598714.24	1670042.06	TAC0340a	Las Ventanas	Flujo de lava y FBC	Flujo de lava bandeada.
2610	599656.15	1673210.8	TAC0336a	Las Ventanas	Granito	Granito alterado con lejasamiento. Zona de cizalla.
2301	598736.64	1671824.26	TAC0345C	Camino al Tacaná poblado	Flujo de lava	Punto de control. Aforamiento de lava de 10m de espesor idéntica al punto TAC0342C.
3042	597798.04	1675015.86	TAC0337C	Camino al Tacaná poblado	Avalancha	Megabloque de avalancha. Esta muestra presenta grano muy fino en la parte más externa y posee coloración gris claro.

VOLCÁN TACANÁ						
3755	595539.34	1672640.7	TAC9884-ChV9884	Cráter antiguo	domo	
3755	595539.34	1672640.7	TAC9884-ChV9884	Cráter antiguo	domo	
1694	587576.08	1678939.19	TAC9875	Malacate	Granito	Granito con estrías de falla cuya orientación en N 40° E, falla lateral. Lava de la caldera.
3660	596701.43	1673137.05	TAC9885	Plen Ardillas a la Vega		
3585	596613.39	1672767.97	TAC9886	Flanco sur P. Ardillas	Flujo de lava	
1525	590540.45	1676308.03	TAC0316	Cañada Agua Zarca	Flujo de lava antigua	Punto de control en la Cañada Agua Zarca
1793	591019.85	1675818.27	TAC0324a	Cañada Agua Zarca	Flujo de lava	Lava flujo dispuesta en forma masiva.
			TAC0324a			
4016	595746.66	1673040.97	TAC9878	Cima Volcan Tacaná	Domo Somital	
3930	595836.58	1672949.16	TAC9878b	Campamento	domo	Domo Somital
2830	595869.05	1672304.05	TAC9868	San antonio	FBC	Andesita porfirica rica en plagioclasas, anfíboles con xenolitos.
2470	595788.48	1670091.47	TAC9870a	Mixcun	Flujo de lava	Mixcun
2470	595788.48	1670091.47	TAC9870b	Mixcun	Flujo de lava	Mixcun
1955	596300.6	1668956.7	TAC9701b	500 m. pueblo Chiquihuite	FBC	40,000? Afloramiento en la pared derecha del camino, unos 500m delante de Chiquihuite.
1955	596300.47	1668987.42	TAC9701a	501 m. pueblo Chiquihuite	FBC	40,000? Afloramiento en la pared derecha del camino, unos 500m delante de Chiquihuite.
1775	597436.3	1668654.09	TAC9703	Mina de Chiquihuite	FBC	Bibliografía Espindola, (1983). Baf de color gris claro, denso, textura porfídica. Lítico juvenil rico en plagioclasa, hornblenda y piroxeno
1775	597436.3	1668654.09	TAC9703	Mina de Chiquihuite	FBC	Sezione TAC9706.Lítico juvenil rico en plagioclasas, hornblenda y piroxeno
1055	598205.45	1663157.35	TAC9704jpo	M. Perla	FBC	>38,845 Sezione TAC9706.Lítico juvenil rico en plagioclasas, hornblenda y piroxeno
1055	598205.45	1663157.35	TAC9704jpc	M. Perla	FBC	Sezione TAC9706.Lítico juvenil rico en plagioclasas, hornblenda y piroxeno
1055	598205.45	1663157.35	TAC9704b	M. Perla	FBC	Sezione TAC9706.Lítico juvenil rico en plagioclasas, hornblenda y piroxeno
1055	598205.45	1663157.35	TAC9704	M. Perla	FBC	Sezione TAC9706.Lítico juvenil rico en plagioclasas, hornblenda y piroxeno
835	595222.07	1662469.23	TAC9705	La Trinidad	FBC	Punto de control "La Trinidad"
835	595222.07	1662469.23	TAC9705	La Trinidad	FBC	38,630 Punto de control "La Trinidad"
1705	598125.49	1668042.42	TAC9707po	Carretera Chiquihuite-Unión Juárez	FBC	40,000 Depósito de FBC con matriz de arena fina.
1705	598125.49	1668042.42	TAC9707jpo-1		FBC	Depósito de FBC con matriz de arena fina.
1705	598125.49	1668042.42	TAC9707jpo-2		FBC	Depósito de FBC con matriz de arena fina.
1705	598125.49	1668042.42	TAC9707jpc		FBC	Depósito de FBC con matriz de arena fina.
1705	598125.49	1668042.42	TAC9707		ceniza	Deposito di flusso di blocchi e cenere di 4m di spessore molto alterato di colore rossa.,
1690	598214.41	1668196.42	TAC9708	Carretera Chiquihuite-Unión Juárez	Surge Rossa	Piccolo affioramento dentro una casa campione di carbone dentro flusso piroclastico
1655	598635.84	1667368.58	TAC9709	Carretera Chiquihuite-Unión Juárez	FBC	Líticos bandeados.
1585	598635.84	1667368.58	TAC9710a	Carretera que comunica Talquian y Unión Juárez	ceniza	385 Ceniza café y lapilli. Carbón diseminado.
1585	598635.84	1667368.58	TAC9710b		ceniza	Ceniza café y lapilli. Carbón diseminado.
1585	598635.84	1667368.58	TAC9710c		ceniza	110 Ceniza café y lapilli. Carbón diseminado.
1165	598770.76	1663651.31	TAC9711	Carretera Unión Juárez - Trinidad	suelo	2905+/-75 BAF alterado
755	598770.76	1663651.31	TAC9712	Puente Colorado	Carbon in FBC	1935+/-105 Muestra de carbón dentro del BAF
1363	599321.23	1667678.7	TAC9714	Muxbal	FBC	28540+/-260 BAF con algunos líticos alineados (imbricación?) soportados por una matriz de grano fino.
1363	599321.23	1667678.7	TAC9714jpo	Muxbal	FBC	BAF con algunos líticos alineados (imbricación?) soportados por una matriz de grano fino.
1363	599321.23	1667678.7	TAC9714jpc	Muxbal	FBC	BAF con algunos líticos alineados (imbricación?) soportados por una matriz de grano fino.
1400	600759.78	1666394.29	TAC9715v	Trop in Muxbal?	FBC	Suelo moderno
1400	600759.78	1666394.29	TAC9715obs	Trop in Muxbal?	ceniza	Suelo moderno
1410	600639.7	1666547.41	TAC9716	suelo	Carbon	105+/-40 Suelo.
1410	600639.7	1666547.41	TAC9716	suelo	Carbon	Suelo.
1510	599651.32	1667260.65	TAC9717	Ref. Guatemala	Carbon	El piso se encuentra lleno de arcillas, obsidiana y fragmentos de granito

1505	600068.13	1667558.94	TAC9717	Ref. Guatemala	Carbon		Ceniza formando suelo.
1530	597679.44	1667610.41	TAC9718	Carretera a Muxbal	Carbon		Suelo moderno
1950	597020.23	1668191.49	TAC9724	Chiquihuite-Jz	ceniza verde		Cenizas y arcillas
3010	596468.05	1671814.88	TAC9725	C. Evaristo	ceniza verde		Flujo de cenizas.
3335	596048.15	1672304.78	TAC9726	C. Evaristo	Lava		Flujo de lava y flujo de cenizas.
3735	595717.31	1672917.95	TAC9727a	Crater Viejo alterado	domo		Roca del domo y ceniza.
3735	595717.31	1672917.95	TAC9727b	Crater Viejo alterado	domo		Ceniza verde, pumice y paleosuelo.
3735	595717.31	1672917.95	TAC9727d	Crater Viejo alterado	domo		
3745	595837.2	1672795.53	TAC9728	Crater Viejo alterado	ceniza verde		Ceniza verde, pumice y paleosuelo.
3745	595837.2	1672795.53	TAC9728	Crater Viejo alterado	ceniza verde	65	Ceniza verde, pumice y paleosuelo.
3745	595837.2	1672795.53	TAC9728	Crater Viejo alterado	ceniza blanca		Ceniza verde, pumice y paleosuelo.
3745	595837.2	1672795.53	TAC9728	Crater Viejo alterado	pómez gris	125	Ceniza verde, pumice y paleosuelo.
3745	595837.2	1672795.53	TAC9728	Crater Viejo alterado	horizonte gris	75	Ceniza verde, pumice y paleosuelo.
3745	595837.2	1672795.53	TAC9728c	Crater Viejo alterado	domo		Ceniza verde, pumice y paleosuelo.
3745	595837.2	1672795.53	TAC9728d	Crater Viejo alterado	domo		Ceniza verde, pumice y paleosuelo.
3590	596017.17	1672581.19	TAC9729*	cima del cráter	suelo	185+/-65	Flujo de lava.
3590	596017.17	1672581.19	TAC9729*	cima del cráter	suelo		Flujo de lava.
3590	596018.67	1672212.48	TAC9730	cima del cráter	Flujo de bloques y cenizas	5860+125/-120	Flujo de pumice con líticos juveniles, compuestos por plagioclasas, anfíboles y piroxenos.
			TAC9731	Unión Juárez	Flujo Piroclástico	2,905	
			TAC9731lit	Unión Juárez	Flujo Piroclástico	5,860	
			TAC9731	Unión Juárez	Flujo Piroclástico	2,905	
2335	595936.87	1670307.15	TAC9732	Papales Chiquihui	Flujo Piroclástico		Flujo piroclástico rico en cristales y lapilli.
2420	595287.38	1675896.61	TAC9752A	Cerca del río	Flujo de Bloques y cenizas	16350+/-50	Depósito de BAF con matriz de arena fina y líticos subangulosos.
2420	595287.38	1675896.61	TAC9752j	Cerca del río	Flujo de Bloques y cenizas	16,350	Depósito de BAF con matriz de arena fina y líticos subangulosos. Lítico juvenil.
2340	594178.82	1676967.55	TAC9753i	Cerca del río	Flujo de Bloques y cenizas	16,000?	Depósito de BAF con líticos de andesita de color gris.
2340	594178.82	1676967.55	TAC9753lava	Cerca del río	Colada de lava		Depósito de BAF con líticos de andesita de color gris.
2340	594178.82	1676967.55	TAC9753lava	Cerca del río	Colada de lava		
2340	594178.82	1676967.55	TAC9753	Cerca del río	Colada de lava		
2525	596119.89	1676668.15	TAC9754j	Ahuacatlán	lítico juvenil	16,000	Líticos con fractura concoidal.
				Lejos del camino a Platanar			
2515	588555.99	1664317.65	TAC975j		FBC	16,000	Flujo de cenizas y fragmentos de andesita con textura porfídica, rica en plagioclasas y anfíboles.
2000	589412.21	1667341.1	TAC9889	Camino a Chiquihuite	Flujo de lava		
3815	595956.6	1672796.02	TAC9877	Finca de Muxbal	Flujo de lava y domos		Flujo de lava
3915	595806.86	1672918.31	TAC9878	Campamento	domo		Control cartográfico. Flujo de lava que forma parte del domo grande.
3925	595746.66	1673040.97	TAC9878a	Agua Caliente	domo (antiguo)		Flujo de lava que forma parte del domo grande
3915	595717.31	1672917.95	TAC9878c	Agua Caliente	domo		Domo Somital
							Brecha de explosión de color ocre a rojizo compuesta por una matriz arenosa y con clastos del tamaño de grava
3755	595598.42	1672794.56	TAC9879	Brecha de explosión	Matriz		
3879*	595568.44	1672825.17	TAC9880a	estanque de agua	estrato		
3879	595568.44	1672825.17	TAC9880b	estanque de agua	Matriz		
1660	598364.84	1667920.51	TAC9892a		F. piroclástico	6,000	
1660	598364.84	1667920.51	TAC9892b		F. piroclástico cima	6,000	
1660	598364.84	1667920.51	TAC9892c	Base cam. Xochimilco	F. piroclástico cima	6,000	

1640	591019.85	1675818.27	TAC0324A	Inmediaciones de la barranca El Peñasco	Andesita		Flujo de lava brechada en un espesor de 10 cm. La brecha presenta líticos angulosos y se encuentran soportados por una matriz de arena fina.
1796	591199.63	1675634.62	TAC0306a	Agua Caliente	FBC		Flujo de bloques y cenizas cubiertos por suelo con algunos bloques vesiculados y líticos rojos.
2285	593676.14	1675797.97	TAC0339Ba		FBC		Roca Madura
2285	593676.14	1675797.97	TAC0339Bb		FBC		Roca juvenil
3125	598221.39	1673696.4	TAC0332a	Buenavista	Flujo de lava		Lava flujo
2814	596449.56	1676331.51	TAC0335C	Camino al Tacaná poblado	FBC		Secuencia de depósitos de caída intercalados con BAF, flujo de cenizas
2814	596449.56	1676331.51	TAC0335C1	Camino al Tacaná poblado	FBC		Vidrio volcánico con pómez. Muestra de vidrio volcánico pumice gris con espículas de vidrio que rodean a fenocristales de plagioclasa. Estructura vesiculada.
2814	596449.56	1676331.51	TAC0335C2	Camino al Tacaná poblado	FBC		Líticos de caída. Muestra del depósito de caída donde se encontró pómez, carbón, pómez amarilla con plagioclasa, piroxeno. Fluo de pómez redondeadas soportada grano a grano
3125	595535.11	1673685.36	TAC0332a	Buenavista	Flujo de lava		Control cartográfico
0	599323.03	1667248.55	16	Volcán Tacana	Intrusivo	14,9+-0.3	Bibliografía Demon P & Montesinos. Intrusivo granítico de biotita en el flanco del volcán Tacana
1960	592335.06	1675301.06	TAC0298	Santa María	FBC		Lítico gris con diámetro de 3 a 4 cm, depósito de flujo de bloques y cenizas
1960	592335.06	1675301.06	TAC0298a	Santa María	FBC		Flujo de bloques y cenizas de color gris claro compuesto por una matriz de arena fina con fragmentos cuyo diámetro es <8cm.
1960	592335.06	1675301.06	TAC0298gl	Santa María	FBC		Matriz de arena media con coloración pardo rosada.
1960	592335.06	1675301.06	TAC0298C	Santa María	FBC		Arena media a gruesa de color gris.
1780	591648.26	1675390.55	TAC0294	inmediaciones de Santa María	Flujo de lava andesítica		Roca de color gris oscuro con textura porfirica. A 20m del afloramiento esta roca presenta vesículas.
1780	591648.26	1675390.55	TAC0294	inmediaciones de Santa María	Flujo de lava andesítica		
1740	591497.36	1675820.12	TAC0293	inmediaciones de Santa María	FBC		Roca de color gris de textura fanerítica, densa, con cristales de plg, hbl y px
1740	591497.36	1675820.12	TAC0293	inmediaciones de Santa María	FBC		
1740	591497.36	1675820.12	TAC0293	inmediaciones de Santa María	FBC		
1740	591497.36	1675820.12	TAC0293	inmediaciones de Santa María	FBC		
1645	591047.68	1676340.72	TAC02104a	cerca del Río San Rafael	Flujo de bloques y cenizas		Depósito de flujo de bloques y cenizas soportado por una matriz de grano medio
1645	591047.68	1676340.72	TAC02104ba	cerca del Río San Rafael	Flujo de bloques y cenizas		Andesita. Depósito compuesto por una matriz de arena de grano medio soportando líticos de diámetro <50cm.
1645	591047.68	1676340.72	TAC02104ves	cerca del Río San Rafael	Flujo de bloques y cenizas		Depósito de flujo de bloques y cenizas soportado por una matriz de grano medio
1550	590421.55	1676184.67	TAC02109	cerca del Río San Rafael	Flujo de bloques y cenizas		Flujo de bloques y cenizas con espesor de 1,70m con 4 horizontes
1550	590421.55	1676184.67	TAC02109	cerca del Río San Rafael	Flujo de bloques y cenizas		
1590	591016.52	1676678.58	TAC02112	Flanco Oeste Tacana (colapsado)	Andesita		Andesita de color gris oscuro con cristales de plg, hbl
1590	591016.52	1676678.58	TAC02112	Flanco Oeste Tacana (colapsado)	Andesita		
1590	591016.52	1676678.58	TAC02112	Flanco Oeste Tacana (colapsado)	Andesita		
1590	591016.52	1676678.58	TAC02112ba	Flanco Oeste Tacana (colapsado)	Andesita		
2044	593050.25	1675580.41	TAC0301a		Flujo de cenizas	5075+- 55, 10610+330/- 315	Paleosuelo cubierto por lapillis y depósito de surge constituido por arenas finas con líticos cuyo diámetro es <4mm.
2310	593140.03	1675519.31	TAC0302a		FBC		Secuencia joven de un depósito de surge.

1975	592781.28	1675671.52	TAC0303a		FBC		Depósito de bloques y cenizas con pumice cuyo diámetro es <15mm. Surge con matriz de arena y carbón.
1686	591257.54	1676095.72	TAC0304a	Camino a Benito Juárez	FBC		Flujo de bloques y cenizas
1769	591169.43	1675726.68	TAC0305a	Agua Caliente	Flujo de lava		Lava pofirítica de color gris claro compuesta por plagioclasa, piroxeno y hornblenda rodeados por una matriz de arena alterada
2096	591859.45	1674807.59	TAC0310a	Agua Caliente	Flujo de lava		Punto de control en las casas de Agua Caliente.
1544	590480.17	1676461.43	TAC0315a		FBC		Punto de control cartográfico.
1550	590391.35	1676276.73	TAC0317a		FBC		Suelo moderno con abundantes liticos subredondeados inmersos en una matriz de arena media con estratificación gradada inversa.
1562	590332.96	1675938.53	TAC0318a		FBC		Flujo de bloques y cenizas con bloques subangulosos. Sin correlación con sitios previos.
1553	590303.82	1675754.06	TAC0319a		FBC		Depósito compuesto por bloques subangulosos, heterolitológico.
1604	590812.72	1675356.59	TAC0320a		FBC		Desembocadura del lahar por la Barranca del Peñasco. Hay lavas con enclaves y un espejo de falla con bloques de xenolitos que sobresalen.
1670	590959.57	1675971.67	TAC0325a	Cañada Agua Zarca	FBC		Control cartográfico.
1652	590898.58	1676309.41	TAC0326a	Cañada Agua Zarca	FBC		Control cartográfico. Flujo de bloques y cenizas soportado por una matriz de arena con liticos cuyo diámetro es de 47, 62 y 32 cm.
2280	594628.7	1676416.29	TAC0338a	Las Ventanas	FBC, surge, flujo de lava		Secuencia joven de una BAF gris claro (2m), lava flujo bandeada.
2285	593676.14	1675797.97	TAC0339a	Las Ventanas	Flujo de lava		Lava pofirítica de color gris claro compuesta por plagioclasa, piroxeno y hornblenda rodeados por una matriz de arena alterada
1930	592245.16	1675392.88	TAC0297		Flujo de lava		Flujo de lava de color gris alterando a pardo rojizo, textura porfirica.
1900	592273.2	1675853.88	TAC0299		FBC y surge	155 +/- 65	Surge con carbón diseminado.
1900	592273.2	1675853.88	TAC0299a		FBC		Liticos con xenocristales de hornblenda. Depósito de BAF con bloques subangulosos.
1660	591971.27	1676743.74	TAC02100		FBC		Flujo de detritos heterolitológico compuesto por liticos subredondeados, redondeados y angulosos inmersos en una matriz gris oscura.
1710	591584.51	1676434.97	TAC02101		FBC		Punto de control.
1720	591584.51	1676434.97	TAC02102		FBC		BAF con matriz de arena media con liticos cuyo diámetro es <1 cm, estratificación gradada inversa.
1650	591017.71	1676371.32	TAC02103	cerca del Río San Rafael	Paleosuelo	990 +/- 90	Paleosuelo.
1650	591017.71	1676371.32	TAC02103a	cerca del Río San Rafael	Paleosuelo		Arena media con abundantes liticos formando paleosuelo.
1650	591017.71	1676371.32	TAC02103b	cerca del Río San Rafael	Paleosuelo		Arena de grano medio.
1650	591017.71	1676371.32	TAC02103c	cerca del Río San Rafael	Paleosuelo		Arena media con abundantes liticos formando paleosuelo.
1650	591017.71	1676371.32	TAC02103d	cerca del Río San Rafael	Paleosuelo		No se detecta el espesor real.
1650	591017.71	1676371.32	TAC02103e	cerca del Río San Rafael	Paleosuelo		límite del suelo.
1700	590931.49	1667767.87	TAC02105	cerca del Río San Rafael	Dique		Posible dique andesítico con xenolitos.
1590	591316.39	1676311.03	TAC02110		DAD		DAD en la base del Río con 35cm de espesor.
1600	590718.45	1676585.25	TAC02113		FBC		Flujo de bloques y cenizas de color gris con algunos liticos rosas del tamaño de grava.
1420	589791.19	1677134.75	TAC02115		FBC		Flujo de bloques y cenizas soportado por una matriz de grano medio a fino, con bloques de diámetro <46cm, heterolitológico con bloques subangulosos.
1320	589850.41	1677267.88	TAC02116		FBC		Matriz pardo claro del tamaño de arena.
1415	588777	1677008	TAC02117		FBC		BAF de coloración gris soportado por una matriz de arena media con bloques subredondeados de diámetro <30cm. Hay un megabloque de 5.5m
1450	588775.49	1677407.42	TAC02118		Flujo de detritos y lahar		Secuencia en una pared vertical donde se expone un depósito de lahar y un flujo de detritos de color gris alterando a rojizo.
1360	588805.57	1677346.08	TAC02119		FBC		BAF masivo de color gris con clastos subredondeados rodeados por una matriz de grano medio a fino.

2857	5802242	1680745	TAC0356C		Depósito de caída		gradada inversa. El paleosuelo tiene un espesor de 80cm.
2640?	598976.78	1820610.06	TAC0336B	Tochactze			
DOMO LAS ARDILLAS							
2085	591622.24	1674407.23	TAC0309a	Inmediaciones de Agua Caliente	Flujo de lava		Flujo de lava con algunas estructuras de flujo
2075	591622.24	1674407.23	TAC0309A	Bajo el arroyo	Flujo de lava		Lava flujo bajo el arroyo
2238	595425.66	1671226.85	TAC9869	Barranca Mixcun	Flujo de lava		Roca andesítica de color gris perteneciente a la punta más alta del Volcan San Antonio
3415	594824.08	1672361.28	TAC9862	Sitio de la fumarola	control		Sitio de las fumarolas emitidas por el volcán San Antonio
3395	594883.29	1672484.42	TAC9863a	valle de las ardillas	FBC		Punto de control cartográfico
3395	594883.29	1672484.42	TAC9863b	valle de las ardillas	FBC		Flujo de lava de composición andesítica, textura porfirítica.
3568	594883.29	1672484.42	TAC9865a	Planicie de San Antonio	Líticos juveniles	2015	Surge. Suelo moderno con pumice y algunos líticos juveniles.
3568	594883.29	1672484.42	TAC9865d	Planicie de San Antonio	paleosuelo	2015+/-45	Surge. Suelo moderno con pumice y algunos líticos juveniles.
3568	594883.29	1672484.42	TAC9865c	Planicie de San Antonio	surge	600	Surge. Suelo moderno con pumice y algunos líticos juveniles.
3395	594883.29	1672484.42	TAC9863	valle de las ardillas	Flujo de lava		Punto de control cartográfico. Lava andesítica de color gris clara rica en plagioclasa y hornblenda.
1974	591500.11	1675113.45	TAC0307a	Agua Caliente	Flujo de cenizas	2555+80/-75	Flujo de cenizas, grava dispuesta en forma masiva, arena fina con algunos líticos de diámetro <3cm
1848	591080.49	1675572.7	TAC0314a		FBC y Flujo de lava		BAF gris con grandes bloques angulosos y lava roja alterada
3655	595270.45	1672701.06	TAC9881	brecha cerca del lago	Brecha con matriz arcillo-limosa		Control cartográfico
3585	594973.08	1672423.33	TAC9882a	Solo hay restos de surge	arena gruesa a fina		
2095	591622.24	1674407.23	TAC0308A	control	Flujo de lava		Control cartográfico. Lava antigua con algunos bandeamientos.

VOLCÁN SAN ANTONIO							
3465	594854.3	1672269.22	TAC9864	cima del volcán San Antonio	domo		Andesita de color gris claro con abundantes fenocristales de plagioclasa, hornblenda inmersos en una matriz de grano fino.
3465	594854.3	1672269.22	TAC9864	cima del volcán San Antonio	domo		
3465	594645.73	1672176.21	TAC9865b	valle San Antonio	Clasto juvenil sobre FBC	600+/-50	Lítico juvenil de color ocre subyaciendo un suelo moderno.
3465	594645.73	1672176.21	TAC9865ab	valle San Antonio	FBC		
3465	594645.73	1672176.21	TAC9865p	valle San Antonio	FBC		
1832	590665.15	1674925.87	TAC0322a	Cañada Agua Zarca	FBC litificado		Roca soportada por una matriz de color gris constituida por arena media a fina. Este depósito también incluye fragmentos y pumice de color gris alterando a rojizo.
1100	592666.43	1666914.29	TAC0358C	Santa María la Vega	FBC		
1100	592666.43	1666914.29	TAC0358C	Santa María la Vega	FBC		
3915	595717.19	1672948.68	TAC9878b	volcan San Antonio	domo		Domo Somital
3915	595717.19	1672948.68	TAC9878b	volcan San Antonio	domo		
3520	594706.29	1671961.37	TAC9883a	San antonio	Suelo		
3520	594706.29	1671961.37	TAC9883b		Carbon		BAF masivo grigio compuesto de blocchi 70-80% circundati da una matrice sabbiosa di grana fina. Líticos juveniles ricos in plagioclasa>>pirosseni> anfiboli, pasta di fondo grigio - verdosa. I blocchi presentano fratture
3520	594706.29	1671961.37	TAC9883c		Carbon		Grandiorite con cristalli di pirosseni < 3cm, plagioclasa e anfiboli. I minerali sono leggermente alineati.
3520	594706.29	1671961.37	TAC9883c		Carbon		
3520	594706.29	1671961.37	TAC9883d		Sedimento		BAF grigio chiaro con líticos juveniles ricos in plagioclasa>anfiboli, con fratture di raffreddamento insieme a líticos accidentali rossi alterazione idrotermale. Tre unità di flusso con alineazione dei líticos. Blocchi da <60cm.
3520	594706.29	1671961.37	TAC9883e		Sedimento		

620	592601.45	1660615.34	SA9721	Mixcun	FBC	1825+/-140	Lítico juvenil de textura porfídica, constituido por plagioclasas, piroxenos y anfíboles
620	592601.45	1660615.34	SA9721lj	Mixcun	FBC		Lítico juvenil de textura porfídica, constituido por plagioclasas, piroxenos y anfíboles
620	592601.45	1660615.34	SA9721lj	Mixcun	FBC		Lítico juvenil de textura porfídica, constituido por plagioclasas, piroxenos y anfíboles
620	592601.45	1660615.34	SA9721jv	Mixcun	FBC		Lítico juvenil de textura porfídica, constituido por plagioclasas, piroxenos y anfíboles
620	592601.45	1660615.34	SA9721p	Mixcun	FBC		Lítico juvenil de textura porfídica, constituido por plagioclasas, piroxenos y anfíboles
620	592601.45	1660615.34	SA9721	Mixcun	FBC		Lítico juvenil de textura porfídica, constituido por plagioclasas, piroxenos y anfíboles
1005	592155.77	1667711.16	SA9735ij-a	Sta. Ma. La Vega	FBC	2000	Flujo de cenizas y BAF.
1005	592155.77	1667711.16	SA9735p-b	Sta. Ma. La Vega	FBC	2000	Flujo de cenizas y BAF.
1005	592155.77	1667711.16	SA9735a	Sta. Ma. La Vega	FBC		
1005	592155.77	1667711.16	SA9735b	Sta. Ma. La Vega	FBC		
1010	591986.66	1665129.57	SA9736	Sta. Ma. La Vega	FBC		Líticos con alteración hidrotermal.
920	588757.17	1666407.71	TAC9860	Inmediaciones de Alpujarras	Flujo de lava		Flujo de lava andesítica en contacto con una brecha monolitológica
920	588757.17	1666407.71	TAC9860	Inmediaciones de Alpujarras	Flujo de lava		
3140	595035.62	1671716.89	TAC9861p	Santa María La Vega	pómez	6,000	Pumice amarilla, líticos de color rojizo alterados iguales a los que afloran en el camino de Papales hacia Tacana.
3140	595035.62	1671716.89	TAC9861p	Santa María La Vega	FBC	6,000	Pumice amarilla, líticos de color rojizo alterados iguales a los que afloran en el camino de Papales hacia Tacana.
725	592147.17	1662242.01	TAC9706c	Puente Colorado	ceniza	97+/-65	Paleosuelo.
725	592147.17	1662242.01	TAC9706b	Puente Colorado	ceniza		Flujo de bloques y cenizas con líticos juveniles ligeramente bandeados en algunas partes. presenta una
725	592147.17	1662242.01	TAC9706b	Puente Colorado	ceniza		Ceniza
725	592147.17	1662242.01	TAC9706b	Puente Colorado	ceniza		Ceniza
725	592147.17	1662242.01	TAC9706a	Puente Colorado	ceniza	260+90/-85	Ceniza
725	592147.17	1662242.01	TAC9706	Puente Colorado	ceniza		Piccolo affioramento di 4cm di spessore, surge di colore rossa
725	592147.17	1662242.01	TAC9706	Puente Colorado	ceniza		Ceniza
3585	594795.47	1672053.91	TAC9866	San antonio	Flujo de lava		Flujo de lava joven del Volcan san Antonio.
3585	594795.47	1672053.91	TAC9866	San antonio	Flujo de lava		
3332	594855.78	1671900.52	TAC9867	San antonio	Flujo de lava		Flujo de lava del volcán San Antonio con coloración gris oscuro a rojizo
X	593877.1	1670298.87	TAC9734-1	BAF	Flujo de bloques y cenizas		BAF con bloques angulosos y subangulosos, gradación inversa.
X	593877.1	1670298.87	TAC9734-2	BAF	Flujo de bloques y cenizas		BAF con bloques angulosos y subangulosos, gradación inversa.
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737e	Cima	Paleosuelo	140+/-50	Flujo de bloques y cenizas.
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737d	Cima	Paleosuelo	1950+/-50	Flujo de bloques y cenizas. Carbón
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737b	Cima	Paleosuelo	10,960+/-50	Carbón
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737c	Cima	Paleosuelo	9960+/-50	Carbón
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737	Cima	Paleosuelo	2000	Flujo de bloques y cenizas.
915	591898.76	1664699.07	TAC9739	Santa María la Vega	FBC 2000 anni		Carbón
915	591898.76	1664699.07	TAC9739*	Santa María la Vega	FBC 2000 anni	410+/-50	Carbón
915	591898.76	1664699.07	TAC9738*	Santa María la Vega	FBC 2000 anni	2000	Carbón
850	591901.02	1664115.3	TAC9739	Santa María la Vega	FBC 2000yr	2370+210/-205	BAF soportado por una matriz de arena.
1195	593742.58	1666580.55	TAC9871	San Rafael	FBC		Pendiente.
1195	593742.58	1666580.55	TAC9871	San Rafael	FBC		
755	592086.14	1662579.76	TAC9713	Río rojo?	FBC		Lahar con líticos subangulosos.
470	585541.14	1664060.78	control	San Antonio	Lahar		Punto de control cartográfico

690	588171.02	1663455.91	TAC9710	Camino Tatquián-Juárez	Ceniza	385+/-100	Ceniza con carbón diseminado y lapilli.
755	585555.99	1664317.65	TAC9751	Lejos del camino a Pletanar	FBC		Flujo de cenizas con cristales de plagioclasa y hornblenda (Andesita)
1100	592669.31	1666176.89	TAC9733-1	Camino a Chespal	Flujo de lava		Flujo de lava constituido por plagioclasa y hornblenda (Qz?)
1100	592669.31	1666176.89	TAC9733-2	Camino a Chespal	Flujo de lava		Flujo de lava constituido por plagioclasa y hornblenda (Qz?)
1100	592669.31	1666176.89	TAC0358C	Camino a Toquian	Flujo de lava		
1100	592669.31	1666176.89	TAC9734-1	Camino a Toquian	Block and ash flujo		BAF rico en líticos con cristales subhedral y euhedral de plagioclasa y hornblenda.
1100	592669.31	1666176.89	TAC9734-2	Camino a Toquian	Block and ash flujo		BAF rico en líticos con cristales subhedral y euhedral de plagioclasa y hornblenda.
1255	593591.47	1667040.83	SA9733-TAC9733	Santa María La Vega	pómez		Lava dispuesta en forma masiva.
1100	592669.31	1666176.89	TAC9733	Camino a Toquian	Block and ash flujo		Flujo de lava constituido por plagioclasa y hornblenda (Qz?)
1100	592669.31	1666176.89	TAC0360Cg	Camino a Toquian	Dique		Se tomó muestra para datación por micas
1100	592669.31	1666176.89	TAC0360Ci	Camino a Toquian	Dique		
1700	590931.49	1667767.87	TAC02106	cerca del Río San Rafael	FBC		Pared vertical de color café (30-40m) con matriz de arena sosteniendo fragmentos de ignimbrita con diámetro <25mm.
2263	591683.49	1674008.04	TAC0311a	Agua Caliente	Surge		Surge.
1710	590694.29	1675110.33	TAC0321A	Inmediaciones de la barranca El Peñasco	FBC		Pared antigua de Flujo de Bloques y cenizas que presenta una matriz de arena que sostiene múltiples clastos subangulosos a subredondeado.
1710	590694.29	1675110.33	TAC0321A	Inmediaciones de la barranca El Peñasco	FBC		
1005	592155.77	1667711.16	TAC9735	Santa María	Flujo de cenizas		Flujo de cenizas con pumice- Testigo
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737e	Cima	Paleosuelo	140	Flujo de bloques y cenizas.
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737d	Cima	Paleosuelo	1950	Flujo de bloques y cenizas. Carbón
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737b	Cima	Paleosuelo	10960	Carbón
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737c	Cima	Paleosuelo	9960	Carbón
1010	556234.97	1755715.95	TAC9737	Cima	Paleosuelo	2000	Flujo de bloques y cenizas.
2266	591473.25	1674345.2	TAC0312a	Agua Caliente	FBC		Suelo moderno.
DEPÓSITOS FLUVIALES							
330	587404.77	1577180.38	TAC9740a	La Gravera	Lahar		Líticos de andesita y pumice rodeados por una matriz de arena.
330	587404.77	1577180.38	TAC9740b	La Gravera	Lahar		Líticos de andesita y pumice rodeados por una matriz de arena.
530	588449.79	1723618.05	TAC9741	Cacahoatan - La Rioja	Flujo de bloques y cenizas		Líticos juveniles subredondeados y pómez sostenidos por una matriz arenosa
530	588449.79	1723618.05	TAC9742	Cacahoatan - La Rioja	Flujo de bloques y cenizas		
330	591828.98	1651824.97	TAC9742	Casa Sr Angel Castanon	lahar		Estratos masivos con líticos de color gris inmersos en una matriz de arena (heterolitológico)
330	591866.98	1577933.68	TAC9743	Casa Sr Angel Castanon	Lahar y deposito fluvial		Deposito fluvial soportado por una matriz de arena con una abundancia del 60% que contiene clastos subangulosos a subredondeados de color gris.
360	589200.13	1651784.28	TAC9744	Tuxtla Chico	Lahar y deposito fluvial		Matriz del depósito de lahar constituida por arena.
330	587258.62	1651684.94	TAC9745	similar a 9744	Lahar y deposito fluvial		Matriz del depósito de lahar constituida por arena.
	587256.94	1652145.81	TAC9746	similar a 9740	Lahar		Material con pumice y líticos de andesita de coloración gris a pardo rojizo.
350	586714.74	1653372.82	TAC9747	Río Tizate	deposito fluvial		Depósito fluvial con fragmentos de dacitas.
410	585577.39	1653983.21	TAC9748	Sívano Gatica	Suelo		Suelo laterítico de con fragmentos de pumice alterando a pardo rojizo.
	587993.03	1655067.36	TAC9749	Manuel Lazos Town	Secuencia de depósito fluvial		Depósito fluvial.
40	582019.66	1646136.03	TAC9856	Creca del río Coatán	Flujo de detritos		Flujo de detritos hiperconcentrado con clastos del tamaño de grava redondeados
140	582050.37	1637133.99	TAC9857	Inmediaciones de Guadalupe Victoria	Flujo de detritos		Flujo hiperconcentrado
220	580029.95	1651383.13	TAC0341A	Tapachula	Conglomerado		Observación de las terrazas de inundación

210	580029.02	1651659.64	TAC9858	Centro cultural	Flujo de detritos		Terraza fluvial heterolitológica con líticos redondeados inmersos en una matriz de arena con coloración café oscuro y rojiza.
380	588191.42	1649875.61	TAC9722	Izapa Arkeolo	ceniza		Suelo asociado a capas de color verde, con arcillas.
175	579291.03	1648984.19	TAC9723	Frente Bitol	ceniza verde		Cenizas y arcillas
175	579291.03	1648984.19	TAC9723	Frente Bitol	ceniza blanca		Cenizas y arcillas
1370			SA9320	Terraza aluvial		2,000	Control Cartográfico. Terraza aluvial generada por flujo del volcán San Antonio
X			SA9821	Terraza aluvial			Control Cartográfico. Terraza aluvial generada por flujo del volcán San Antonio

ANEXO 2: QUÍMICA DE ROCA TOTAL

BASAMENTO															
Muestra	Geo.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total LOI	Total LOI
TAC0359	51.67	51.67	0.873	17.74	9.05	0	0.165	5.74	8.95	3.12	1.01	0.17	1.07	99.558	
TAC9702	50.88	50.88	1.73	15.89	13.99	0	0.23	3.71	7.87	3.24	1.14	0.43	0.89	100	
TAC9719	70.66	70.66	0.29	15.28	2.73	0	0.07	0.67	2.83	4.37	2.75	0.10		99.75	
TAC0354C	60.18	60.18	0.559	18.22	5.62	0	0.102	1.95	5.28	3.3	2.09	0.17	2.45	99.921	
TAC9959	54.12	54.12	1.44	14.95	3.07	7.8	0.19	4.48	7.64	3.13	1.59	0.22	1.37	100	
TAC0364	88.66	88.66	0.421	15.36	3.39	0	0.067	1.05	2.61	4.34	2.9	0.15	0.69	99.638	
SECUENCIA DE CALDERAS															
Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total LOI	Total	
TAC0360	60.51	0.633	17.33	6.18	0	0.116	2.38	6.05	3.51	2.18	0.16	1.05	100.099	99.05	
TAC0348C	57.2	0.741	18.07	7.17	0	0.114	2.35	6.16	3.9	1.96	0.38	1.10	99.145	98.05	
TAC0348C	57.94	0.82	17.7	7.22	0	0.11	2.64	6.5	3.74	2.16	0.25	0.65	99.73	99.08	
TAC0337p	58.9	0.544	18.35	5.91	0	0.122	2.4	5.95	3.45	1.84	0.17	2.00	99.636	97.64	
TAC0382C	64.48	0.608	16.12	5.14	0	0.079	1.8	4.46	3.59	2.94	0.17	0.63	100.017	99.39	
TAC0363C	56.39	0.948	17.54	7.56	0	0.101	3.44	7.27	4	1.74	0.28	0.45	99.719	99.27	
TAC0381C	59.91	0.629	17.04	6.39	0	0.119	2.54	5.94	3.43	2.12	0.18	1.00	99.298	98.30	
TAC9876a	57.2	0.73	18.67	3.07	3.52	0.17	2.61	7.98	2.81	1.5	0.21	1.53	100	98.47	
TAC9876b	61.65	0.59	17.17	2.48	2.76	0.11	2.16	5.72	3.94	2.16	0.13	1.13	100	98.87	
TAC0328B	53.81	0.88	17.65	8.44	0	0.13	2.66	9.32	3.19	1.46	0.25	2.34	100.13	97.79	
VOLCÁN CHICHUJ															
Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total LOI	Total	
TAC9887	58.77	0.69	18.74	3.68	2.28	0.12	3.02	6.22	3.64	1.85	0.11	0.88	100	99.12	
TAC9890	62.71	0.54	17.84	2.28	2.26	0.11	2.22	5.47	3.68	2.3	0.13	0.46	100	99.54	
TAC9891p	60.38	0.51	19.82	2.15	2.16	0.1	2.09	4.51	3.39	2.11	0.13	2.65	100	97.35	
TAC9891lj-1	64.72	0.45	16.62	1.15	2.82	0.1	2.03	4.94	4.02	2.14	0.13	0.88	100	99.12	
TAC0335alyp	55.9	0.642	19.46	6.84	0	0.122	2.54	5.69	3.14	1.53	0.08	4.07	100.014	95.94	
TAC0335awp	57.76	0.647	18.87	6.73	0	0.121	2.53	5.86	3.36	1.55	0.06	2.27	99.758	97.49	
TAC0342C	58.42	0.729	17.59	6.92	0	0.118	3.45	6.61	3.54	1.73	0.18	0.18	99.467	99.29	
TAC0342Ce	52.75	1.026	18.26	8.55	0	0.118	5.08	8.05	3.53	1.19	0.21	0.19	98.954	98.76	
TAC0343Cit	58.02	0.614	18.5	6.28	0	0.116	2.37	5.9	3.31	1.7	0.2	3.05	100.06	97.01	
TAC0343Cp	61.35	0.59	17.32	6.03	0	0.114	2.3	5.66	3.63	2.13	0.18	-0.01	99.294	99.30	
TAC0343Cit	58.02	0.614	18.5	6.28	0	0.116	2.37	5.9	3.31	1.7	0.2	3.05	100.06	97.01	

VOLCÁN TACANA														
Muestra	Geo.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total LOI
TAC9884	64.63	64.63	0.54	16.2	1.95	2.24	0.1	2.04	5.63	3.93	2.34	0.13	0.27	100
TAC9875	57.59	57.59	0.73	18.22	3.1	3.24	0.17	2.59	8.2	3.69	1.51	0.22	0.74	100
TAC9885	62.22	62.22	0.56	17.65	1.56	2.9	0.11	2.14	5.68	3.7	2.18	0.16	1.14	100
TAC0323a	54.66	54.66	0.8	17.53	7.86	0	0.17	3	7.3	3.74	1.75	0.27	1.98	99.06
TAC0324a	59.58	59.58	0.67	17.36	6.33	0	0.11	2.55	5.95	3.67	2.02	0.16	0.44	98.84
TAC9870a	62.15	62.15	0.57	17.25	1.6	3.26	0.11	2.21	5.71	3.74	2.21	0.13	1.06	100
TAC9870b	55.57	55.57	1.244	16.21	9.34	0	0.158	4.05	7.41	3.36	1.368	0.065	1.23	100
TAC9701b	60.54	60.54	0.58	17.3	6.22	0	0.11	2.3	5.54	3.7	2.27	0.15	1.29	100
TAC9704j	60.67	60.67	0.6	17.43	6.03	0	0.11	2.42	5.52	3.7	2.24	0.14	1.14	100
TAC9704j	59.75	59.75	0.59	17.38	6.36	0	0.11	2.44	5.68	3.6	2.13	0.14	1.82	100
TAC9707po	59.65	59.65	0.68	17.41	6.19	0	0.11	2.44	5.63	3.59	2.08	0.15	2.07	100
TAC9707j	60.45	60.45	0.57	17.45	6.15	0	0.11	2.24	5.85	3.74	2.23	0.18	1.03	100
TAC9707j	61.15	61.15	0.56	17.04	5.89	0	0.11	2.28	5.68	3.68	2.2	0.15	1.26	100
TAC9714j	61.4	61.4	0.56	17.29	6.08	0	0.11	2.33	5.73	3.71	2.2	0.14	0.45	100
TAC9714j	60.44	60.44	0.58	17.09	6.2	0	0.11	2.32	5.64	3.81	2.18	0.14	1.49	100
TAC9726	60.98	60.98	0.61	17.33	6.32	0	0.11	2.43	5.97	3.8	2.19	0.15	0.11	100
TAC9727d	61.51	61.51	0.57	16.6	5.94	n.m.	0.11	2.23	5.55	3.72	2.37	0.16	0.49	99.25
TAC9728c	60.52	60.52	0.57	16.91	6.48	0	0.12	2.27	5.89	3.6	2.19	0.17	1.28	100
TAC9728d	61.51	61.51	0.57	16.6	5.94	0	0.11	2.23	5.55	3.72	2.37	0.16	1.24	100
TAC9752j	62.68	62.68	0.52	17.61	0.63	3.44	0.1	2.16	5.79	3.75	2.1	0.13	1.09	100
TAC9753lava	61.14	61.14	0.57	17.5	1.29	3.8	0.11	3.05	5.92	3.87	1.96	0.14	0.65	100
TAC9753	60.13	60.13	0.67	18.22	2.59	3.32	0.12	2.31	6.53	3.69	1.7	0.12	0.60	100
TAC9889	59.95	59.95	0.61	18.56	3.86	1.7	0.11	2.89	6.2	3.77	1.87	0.13	0.35	100
TAC9878a	63.3	63.3	0.53	17.15	1.57	2.78	0.11	2.17	5.81	3.86	2.24	0.13	0.35	100
TAC9878c	62.88	62.88	0.53	17.44	1.61	2.66	0.1	2.17	5.87	3.84	2.18	0.12	0.80	100.2
TAC9892a	62.22	62.22	0.56	17.16	1.13	3.52	0.11	2.32	5.77	3.68	2.29	0.13	1.11	100
TAC9892b	62.08	62.08	0.59	17.47	1.79	2.76	0.1	2.42	5.46	3.84	2.24	0.13	1.12	100
TAC9892c	60.68	60.68	0.64	18.25	2.03	3.2	0.11	2.36	6.4	3.97	1.87	0.12	0.37	100
TAC0332a	59.78	59.78	0.648	17.51	6.6	0	0.125	2.56	6.11	3.39	2.15	0.17	1.02	100.063
TAC0335C1	59.52	59.52	0.64	17.38	6.6	0	0.121	2.54	6.16	3.3	2.07	0.19	0.85	99.371
TAC0335C2	55.68	55.68	0.661	19.08	6.63	0	0.12	2.47	6.04	3.02	1.5	0.18	4.71	100.091
TAC0298	62.11	62.11	0.567	16.79	5.22	0	0.103	2.14	5.17	3.74	2.36	0.14	1.66	100
TAC0294	60.4	60.4	0.641	17.42	6.15	0	0.116	2.56	5.92	3.66	2.12	0.17	0.84	100
TAC0294	60.47	60.47	0.643	17.41	6.18	0	0.117	2.56	5.9	3.68	2.2	0.17	0.67	100
TAC0293	60.22	60.22	0.646	17.16	5.96	0	0.111	2.63	5.87	3.65	2.04	0.16	1.55	100
TAC0293	60.45	60.45	0.655	17.43	6.09	0	0.111	2.62	5.97	3.69	2.17	0.17	0.64	100
TAC02104a	61.26	61.2	0.648	17.53	6.16	0	0.117	2.35	5.73	3.75	2.22	0.19	0.10	100
TAC02104ba	60.6	60.6	0.67	17.58	6.38	0	0.116	2.6	6.06	3.72	2.04	0.18	0.05	100
TAC02104ves	59.72	59.72	0.659	17.49	6.26	0	0.117	2.59	6.1	3.6	2.03	0.17	1.26	100
TAC02109	59.49	59.49	0.635	17.1	6.29	0	0.119	2.51	5.95	3.76	2.06	0.17	1.92	100
TAC02112	59.58	59.58	0.623	16.71	5.99	0	0.114	2.36	5.77	3.78	2.11	0.17	2.79	100
TAC02112ba	60	60	0.64	16.93	6.09	0	0.12	2.53	5.96	3.75	2.1	0.16	1.16	99.44
TAC0297	58.56	58.56	0.741	17.66	6.11	0	0.114	3.19	6.49	3.76	1.78	0.17	1.43	100
Domo Las Ardillas														
Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total LOI	Total
TAC0309a	60.76	60.7	17.46	6.38	*	0.12	2.64	6.2	3.76	2.05	0.16	0.15	100.35	100.2
TAC0313A	64.64	0.6	16.5	5	*	0.08	1.36	4.32	3.71	3.08	0.16	0.83	100.28	99.45
TAC9865a	61.38	0.61	17.54	2.02	3.36	0.11	2.79	5.65	3.63	1.97	0.13	0.81	100	99.19
TAC9863	62.96	0.58	16.76	1.82	3	0.11	2.42	5.74	3.82	2.06	0.13	0.60	100	99.4

VOLCÁN SAN ANTONIO														
Muestra	Geo.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	
TAC9864	64.41	64.41	0.45	17.3	0.9	2.76	0.09	2.31	5.04	3.82	2.17	0.15	0.60	100
TAC9864	61.64	61.64	0.61	17.37	5.64	n.m.	0.11	2.47	5.36	3.68	2.09	0.15	0.44	99.56
TAC9865ab	63.03	63.03	0.57	16.4	2.15	2.84	0.11	2.37	5.64	3.94	2.27	0.12	0.56	100
TAC9865p	62.43	62.43	0.58	16.61	2.28	2.95	0.11	2.44	5.88	3.69	2.06	0.12	0.85	100
TAC0358C	59.56	59.56	0.653	17.46	6.5	0	0.109	2.6	6.04	3.57	1.79	0.17	0.53	98.982
TAC0359C	57.87	57.87	0.69	17.83	6.93	0	0.12	3.22	6.75	3.72	1.65	0.16	0.60	99.54
TAC9878b	64.49	64.49	0.5	16.59	2.06	2.04	0.1	2.04	5.39	3.87	2.41	0.13	0.38	100
TAC9878b	62.78	62.78	0.55	16.88	5.26	n.m.	0.1	2.17	5.34	3.7	2.32	0.15	0.23	99.48
SA9721j	61.77	61.77	0.58	16.83	5.84	0	0.1	2.36	5.67	3.79	2.2	0.15	0.71	100
SA9721j	61.98	61.98	0.56	16.7	5.71	0	0.1	2.3	5.64	3.8	2.34	0.14	0.73	100
SA9721fv	61.24	61.24	0.59	16.94	6.11	0	0.11	2.45	5.74	3.77	2.17	0.15	0.73	100
SA9721p	60.36	60.36	0.56	16.47	5.82	0	0.1	2.23	5.52	3.68	2.18	0.15	2.93	100
SA9735j-a	59.81	59.81	0.65	18.14	5.84	n.m.	0.11	2.46	5.61	3.59	1.83	0.17	1.41	99.62
SA9735p-b	59.53	59.53	0.69	17.57	6.52	n.m.	0.12	3	5.92	3.61	1.92	0.16	0.43	99.47
SA9735a	60.94	60.94	0.6	18.21	1.71	3.32	0.11	2.79	5.85	3.63	1.93	0.14	0.77	100
SA9735b	61.43	61.43	0.6	17.97	2.15	2.8	0.1	2.37	5.35	3.68	1.91	0.14	1.50	100
TAC9860	57.49	57.49	0.81	18.87	2.72	3.72	0.13	2.77	7.53	3.6	1.7	0.18	0.48	100
TAC9866	64.21	64.21	0.48	17.58	1.37	2.48	0.08	1.71	4.94	4.64	1.85	0.1	0.56	100
TAC9866	63.74	63.74	0.51	17.48	4.39	n.m.	0.08	1.75	4.73	4.54	2.01	0.16	0.33	99.72
TAC9867	61.9	61.9	0.55	17.79	1.82	2.8	0.1	2.81	5.96	3.71	2.05	0.12	0.39	100
TAC9734-1	60.21	62.1	0.55	17.49	1.39	3.28	0.11	2.24	5.97	3.56	2.15	0.12	1.04	100
TAC9871	61.68	61.68	0.6	17.49	2.78	2.68	0.11	2.56	5.9	3.72	1.86	0.13	0.49	100
TAC9733-1	58.88	58.88	0.7	18.13	2.56	3.8	0.13	2.91	6.87	3.88	1.54	0.12	0.48	100
TAC9733-2	57.64	57.64	0	18.20	7.24	0.123	3.23	6.32	3.56	1.63	0.735	0.17	0.67	99.518
TAC9734-2	61.47	61.47	0	17.19	5.94	0.112	2.29	5.78	3.46	2.26	0.605	0.17	0.81	100.087
TAC0360Cg	52.64	52.64	1.401	15.57	12.35	0	0.191	4.18	8.08	3.35	1.34	0.34	-0.20	99.242
TAC0321A	56.63	56.63	0.84	17.53	7.31	0	0.15	1.45	6.66	3.91	2.39	0.26	2.24	99.37

ANEXO 3: ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Forma				Tamaño			Textura de la roca					CLASIFICACIÓN								
Muestra: TAC02114				Cristales	% Vol.	Euhedral	Subhedral	Anhedral	>3mm	0.3mm - 3mm	< 0.3mm	Panidiomórfica	Alotriomórfica	Hipidiomórfica	Micogranítica					Granito de biotita
%Cristal.	Holocristalina	X	Cuarzo	10	X				x	X		Dentro de los cristales de plagioclasa se puede observar intercrecimiento de minerales hidratados como lo son los anfíboles. Esta roca presenta poca alteración.								
	Holohialina		Feld. K	10	x	x			x											
	Hipocristalina		Plag.	30	x	X	X		X											
Matriz	Vidrio		Anfib.	20	X				X											
	Crist-vidrio		Biotita	25	x	X	x		X	X										
	Cristales		Musc.																	
			Ox. Fe-Ti	5	X	X			X											
Forma				Tamaño			Textura de la roca					CLASIFICACIÓN								
Muestra: TAC0364C				Cristales	% Vol.	Euhedral	Subhedral	Anhedral	>3mm	0.3mm - 3mm	< 0.3mm	Panidiomórfica	Alotriomórfica	Hipidiomórfica	Micogranítica					Diorita
%Cristal.	Holocristalina	X	Cuarzo									Esta muestra gran abundancia de óxidos de hierro y titanio, cristales de ortopiroxeno, clinopiroxeno (titanoaugita) y olivino en menor cantidad. Las plagioclasas presentan inclusiones y agregados de minerales transparentes								
	Holohialina		Feld. K	50	X	X			x	x										
	Hipocristalina		Plag.																	
Matriz	Vidrio		Anfib.																	
	Crist-vidrio		Biotita																	
	Cristales		Musc.																	
			Ox. Fe-Ti	10	x	x	x			x										
			Piroxeno	30	x	x	x			x										
			Olivino	10	X	X	X			x										
Forma				Tamaño			Textura de la roca					CLASIFICACIÓN								
Muestra: TAC9719				Cristales	% Vol.	Euhedral	Subhedral	Anhedral	>3mm	0.3mm - 3mm	< 0.3mm	Panidiomórfica	Alotriomórfica	Hipidiomórfica	Micogranítica					Granito de biotita
%Cristal.	Holocristalina	X	Cuarzo	50	X	X	X		X			Los cristales de esta roca son predominantemente anhedrales y el cuarzo presenta en algunos casos inclusiones. Los cristales de micas y anfíboles se presentan en aglomerados con cristales del tamaño de microlitos con óxidos de hierro. También en algunas plagioclasas se puede observar intercrecimientos y zoneamiento normal.								
	Holohialina		Feld. K	15	X				X											
	Hipocristalina		Plag.	15	X	X			X											
Matriz	Vidrio		Anfib.	5	X	X			X											
	Crist-vidrio		Biotita	10	X				X											
	Cristales		Musc.																	
			Ox. Fe-Ti	5		X			X											

Grado de cristalinidad											Clasificación: Andesita de hornblenda							
Muestra: TAC0355C		Cristales	% Vol.	Forma			Tamaño			Textura de la roca		Observaciones						
°Cristal.	Holocristalina	Plag.	30	Euhedral	Subhedral	Anhedral	>3mm	0.3mm - 3mm	< 0.3mm	Porfírica	Microporfírica	Vitrificada	Glomeroporfírica	Traquítica	Pseudotraquítica	Vesicular	Surge y depósito de caída	
°Cristal.	Holocristalina	Plag.	30		x	x	x	x	x									En esta roca se presentan dos fases en la matriz: una constituida por vidrio y otra formada por vidrio y microlitos debido posiblemente la dinámica del flujo en el momento del depósito. En los cristales de plagioclasa se puede observar zonamiento de manera escasa, así como pequeños intercrecimientos de estos cristales. Los cristales de anfíbol y piroxeno poseen bordes de reacción y estos son de mayor tamaño en la parte donde la matriz es vítrea, donde llegan a tener tamaño de fenocristales.
	Holohialina	Piroxeno	5	x	x			x	x									
	Hipocristalina	X Anfib.	15		x	x	x	x	x									
Matriz	Vidrio	Olivino																
	Crist-vidrio	X Biotita																
	Cristales	Musc.																
Matriz: 50%	Ox. Fe-Ti	5			x				x									
	Otros																	
Grado de cristalinidad											Clasificación: Andesita de augita.							
Muestra: TAC0357C		Cristales	% Vol.	Forma			Tamaño			Textura de la roca		Observaciones						
°Cristal.	Holocristalina	Plag.	15	Euhedral	Subhedral	Anhedral	>3mm	0.3mm - 3mm	< 0.3mm	Porfírica	Microporfírica	Vitrificada	Glomeroporfírica	Traquítica	Pseudotraquítica	Vesicular	Parte del domo que se comporta como colada de lava	
°Cristal.	Holocristalina	Plag.	15		x		x	x	x									En esta roca las plagioclasas poseen zonamiento muy escaso y anfíboles y piroxenos presentan bordes de reacción. Las plagioclasas alcanzan tamaños de hasta 1 cm de diámetro y en su interior también hay inclusiones de vidrio.
	Holohialina	Piroxeno	10	x	x			x	x									
	Hipocristalina	X Anfib.	10		x	x	x	x	x									
Matriz	Vidrio	Olivino																
	Crist-vidrio	X Biotita																
	Cristales	Musc.																
Matriz: 60%	Ox. Fe-Ti	5		x	x			x	x									
	Otros																	
Grado de cristalinidad											Clasificación: Andesita de hornblenda							
Muestra: TAC0361C		Cristales	% Vol.	Forma			Tamaño			Textura de la roca		Observaciones						
°Cristal.	Holocristalina	Plag.	30	Euhedral	Subhedral	Anhedral	>3mm	0.3mm - 3mm	< 0.3mm	Porfírica	Microporfírica	Vitrificada	Glomeroporfírica	Traquítica	Pseudotraquítica	Vesicular	Flujo de lava en contacto con granito	
°Cristal.	Holocristalina	Plag.	30		x	x	x	x	x									Esta roca presenta una cantidad importante de minerales opacos, así como zonamiento normal en plagioclasas de manera escasa y algunos glomero-cristales de anfíbol.
	Holohialina	Piroxeno	5		x	x		x	x									
	Hipocristalina	X Anfib.	15			x												
Matriz	Vidrio	Olivino																
	Crist-vidrio	X Biotita																
	Cristales	Musc.																
Matriz: 40%	Ox. Fe-Ti	10			x			x										
	Otros							x	x									

Grado de cristalinidad											Textura de la roca						Clasificación: Andesita de augita.
Muestra: TAC9876a		Cristales	% Vol.	Forma			Tamaño			Textura de la roca						Observaciones	
°Cristal.	Holocristalina	Plag.	30	Euhedral	Subhedral	Anhedral	>3mm	0.3mm - 3mm	< 0.3mm	Porfírica	Microporfírica	Vitrofírica	Glomeroporfírica	Traquítica	Pseudotraquítica	Vesicular	Lítico juvenil de un flujo piroclástico (Ignimbrita)
				X	X		X	X	X	X	X						
°Cristal.	Holohialina	Piroxeno	15	X	X	X	X	X	X	Se observa zonamiento de plagioclasa de manera abundante, textura sieve y celular con inclusiones de vidrio. También se pueden observar algunos glomeroporfidos de plagioclasas con anfíboles, piroxenos, óxidos de Fe-Ti. En los cristales de piroxeno y olivino hay gran cantidad de de óxidos de Fe-Ti.							
	Hipocristalina	X Anfib.															
Matriz	Vidrio	Olivino	5		X	X		X	X								
	Crist-vidrio	X Biotita															
Matriz: 50%	Cristales	Musc.															
	Ox. Fe-Ti	10			X		X	X									
Otros																	
Grado de cristalinidad																Textura de la roca	
Muestra: TAC9876b		Cristales	% Vol.	Forma			Tamaño			Textura de la roca						Observaciones	
°Cristal.	Holocristalina	Plag.		Euhedral	Subhedral	Anhedral	>3mm	0.3mm - 3mm	< 0.3mm	Porfírica	Microporfírica	Vitrofírica	Glomeroporfírica	Traquítica	Pseudotraquítica	Vesicular	Ignimbrita
	Holohialina	Piroxeno															
°Cristal.	Hipocristalina	X Anfib.								Esta roca se compone en su mayoría por microfenocristales de plagioclasa y piroxeno, así como de cristales de olivino en menor cantidad, fragmentos de roca cuya textura es porfírica con presencia de minerales opacos. Predomina el vidrio.							
	Vidrio	Olivino															
Matriz	Crist-vidrio	X Biotita															
	Cristales	Musc.															
Matriz: 50%	Ox. Fe-Ti																
	Otros																

Grado de cristalinidad											Textura de la roca						Clasificación: Andesita de augita.
Muestra: TAC0328a-p		Cristales	% Vol.	Forma			Tamaño			Textura de la roca						Observaciones	
°Cristal.	Holocristalina	Plag.	30	Euhedral	Subhedral	Anhedral	>3mm	0.3mm - 3mm	< 0.3mm	Porfírica	Microporfírica	Vitrofírica	Glomeroporfírica	Traquítica	Pseudotraquítica	Vesicular	Lítico juvenil de un flujo piroclástico (Ignimbrita)
	Holohialina	Piroxeno	15	X	X	X	X	X	X								
°Cristal.	Hipocristalina	X Anfib.								En esta roca existen múltiples fragmentos de roca con textura microporfírica. También se pueden observar vesículas rellenas con espículas de sílice.							
	Vidrio	Olivino	5			X		X	X								
Matriz	Crist-vidrio	X Biotita								Esta roca se encuentra muy alterada y en algunas partes existe la presencia de carbonatos que le dan a la misma una coloración rosada.							
	Cristales	Musc.															
Matriz: 40%	Ox. Fe-Ti	5		X	X			X	X								
	Otros	5															

