



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
DIVISIÓN DE INGENIERIAS –CAMPUS GUANAJUATO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MINAS  
METALURGÍA Y GEOLOGÍA

**ANÁLISIS MORFOESTRUCTURAL DE LAS RELACIONES  
PETROLÓGICAS DEL GRABEN DE PERIBÁN,  
MICHOACÁN.**

**TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LIC.INGENIERO GEÓLOGO

**PRESENTA: ROMERO MOSQUEDA SANDRA  
JACQUELINE**

GUANAJUATO, GUANAJUATO, JUNIO 2017



GUANAJUATO, GUANAJUATO,  
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
DIVISIÓN DE INGENIERIAS –CAMPUS GUANAJUATO  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MINAS METALURGÍA Y  
GEOLOGÍA

**ANÁLISIS MORFOESTRUCTURAL DE LAS RELACIONES  
PETROLÓGICAS DEL GRABEN DE PERIBÁN,  
MICHOACÁN.**

TEMA DE TESIS:

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LIC.INGENIERO GEÓLOGO

**PRESENTA: ROMERO MOSQUEDA SANDRA JACQUELINE**

ASESORES:

DIRECTOR EXTERNO: DR.PEDRO CORONA CHÁVEZ

CO-DIRECTOR: DRA.MARÍA DEL SOL HERNANDEZ BERNAL

DIRECTOR INTERNO: MC.JUAN JOSÉ MARTÍNEZ REYES.

SINODALES:

DR.RAÚL MIRANDA AVILES

M.I.E .ELÍA MONICA MORALES ZARATE

DRA.POOJA VINOD KSHIRSAGAR

GUANAJUATO, GUANAJUATO, JUNIO 2017.

Guanajuato, Gto., mayo del 2017

Asunto: **Aprobación de Trabajo  
de Titulación.**

**DR. LUIS ENRIQUE MENDOZA PUGA  
DIRECTOR DE DIVISION DE INGENIERIAS  
CAMPUS GUANAJUATO  
P R E S E N T E.**

Los que suscriben, revisores del trabajo, que como requisito para obtención de Título Profesional, fue presentado a revisión por:

**C. Sandra Jacqueline Romero Mosqueda**

Pasante del Programa Educativo de Ingeniero Geólogo de la División de Ingenierías del Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología de la Universidad de Guanajuato, en la modalidad de *Trabajo de Tesis*, con el Título:

***"Análisis Morfoestructural y sus Relaciones Petroológicas  
Del Graben de Peribán, Michoacán"***

Una vez leído, analizado y revisado el trabajo, ha sido aprobado para que continúen con los trámites requeridos para solicitar fecha y sustente examen.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo.

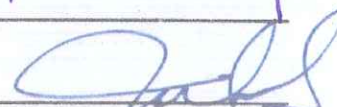
**Atentamente  
"La Verdad Os Hará Libres"**

M.C. Juan José Martínez Reyes  
Director del Trabajo de Titulación



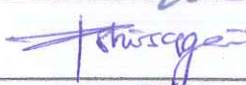
---

Dra. María del Sol Hernández Bernal  
Co-Director del Trabajo de Titulación



---

Dra. Pooja Vinod Kshirsagar  
Sinodal del Trabajo



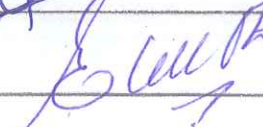
---

Dr. Raúl Miranda Aviles  
Sinodal del Trabajo



---

M.I.E. Elia Mónica Morales Zarate  
Sinodal del Trabajo



---

**DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CAMPUS GUANAJUATO**  
Ex-Hacienda San Matías s/n, 36000, Guanajuato, Gto., Tels. (473) 732 22 91, Fax (473) 732 38 64

*Solo las personas que se atreven a ir demasiado lejos logran descubrir hasta donde pueden llegar.*

*T.S.Eliot.*

## AGRADECIMIENTOS

A las personas más importantes en mi vida mis padres y hermanos que han sido clave importante en este trayecto, quienes han estado en todo momento apoyándome en las buenas y malas, saben que esto es para ustedes.

Infinitos agradecimientos a mi prima Victoria quien siempre me ha apoyado en esta travesía y por ser la protagonista de haber conocido al Dr. Pedro Corona Chávez de quien aprendí mucho y agradezco por haberme aceptado en el proyecto, gracias por la paciencia, la disposición, su compromiso y sobre todo su valioso tiempo, disculpe los malos ratos. Así como a la Dra. Ma. del Sol Hernández Bernal quien también formo parte de este equipo de trabajo gracias por todo, por darme consejos y haberme considerado para formar parte de los becados del Programa PAPIIT. Investigación realizada gracias al programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IA 104615 a quien también agradezco por su apoyo para realizar este trabajo.

Al Instituto de Investigaciones de Ciencias de la Tierra de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) por abrirme las puertas y formar parte de él, así como a las personas que conocí en el instituto quienes estuvieron de una u otra manera apoyándome y dando buenos consejos.

Por último y no menos importante a mis profesores de la Universidad de Guanajuato mi alma mater por sus enseñanzas y consejos aportados, así como a mis amigos y todos aquellos que estuvieron presentes con sus muestras de ánimo.

¡Uff, Lo logre!

## **INDICE**

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO II. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>4</b>
2.1 Localización geográfica	4
<b>CAPITULO III. MARCO GEOLOGICO</b>	<b>8</b>
3.1 Marco tectónico: Faja Volcánica Trasmexicana	8
3.2. Marco geológico regional: Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato	12
3.2.1.- Distribución y estructuras de los volcanes en el CVMG	13
3.2.2. Estadística de las geoformas y volumen de los aparatos volcánicos	14
3.3 Campo Volcánico de Tancítaro - Nueva Italia	14
<b>CAPITULO IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION</b>	<b>17</b>
<b>CAPITULO V. OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
5.1 Objetivo general	19
5.2. Objetivos específicos	19
<b>CAPITULO VI. METODOLOGIA</b>	<b>20</b>
6.1 Recopilación y selección de bibliografía, material cartográfico de la zona de estudio	21
6.2 Análisis morfoestructural	22
6.2.1 Dominios morfoestructurales	23
6.2.2 Perfiles topográficos	23
6.3 Clasificación de aparatos volcánicos de Graben Periban	24
6.4 Trabajo de campo	25
6.5 Análisis Petrográfico	26
6.6 Análisis Geoquímico	28
6.7. Integración de datos	29

<b>CAPITULO VII. RESULTADOS</b>	<b>30</b>
7.1 Análisis Morfoestructural	30
7.1.1 Dimensiones y descripción general morfoestructural del Graben de Peribán	30
7.1.1.1. Dimensiones a partir de Perfiles topográficos del GP	32
7.1.1.2. Dominios morfoestructurales	34
7.1.2.1. Dominio Tancítaro	36
7.1.2.2. Dominio Domos-Conos	36
7.1.2.3. Dominio Batolito Jilotlán al NW	37
7.1.2.4. Dominio Batolito Jilotlán SW	37
7.1.2.5. Dominio Graben de Cotija	38
7.1.2.6. Dominio Sur	38
7.1.2.7. Dominio volcanes Semiescudo La Verdura	39
7.1.2.8. Dominio Avalancha Chiquihuitillo	41
7.1.2.9. Dominio Aparatos en semiescudo	41
7.1.3 Morfolineamientos y Temporalidad de estructuras tectónicas	43
7.2 Mapa de clasificación de aparatos volcánicos Graben Peribán	45
7.3. Trabajo de campo	50
7.4. Petrografía	54
7.4.1 Descripción microscópica	54
7.5 Geoquímica	71
7.5.1 Elementos mayores	71
7.5.2 Elementos menores	74
<b>CAPITULO VIII. DISCUSIÓN</b>	<b>78</b>
8.1 Contraste en la clasificación de aparatos volcánicos del área realizadas en este trabajo y Hasenaka y Carmichael (1985)	78
8.2 Variaciones petrológicas y geoquímicas en el Grabe de Peribán.	80
8.3 Relación espacial entre las estructuras tectónicas y el vulcanismo	81
<b>CAPITULO IX. CONCLUSIONES</b>	<b>84</b>

<b>ANEXOS</b>	<b>86</b>
Anexo 1.Perfiles topográficos	86
Anexo 2 Morfoestructura Volcánica	88
Anexo 3.Cálculos morfométricos	91
Anexo 4.Geoquímica Volcánica	95
Anexo 5. Resultados Geoquímica	99
<b>REFERENCIAS</b>	<b>105</b>



**Figura 1.** En la figura superior se representa la localización del área de estudio de forma regional, (FVTM) Faja Volcánica Trasmexicana, (CVMG) Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato, (GP) Graben Peribán, (Ta) Tancítaro, (Co) Colima, (SP) Sierra Primavera, (V.T) Volcán Tequila. En la figura inferior se representa localmente el área de estudio mostrando los poblados cercanos, sus corrientes principales y las vías de acceso. 6

**Figura 2.** Mapa de ubicación A) Porción de la República Mexicana, trazo de Faja Volcánica Trasmexicana contorno negro y Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato contorno naranja. B) Área de estudio ubicada en el rectángulo dentro del Campo Volcánico Michoacán - Guanajuato las edades han sido tomados de (Hasenaka y Carmichael 1985) editada por Corona Chávez P. 10

**Figura 3.** Tectónica del oeste de México, modificado por Delgado-Granados (1993) y presentado por Ownby 2007. Los triángulos representan los principales volcanes de México: (1) Tancítaro, (2) V. Colima, (3) Sierra La Primavera, (4) V. Tequila, (5) V. Ceboruco, (6) V. Tepetitlic, (7) V. Sangangüey, (8) V. Las Navajas, (9) V. San Juan. S.J.B.F. = Falla San Juanico-Buenavista. El rectángulo punteado representa el Campo Volcánico Michoacán Guanajuato (CVMG). 15

**Figura 4.** Área de estudio mostrando las cartas topográficas 1: 50,000 que la cubren, incluyendo su clave y nombre. 21

**Figura 5.** A) Mapa morfoestructural representando lineamientos de primer y segundo orden del Graben Peribán, los colores claros representan las zonas más bajas mientras que los oscuros las alturas mayores del área. B) El GP se observan los lineamientos con dirección NE-SO así como sus límites norte y sur. 31

**Figura 6.** Perfiles más representativos del GP que muestran la pendiente en la región NE (flecha). Hacia el sur la pendiente se mantiene semi-horizontal. 34

**Figura 7.** Mapa de clasificación representado cada dominio morfoestructural por un color diferente, Escala 1:450, 000. El GP se representa con líneas rojas. En la región norte se observa la localización del Graben de Cotija. 35

**Figura 8.** Mapa de clasificación de aparatos volcánicos del Graben Peribán, representando Cono ▲, conos-fragmentado ◆, Cono erosionado ●, Cono-redondeado ●, Cono-sepultado ★, Flujos de lava ■, Semi-escudo ●, Domo ◆, Compuesto ◆ 47

**Figura 9.** Fotografía de vista panorámica del cerro La Paja (edificio volcánico tipo semiescudo) desde basurero de La Paja, Buenavista Mich. 51

**Figura 10.** Panorámica de lineamiento de aparatos identificados como cono, el cual presenta una forma cónica en la cima; semiescudo, donde su diámetro basal comparado con el del cráter tiene una relación 1:2. Notar que los domos se encuentran alineados y presentan una forma más aplanada en el cráter: Vista panorámica desde la carretera Apatzingán-Tepalcatepec a 1.3 km del poblado Zirapetiro. 53

**Figura 11.** Vista panorámica de estructura volcánica en forma de domo al este de Nueva Italia, Michoacán en el km 163. Obsérvese que su diámetro basal es casi igual al cráter además de su forma aplanada. 53

**Figura 12.** Fotomicrografías de la muestra TC-06. Microcristales de plagioclasas sin ninguna orientación, así como los fenocristales de olivino con una birrefringencia de segundo y tercer orden, corresponden a la muestra TC-06 izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados. 55

**Figura 13.** Textura microlítica - pilotaxítica, fenocristales de olivino con fracturamiento en dos direcciones, algunas plagioclasas tienen tamaños de hasta 500  $\mu\text{m}$ , la imagen corresponde a la muestra TC-03 izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados. 57

**Figura 14.** Se observan olivinos muy fracturados rodeados por microcristales y fenocristales de plagioclasa. Muestra TC-13, Izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados. 58

**Figura 15.** Olivino presentando dos típicas coloraciones con fracturamiento con un borde de plagioclasas figuras de la muestra TC-12 izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados. 60

**Figura 16.** Muestra TC-02 Izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados. Se observan plagioclasas alargadas tabulares, de matriz compuesta por microcristales de plagioclasas y algunos fragmentos de olivino. 61

**Figura 17.** Corresponden a la muestra TC-10. Izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados. Se observa un fenocristal en la parte central de un olivino con un borde de óxidos y plagioclasas rodeándolo. 62

**Figura 18.** Fenocristales de olivino con zoneamiento. Se observa un cambio en la coloración y fracturamiento recto. El olivino está rodeado de microcristales de plagioclasa. Muestra TC-07. Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. 64

**Figura 19.** Muestra TC-04 izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. Se observa un fenocristal de olivino de color verde mostrando así su alto relieve y fracturamiento 65

**Figura 20.** Fenocristales equidimensionales de clinopiroxenos con tamaños de hasta 900  $\mu\text{m}$ , tabulares con un borde de óxidos, vidrio y plagioclasas. En la fotografía de la izquierda se observa un relieve alto y un fracturamiento en dos direcciones. Representa a la Muestra TC-01 Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. 67

**Figura 21.** Muestra PR-4 Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. La abundancia de microcristales de plagioclasas comparadas con la cantidad de fenocristales es mayor. Plagioclasas tabulares con relieves bajos a medios. 68

**Figura 22.** Muestra PR-2 Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. Los fenocristales de mayor tamaño corresponden a los olivinos presentando un

fracturamiento en dos direcciones, de formas regulares e irregulares, habiendo algunos tabulares. 69

**Figura 23.** Muestra PR-3 Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. El fenocristal de olivino muestra la dirección horizontal del fracturamiento, además de su alto relieve y tamaño.

71

**Figura 24.** Diagrama TAS (Álcalis total vs sílice) de (Le Bas et al 1986), las muestras del Graben Peribán representadas en cuadros y Bajo Balsas en polígono gris.

73

**Figura 25.** Diagrama AFM propuesto por Irvine y Baragar (1971) donde se muestra la subdivisión entre magmatismo toleítico y calci-alcálico.

74

**Figura 26.** Diagrama de clasificación de Winchester and Floyd (1977).

75

**Figura 27.** Diagrama de Y+Nb vs Rb de Perce et al 1984. Donde las muestras del área se representaron con cuadros clasificando las muestras típicas de arco volcánico.

76

**Figura 28.** Diagrama de tipo araña de Tierras Raras (REE) normalizadas con la composición de la condrita para el Graben Peribán y Bajo Balsas.

78

**Tabla 1.** Parámetros de clasificación de aparatos volcánicos de acuerdo a Hasenaka y Carmichael (1985) y literatura.

46

**Tabla 2.** Clasificación de edificios volcánicos en el área de estudio.

48

**Tabla 3.** Cálculo del volumen de todos los aparatos identificados, agrupándolos por morfología. Se presenta la suma total del volumen de magma que aflora

49

**Tabla 4.** Comparación de la clasificación de aparatos volcánicos del área realizadas por Hasenaka y Carmichael, (1985) y la realizada en este trabajo.

79

## **RESUMEN GENERAL**

El análisis morfoestructural de cualquier sistema tectónico representa una metodología que aporta importantes datos cartográficos, los cuales nos permiten identificar unidades y estructuras clave para comprender la evolución de diferentes procesos geológicos. En particular, se destaca su potencial al analizar regiones volcánicas jóvenes, donde es aún posible observar las relaciones de los edificios volcánicos con las zonas de fallas corticales.

La FVTM y el CVMG representan uno de los sucesos tectónicos y volcánicos más interesantes en México. Sin embargo, solo recientemente han sido aplicados una serie de estudios morfométricos y morfotectónicos.

Es por eso que en este estudio se presenta la distribución de las estructuras asociadas con el emplazamiento de vulcanismo y el contrastante en cuanto morfología, volumen, petrografía y quimismo del Graben Peribán (GP).

El GP con orientación NO-SE se encuentra dislocando un sistema más antiguo NO-SE conocido como la Depresión del Bajo Balsas. Al mismo tiempo, contemporáneamente con la apertura del GP se emplazó un vulcanismo que ha migrado de norte a sur.

Se han identificado 9 dominios morfoestructurales, tres de ellos centrales y asociados con el GP. Al mismo tiempo, se identificaron una serie de estructuras que fueron divididas en tres órdenes de magnitud con la finalidad de asociarlas con el vulcanismo.

Se realizó la clasificación de edificios volcánicos, los cuales fueron subdivididos en: domos, conos cineríticos, semi-escudo, fisural y tipo maar. El número de aparatos resultó ser mayor al que otros autores habían obtenido en trabajos previos.

Con base en el análisis comparativo de los dominios morfoestructurales con los aparatos volcánicos se observa que el GP se construyó por medio de una estructura asimétrica en forma de “tijera” que se desarrolló en forma gradual de norte a sur y simultáneamente se emplazaron una serie de aparatos volcánicos que se relacionan con la intersección de dominios y/o estructuras bien identificadas.

Por último se seleccionaron y analizaron una serie de muestras de diferentes aparatos volcánicos, encontrando que a pesar de que predominan las andesitas tipo calci-alcalinas de arco volcánico, también se encontraron basaltos y traqui-andesitas alcalinas que reflejarían un contexto de tipo extensional.

Los estudios enfocados en el análisis morfoestructural con relación espacio temporal del vulcanismo complementando con petrografía y geoquímica representan una opción para el estudio de estructuras de este tipo.

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

El análisis morfoestructural ha resultado un método muy útil cuando se plantean objetivos de clasificar, analizar el paisaje y sus relaciones estructurales, tectónicas y volcánicas. Desde hace ya tiempo se comenzó con esta metodología la cual conforme transcurren los años se va mejorando, en los años ochenta y noventa T. Hasenaka y colaboradores (1994), desarrollaron una metodología de estudio del campo Volcánico Michoacán Guanajuato (CVMG), basándose en el análisis morfoestructural por medio de cartas topográficas, fotografías e imágenes satelitales en papel que permitieron el cálculo de volumen y la clasificación de la estructura en cuanto a su geometría. En la actualidad se manejan diversos programas de cómputo que mejoran y facilitan el análisis.

El resultado obtenido por Hasenaka y colaboradores fue considerado muy exitoso, reconociendo al CVMG como uno de los campos volcánicos monogenéticos en donde se explicaban las relaciones entre las geoformas con importantes estructuras volcánicas.

De este modo, el CVMG ha sido ubicado en el sector central de la FVTM definido por primera vez por Hasenaka y Carmichael (1985), quienes lo consideraron una región constituida esencialmente por vulcanismo monogenético que va del Plioceno al reciente, con cerca de 40000 km<sup>2</sup> de área y que ha sido caracterizado por la presencia de cerca de más de 1040 aparatos volcánicos identificados topográficamente, de

los cuales 901 son conos, 43 domos, 13 escudos 22 maar y 61 flujos de lava.

A pesar de que el CVMG y la FVTM han sido una fuente de estudios muy importantes para la comprensión de las relaciones de vulcanismo y tectónica del país, la región del Bajo Balsas o Depresión del Bajo Balsas que se encuentra incluida en la porción meridional del CVMG no ha sido bien estudiada.

La región de la Depresión del Bajo Balsas, no solo es una zona que cuenta con pocos estudios, además, es evidente que presenta una serie de grandes estructuras tectónicas de carácter distensivo asociadas con el emplazamiento de volcanes de diferentes dimensiones, por lo que resulta, un área por demás interesante para comprender los procesos vulcanotectónicos.

En el presente trabajo se presentan los resultados de un análisis morfoestructural y petrológico de la porción noroccidental de la Depresión del Bajo Balsas. A esta zona de estudio se le denominó *Graben de Peribán*, en cuanto es una zona que muestra una estructura subparalela con una orientación nor-noreste que dislocó la estructura principal. Se propone describir las características geométricas y espaciales tanto de volumen de los aparatos volcánicos y su posible correlación con las estructuras tectónicas de la zona de estudio complementando el análisis con los datos petrográficos y geoquímicos.

## **CAPITULO II**

### **ZONA DE ESTUDIO**

#### **2.1 Localización geográfica**

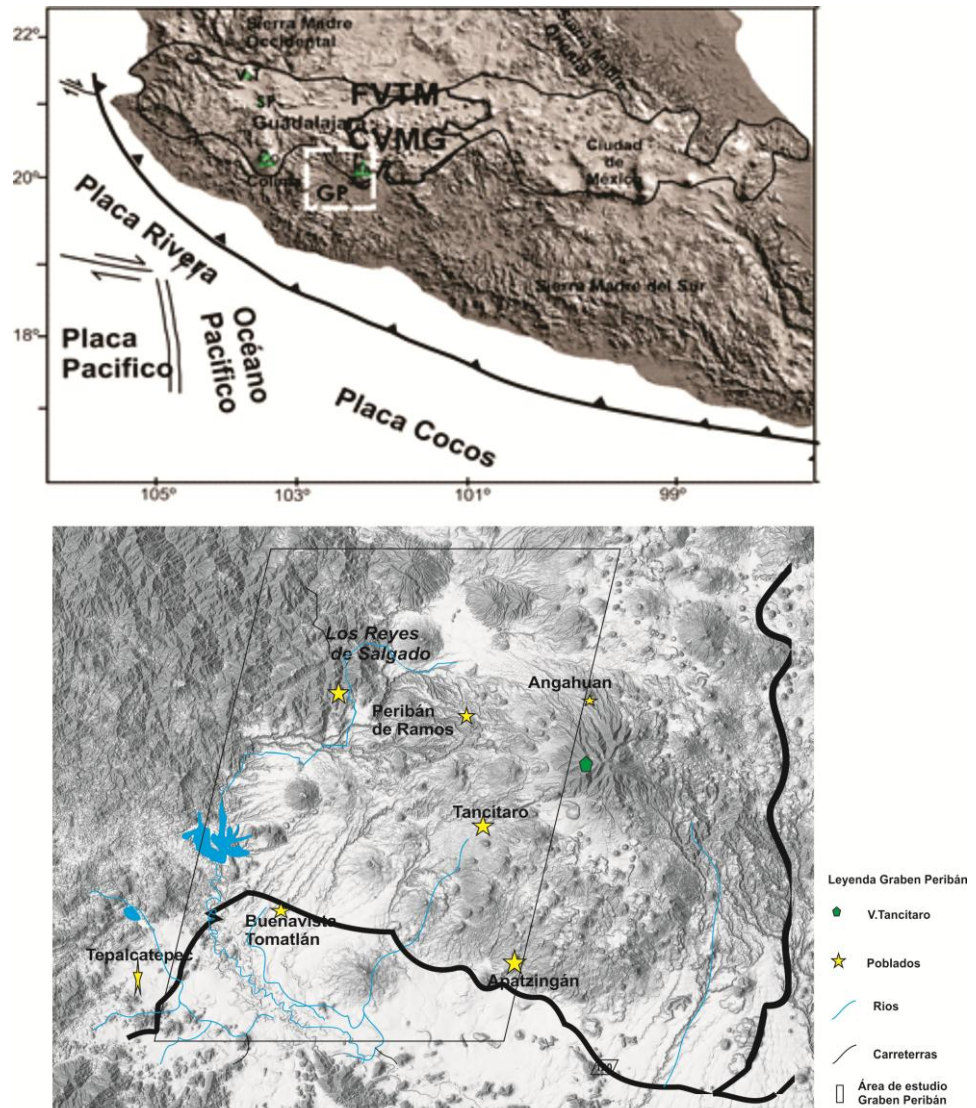
El área de estudio se encuentra localizada en la parte centro y sur de la Faja Volcánica Trasmexicana (Ferrari et al., 2012), en los estados de Michoacán y de Jalisco. En esta región se ha trazado un polígono con unos límites: al noroeste con coordenadas  $19^{\circ} 52' 24.26''$  de latitud norte y  $102^{\circ} 49' 51.41''$  de longitud oeste y al sureste  $19^{\circ} 01' 16.74''$  latitud norte y  $103^{\circ} 00' 22.91''$  de longitud oeste.

Así mismo se ubica en las hojas INEGI a escala 1:50 000 Manuel Diéguez E13B28, Los Reyes E13B28, Rancho Nuevo E13B37, Tancítaro E13B38, Tepalcatepec E13B47, Apatzingán E13B48, Paracho E13B29, Uruapan E13B39, Nueva Italia E13B49 y en la hoja 1: 250 000 Colima. Los asentamientos humanos más importantes de la zona de estudio al norte Peribán de Ramos y Reyes de Salgado, al sur Buenavista y Apatzingán, al este Tancítaro, mientras que al oeste Santa María del Oro y Tepalcatepec.

Desde el punto de vista fisiográfico la región pertenece a la porción baja y suroccidental del Balsas ó Depresión del Bajo Balsas con alturas mínimas de 200 msnm. Sin embargo, en la zona de estudio delimitada por un polígono resalta una zona baja con una orientación nor-noreste

con alturas de los 200 a 3500 msnm que en este estudio se denominará Graben de Peribán. Esta fosa está delimitada por una sierra que contiene montañas o cimas representativas al oeste como el cerro los Limones con alturas de 1700 metros, el cerro Las Lomas con 1300 metros y al este el Tancítaro con alturas 3400 metros. Presenta además una red hidrográfica donde los ríos que drenan en la zona de estudio son río Balsas y tributarios Tepalcatepec, Tacámbaro, Marqués y Zacatula. El clima de la zona de estudio es cálido subhúmedo, semiseco muy cálido y seco muy cálido, todos con lluvias en verano con una temperatura promedio anual que va de 18 a 30°C, con una precipitación anual entre 400 y 1200 mm. El acceso al área de estudio se considera relativamente bien comunicada por medio de la carretera Los Reyes-Peribán-Buena Vista de Tomatlán número 110 esto por la parte norte del área, así como por la parte baja por la carretera federal Apatzingán-Buena Vista de Tomatlán No. 120. Al mismo tiempo en la figura 1 se puede observar la localización de la zona.





**Figura 1.** En la figura superior se representa la localización del área de estudio de forma regional, (FVTM) Faja Volcánica Trasmexicana, (CVMG) Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato, (GP) Graben Peribán, (Ta) Tancitaro, (Co) Colima, (SP) Sierra Primavera, (V.T) Volcán Tequila. En la figura inferior se representa localmente el área de estudio mostrando los poblados cercanos, sus corrientes principales y las vías de acceso.

De acuerdo con la clasificación de Inman y Nordstrom, 1971, la Cuenca o Depresión del río Balsas se encuentra en una zona de

convergencia entre las placas de Cocos y Norte-Americana, en una zona de subducción. En cambio, Lugo (1985) y (1986) menciona que como tal, está enmarcada por dos rasgos estructurales de primer orden: una trinchera oceánica (La Trinchera Mesoamericana: Fosas de Petacalco y Acapulco) y dos sistemas de cadenas montañosas continentales (La Faja Volcánica Trasmexicana y La Sierra Madre del Sur). Cadenas montañosas y Trinchera, hacen de esta porción del centro-sur de México un fenómeno tectónicamente activo y altamente dinámico. La Depresión tiene unos 800 km de largo por 150 a 200 kilómetros de ancho en promedio, (Lugo 1985 y 1986) citados en la página web del Instituto Nacional de Ecología (INNEC).

La cuenca de drenaje del río Balsas comprende el 6% de la masa continental del territorio mexicano y abarca porciones de varias regiones económicas del Pacífico centro-occidente y centro-sur de la República, entre los paralelos 17°00' y 20°00' de latitud Norte y los meridianos 97°30' y 103°15' de longitud Oeste de Greenwich, a través de ocho estados de la República: Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Morelos, Guerrero, Michoacán y Jalisco. Incluye en su totalidad al estado de Morelos (100%) y parcialmente a los estados de Tlaxcala (75%), Puebla (55%), México (36%), Oaxaca (9%), Guerrero (63%), Michoacán (62%) y Jalisco (4%), lo que representa una superficie administrativa de 123,500 km<sup>2</sup>. Su superficie hidrológica total es de 117,406 km<sup>2</sup>, distribuida en tres subregiones: Alto Balsas 50,409 km<sup>2</sup>. Medio Balsas 31,951 km<sup>2</sup> y Bajo Balsas 35,046 km<sup>2</sup>. Administrativamente se encuentra constituida por 421 municipios, de los cuales 332 se localizan en el Alto Balsas, 51 en el Medio Balsas y 38 en el Bajo Balsas. La población total estimada en 1995 fue de 9.2 millones de habitantes, 65.7% era urbana y 34.3% rural. En la subregión Alto Balsas, que representa el 35% de la superficie de la cuenca, se concentra el 68% de la población (CNA ,2000) citado en la página web del Instituto Nacional de Ecología.

## **CAPITULO III**

### **MARCO GEOLÓGICO**

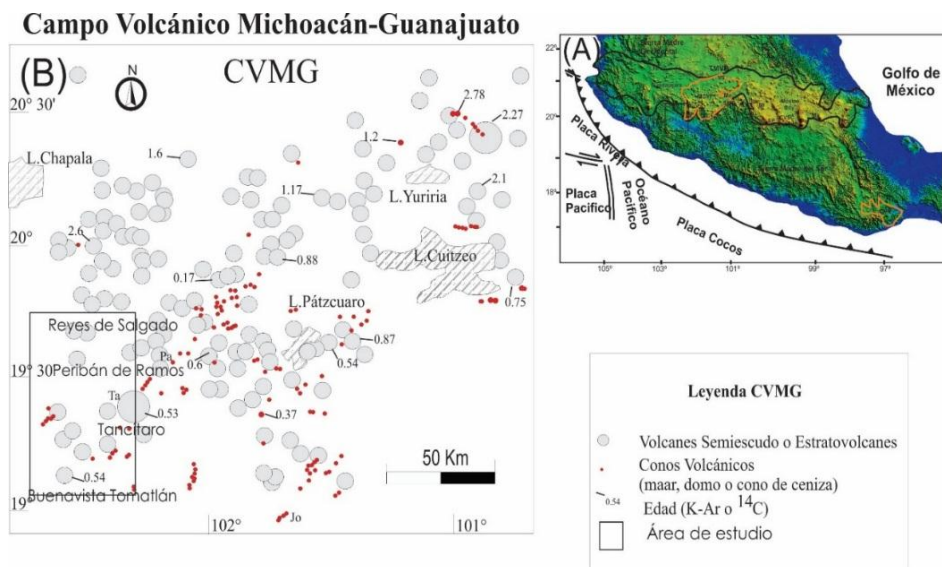
#### **3.1 Marco tectónico: Faja Volcánica Trasmexicana**

El Cinturón Volcánico Trans Mexicano (CVT) o Faja Volcánica Trasmexicana (FVT) (Gómez-Tuena et al., 2005) es una de las provincias geológicas más estudiadas en México.

La FVTM constituye una expresión fisiográfica con una longitud que se extiende de entre 920 -1000 km con una orientación general este-oeste y que bisecta a la porción intermedia de la República Mexicana desde el Océano Pacífico (Bahía Banderas en el estado de Nayarit) hasta el Golfo de México (región de Los Tuxtlas, Estado de Veracruz. Es decir, la FVTM ha sido interpretada como un arco magmático continental, (Demant, 1978 in Ferrari, *et al.*, 2012), el cual está constituido por cerca de 8000 estructuras volcánicas y de algunos cuerpos intrusivos.

En un contexto geodinámico, la FVTM se encuentra construida sobre la parte sur de la placa continental de Norteamérica, la cual es subducida por la parte occidental de la placa oceánica de Cocos y por la microplaca oceánica Rivera (figura 2A).

Con base en las características volcánicas y espaciales, la FVTM ha sido dividida en tres sectores: occidental, central y oriental.



**Figura 2.** Mapa de ubicación A) Porción de la República Mexicana, trazo de Faja Volcánica Trasmexicana contorno negro y Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato contorno naranja. B) Área de estudio ubicada en el rectángulo dentro del Campo Volcánico Michoacán - Guanajuato las edades han sido tomados de (Hasenaka y Carmichael 1985) editada por Corona Chávez P.

En la porción occidental de la FVTM, las lavas con características intraplaca siguen emplazándose a partir de 3.6 Ma, pero también existen lavas con características más típicas de subducción en la parte noroccidental del arco (Ferrari et al., 2000a). En la parte central de la FVTM, donde se encuentra el campo volcánico Michoacán-Guanajuato presenta un vulcanismo de ~2.8 Ma y continúa activo hasta nuestros días. El Parícutin con sus erupciones (1943-1952) y Jorullo (1759-1774) además de contener conos monogenéticos principalmente, al oriente del CVMG el vulcanismo se vuelve menos continuo y ligeramente más evolucionado, el vulcanismo de la porción oriental de la FVTM experimenta un *hiatus* que cubre el final del Mioceno y todo el Plioceno temprano. El vulcanismo se reestablece a los ~3.7 Ma con el emplazamiento de diferentes centros poligenéticos alineados NNW-SSE. La zona de estudio de este trabajo se ubica en la porción sur del sector central de la FVTM.

Desde el punto de vista geocronológico, la actividad volcánica de la FVTM, como una entidad geológica distintiva, se propone que inició durante el Mioceno medio y tardío (Ferrari et al., 1999). De manera muy sintética la historia geológica de la FVTM se puede dividir en cuatro episodios principales: (1) la instauración de un arco de composición intermedia en el Mioceno medio y tardío, (2) un episodio máfico del Mioceno tardío, (3) un episodio silíceo de finales de Mioceno que llega a ser bimodal en el Plioceno temprano, y (4) la reinstauración de un arco con gran variabilidad composicional a partir del Plioceno tardío.

En cuanto a los rasgos estructurales y con base en las evidencias geológicas se sugiere que la FVTM se encuentra en buena medida bajo un régimen tectónico predominante de tipo distensivo. Sin embargo las fallas cuaternarias de la porción central de la FVTM generalmente muestran una pequeña componente lateral izquierda, por lo que se puede considerar un sistema extensional-transtensional.

El régimen transtensivo se explica considerando que la convergencia entre las placas Cocos y de Norteamérica es ligeramente oblicua; por lo tanto, existe una partición de la deformación en el límite de la placa que hace necesario acomodar el componente de movimiento (Ferrari, et al., 2001).

Por otro lado, de acuerdo a diversos autores (Demant, 1978 y Pasquaré, 1988 *in* Ferrari et al., 2012), mencionan desde el punto de vista tectónico, que la FVTM está en un proceso de emersión, en cuanto ha sido afectada por los esfuerzos distensivos que expresándose desde el punto de vista geomorfológico, forman una serie de sistemas

estructurales de fosas y pilares complejos y cuyo arreglo se refiere al desarrollo de numerosos valles escalonados.

### **3.2. Marco geológico regional: Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato**

El Campo Volcánico Michoacán – Guanajuato (CVMG) se encuentra en el sector central de la FVTM y fue definido por primera vez por Hasenaka y Carmichael (1985), como una región que está constituida esencialmente por vulcanismo monogenético del Plioceno (<3 Ma) al Reciente, que se encuentra entre estos dos estados de la república con cerca de 40000 km<sup>2</sup> (ver figura 2B). El CVMG incluye más de 1000 conos monogenéticos. Los diferentes aparatos han sido clasificados por su dimensión, en los que encontramos 900 conos cineríticos y 100 volcanes de otro tipo, como domos, conos medios, maares y derrames de lava (Hasenaka, 1994). El único estratovolcán del campo es el Cerro Tancítaro, que ha sido fechado en ~0.5 Ma (Ban et al., 1992 in Hasenaka and Carmichael, 1985). El vulcanismo del CVMG comienza hacia los ~2.8 Ma y continúa activo recientemente (*e. g.*, los volcanes Jorullo y Parícutin). Desde el punto de vista petrográfico predominan en su mayoría las rocas como andesitas-basaltos donde la asociación mineralógica varía de mayor a menor cantidad de minerales ferromagnesianos predominando el olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno y en menor cantidad el anfíbol.

En relación con su composición geoquímica, ésta varía de acuerdo al tipo de estructura, los rangos van de 47 a 67 % SiO<sub>2</sub>, con abundancia de basaltos calcialcalinos con olivinos y andesitas basálticas y teniendo

lavas andesíticas calcialcalinas en los volcanes en escudo (Hasenaka et al., 1994). De igual manera, se presentan domos dacíticos-riolíticos en menor proporción donde los minerales más félsicos, presentándose así una migración composicional de norte a sur al igual que su máximo de extensión en la misma dirección. En cambio, al oriente del campo Michoacán-Guanajuato el vulcanismo es menos continuo y ligeramente más evolucionado.

Hasenaka y Carmichael, 1985 mencionan que en zonas cercanas o contiguas aún puede emerger otro aparato volcánico y que Michoacán y Guanajuato son de las áreas más propicias para el nacimiento de uno nuevo, esto indica que la tasa de abastecimiento de magma es tan baja que no permite la formación de cámaras magmáticas someras de larga duración. Consideran que cerca de 1200 volcanes del campo Michoacán-Guanajuato en su mayoría tienen alrededor de un millón de años (poco en tiempos geológicos), pero hay de edades variadas.

### ***3.2.1.- Distribución y estructuras de los volcanes en el CVMG***

La concentración de aparatos que define el CVMG se encuentra situada entre los 200 y 400 km de la Trinchera Mesoamericana, encontrando una mayor concentración de conos alrededor de los 250 km, (Hasenaka and Carmichael, 1985 ). La mayor concentración de conos y domos se sitúa en los alrededores del volcán Tancítaro, sin presencia de maares. Esta concentración de edificios varía de Norte a Sur, ya que en la parte sur el vulcanismo es menor que al norte y centro, así también el vulcanismo en estructuras como la Depresión del Bajo Balsas, el Graben de Cotija presentan una temporalidad y vulcanismo diferente al GP,



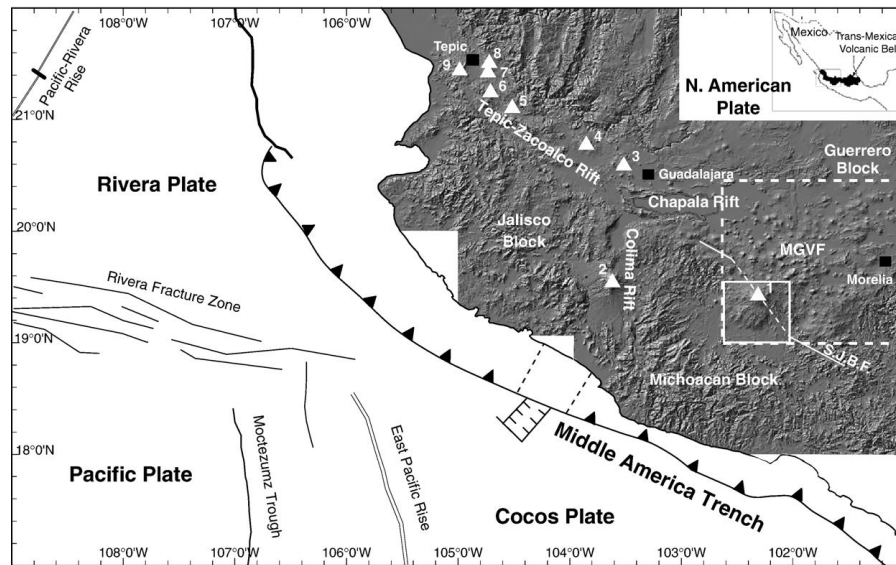
Graben de Tepic-Zacoalco, CVMG, FVTM. En la región de Maravatío-Zitácuaro-Valle de Bravo, los conos monogenéticos del Pleistoceno medio al Holoceno se encuentran generalmente alineados a lo largo de estructuras regionales (Capra et al., 1997; Blatter et al., 2001), y algunos conjuntos de domos dacíticos de edad cuaternaria se emplazaron en la periferia de la caldera de Los Azufres y en la caldera de Zitácuaro (Ferrari et al., 1991; Capra et al., 1997).

### *3.2.2. Estadística de las geoformas y volumen de los aparatos volcánico*

Dentro de las principales geoformas que clasificaron en el área fueron en su mayoría aquellos aparatos pequeños como los domos, los cuales (Hasenaka and Carmichael ,1985) clasificaron de acuerdo a sus características de altura, diámetro basal, diámetro del cráter, y su volumen, así como los conos, estratovolcanes y en escudo donde los clasificados como conos presentan el mayor volumen del área siguiendo los conos rotos y domos.

### **3.3 Campo Volcánico de Tancítaro - Nueva Italia**

Como se observa en la figura 3, el Volcán Tancítaro está localizado a 230 km de la trinchera y a 120 km de la zona de subducción (Pardo and Suárez, 1995 citado en Ownby 2007), en el centro-occidente del estado de Michoacán, perteneciendo al CVMG en la porción central del mismo.



**Figura 3.** Tectónica del oeste de México, modificado por Delgado–Granados (1993) y presentado por Ownby 2007. Los triángulos representan los principales volcanes de México: (1) Tancítaro, (2) V. Colima, (3) Sierra La Primavera, (4) V. Tequila, (5) V. Ceboruco, (6) V. Tepetiltic, (7) V. Sangangüey, (8) V. Las Navajas, (9) V. San Juan. S.J.B.F. = Falla San Juanico–Buenavista. El rectángulo punteado representa el Campo Volcánico Michoacán Guanajuato (CVMG).

Dentro de los principales estudios resalta el trabajo de Demant (1976), quien menciona que el Pico de Tancítaro forma parte de la cuenca del Río Balsas a través de las sub-cuencas de los ríos Tepalcatepec y Cupatitzio, que están situados en el Municipio de Tancítaro (en el Estado de Michoacán de Ocampo). Con una altura de 3080 metros desde su base, ha sido clasificado como un cono compuesto de composición calccalcalina con una pendiente media de  $24^\circ$ , además de su colapso característico en forma de herradura orientado hacia el este.

El Sistema Tancítaro incluye todas las laderas y cimas del estratovolcán, que también comprende las unidades lávicas de tipo andesítico dominantes. Debido a la configuración geomorfológica de éstas, el sistema está dominado por pendientes de alto grado, que van desde  $15^\circ$  de inclinación hasta más de  $30^\circ$ , presentándose con frecuencia escarpes rocosos ubicados

generalmente por encima de los 3 mil 500 metros sobre el nivel del mar (Demant ,1981 y Fuentes, 2000, in Ownby, 2007).

En 1994 Hasenaka estimo un volumen de 49 km<sup>3</sup>, apoyándose con mapas topográficos escala 1:50,000, con curvas de nivel a cada 20 metros. Sin embargo, el cálculo que se realizó utilizando el software *Arc-Gis* a partir de modelos digitales de elevación del edificio dio como resultado un volumen de 97±3 km<sup>3</sup>.

Es notable mencionar que en las avalanchas se muestre un material de piroclastos juveniles, donde el depósito de la avalancha muestra bloques de andesitas con diámetros variables presentando alteración en la parte sur oeste de la avalancha, así mismo, en el depósito de la región oeste, su matriz se encuentra soportada en contacto con bloques de andesita.

Los análisis cronológicos de <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar indican que el Tancítaro tuvo actividad hace ≥ 793 mil años, incluyendo un colapso en la zona este entre los 694 y 571 miles de años. (Siebert, 1984; Delgado-Granados, 1999 in Ownby 2007). Este volcán tuvo una actividad en la parte central en los siguientes 200 mil años, donde su primera erupción fue hace 439±29 mil años, por lo que la erupción de las andesitas ocurrió hace 305±18.

## **CAPITULO IV.**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **JUSTIFICACION**

Entre las provincias morfológicas de la Faja Volcánica TransMexicana (FVTM) y la Sierra Madre del Sur (SMS) ubicadas en el Estado de Michoacán, se identifica una gran depresión o fosa endorréica en donde se observa el registro de al menos dos sistemas de lineamientos tectónicos regionales:

- Un sistema orientado al NW-SE, el cual es paralelo a la estructura principal de la cuenca endorréica del Bajo Balsas, así como es subparalelo a la prolongación de la traza del Graben de Cotija. A lo largo de este sistema fueron emplazados numerosos aparatos volcánicos con un morfoestructura variable: cono, semi-escudo, maar y el estratovolcán Tancítaro.
- Otro sistema tectónico se refiere a un conjunto de estructuras orientadas al NE-SW. Este sistema aparentemente disloca el anterior y se asocia con una serie de aparatos volcánicos emplazados en los alrededores del Tancítaro, siendo éstos conos y domos en su mayoría.

La zona de estudio presenta un contraste importante en la morfología en relación con las morfoestructuras que han sido definidas de manera convencional para el Campo volcánico Michoacán Guanajuato (Hasenaka y Carmichael, 1985), las cuales han sido pobremente documentadas.

Por otro lado, en la región del Bajo Balsas resalta una distribución de las estructuras asociadas con el emplazamiento de vulcanismo reciente representados por diversos aparatos de contrastante volumen y morfología de su estructura volcánica.

En este estudio se propone estudiar por medio del análisis morfoestructural, petrográfico y geoquímico una importante estructura de fosa tectónica o depresión orientada NNE-SSW, que aquí denominamos “Graben Peribán”, la cual se ubica en la región noroccidental de la cuenca del Bajo Balsas. Esta estructura disloca la estructura regional de la cuenca del Bajo Balsas y podría dar elementos para discutir las variaciones de volumen de emplazamiento asociado con importantes cambios cinemáticos de la zona de subducción de la Placa de Cocos menor a un millón de años.

## **CAPITULO V. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Realizar un análisis morfoestructural, petrográfico y geoquímico que permita describir las características temporales geométricas, espaciales, de densidad y volumen de los aparatos volcánicos, y su asociación con el régimen estructural presente en la zona de estudio.

### **5.2. *Objetivos específicos***

Identificar y caracterizar la geometría de las principales estructuras tectónicas del Graben Peribán

Clasificar y determinar la geometría y volumen de los edificios volcánicos del Graben Peribán

Determinar la temporalidad y composición del vulcanismo y su relación con las principales estructuras tectónicas.

## **CAPITULO VI.**

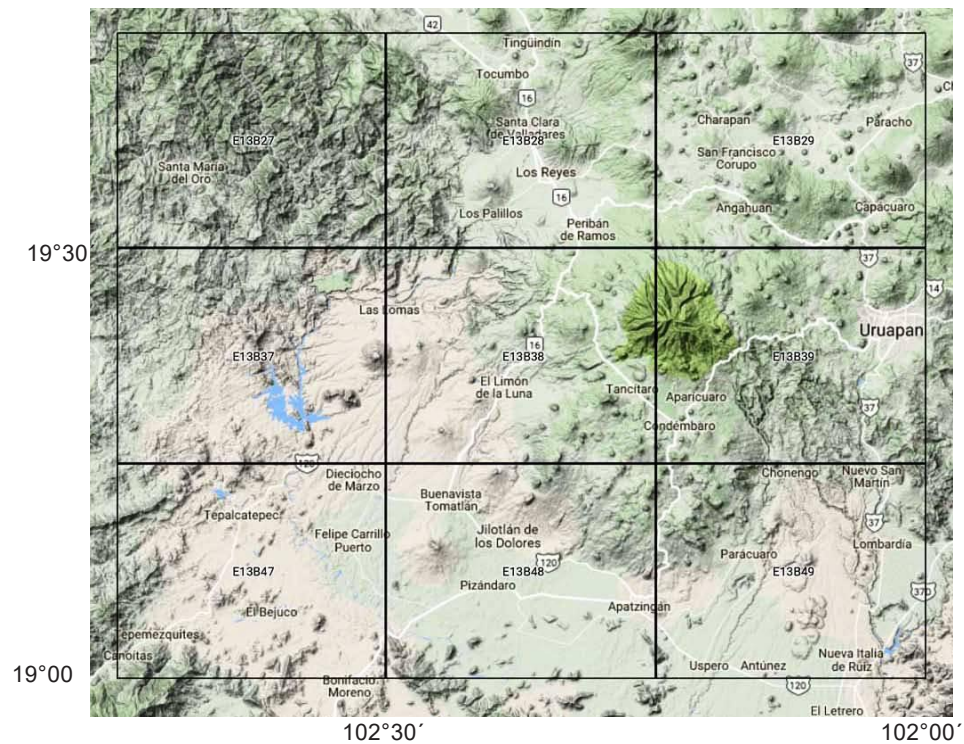
### **METODOLGIA**

#### **6.1 Recopilación y selección de bibliografía, material cartográfico de la zona de estudio.**

Una vez definida el área de estudio se hizo la elección de referencias más útiles y actualizadas que ayudaron en la elaboración, comprensión, análisis y la interpretación de los datos recolectados de las lecturas para el cumplimiento de los objetivos.

Se consideró toda aquella información comenzando con la relativa a la Faja Volcánica Trasmexicana, obteniendo lo más reciente y completo. Posteriormente, se revisó la información del Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato, del cual la selección de artículos se basó principalmente en las publicaciones que realizaron Hasenaka & Carmichael (1985; 1994), y de manera más local la escasa información que se tiene publicada de la Depresión del Bajo Balsas. También se ubicó una serie de trabajos que caracterizan la cuenca hidrográfica.

De la base de datos INEGI se tomaron 9 mapas topográficos escala 1:50000 (figura 4), así como los modelos digitales de elevación (MDE), topografía en formato vectorial (extensión shp), red hidrográfica, y algunas imágenes satelitales.



**Figura 4.** Área de estudio mostrando las cartas topográficas 1: 50,000 que la cubren, incluyendo su clave y nombre.

## 6.2 Análisis morfoestructural

Para la elaboración del mapa morfoestructural se descargaron los mapas topográficos pertenecientes a las zonas de Paracho, Manuel M. Diéguez, Los Reyes de Salgado, Uruapan, Rancho Nuevo, Tancítaro,



Tepalcatepec, Apatzingán, Nueva Italia, escala 1:50000 obtenidos de la base de datos INEGI en formato SHP (ver figura 5). Posteriormente, se procedió con la elaboración del mapa morfoestructural, apoyándose con el software *Global Mapper 16.1* para la georeferenciación de los mapas, para después utilizar el software *Surfer 9.8*, con el cual se realizó la edición de curvas para un mapa altimétrico, asignando colores con un intervalo de 20 metros entre curva y curva y así generar un mapa altimétrico. A partir de este mapa y señalando una escala de colores, donde los más claros representaban las zonas más bajas y los más oscuros representan lo más alto de la zona, se decidió trabajar con una escala 1:100000 para una mejor visualización del área.

A partir de este mapa se identificaron estructuras y volcanes con diferentes escalas, señalando diferentes órdenes, de acuerdo a su dimensión. La representación de las estructuras de primer orden se generaron con líneas de un color específico, estas a su vez, mostraron un cambio importante tanto en la morfología como en la concentración de aparatos volcánicos, teniendo longitudes de 10 a 20 metros. Por lo tanto, se clasificaron de segundo orden los lineamientos que complementaban las de primer orden, siendo fallas, desniveles o la orientación de la concentración de aparatos volcánicos. En el mapa altimétrico también se resalta la avalancha del Tancítaro y se indicó con flechas la influencia del flujo, además de la estructura que tiene el volcán en la cima en forma de herradura, la cual también se reconoció en otro aparato volcánico.

### **6.2.1 Dominios morfoestructurales**

Una vez que se seleccionaron y determinaron las morfo-estructuras volcánicas y tectónicas se procedió a agrupar por regiones, que fueron denominadas “dominios”. En el mapa de dominios se utilizaron los MDE escala 1:50000 tomados de la base de datos de INEGI, utilizando el software *ArcGis 10.2*, donde se agregaron los MDE para realizar el recorte que pertenece al área. Después se crearon los polígonos dándole atributos diferentes para poder diferenciar un dominio. Los polígonos se generaron de acuerdo a los cambios de morfología, a la concentración específica de un cierto tipo de aparatos proporcionándole un nombre de acuerdo a su localización o al nombre de alguna estructura representativa. Se realizó la descripción de los dominios siguiendo el siguiente orden de atributos geomorfológicos: localización, morfología, altimetría, pendiente e hidrografía.

### **6.2.2 Perfiles topográficos**

Una vez definidos y descritos los diferentes dominios morfoestructurales, se realizaron perfiles topográficos con la finalidad de describir de manera gráfica las diferencias y similitudes, así como las relaciones físicas entre cada dominio. Los perfiles topográficos se realizaron utilizando los MDE de la zona a una escala 1:50 000, los cuales fueron agregados estando ya unidos y recortados al software *Global Mapper 16.1*, donde se presentaron en 3D para mejor visualización y diseño.

Se construyeron 12 perfiles con dirección NW-SE, usando una escala horizontal de 1:100000 y una vertical de 1:40000, creando las líneas perpendiculares a las estructuras. Una vez generados los perfiles, estos se exportaron a otro software donde se hizo la edición para dar un mejor detalle en el trazo del perfil, el programa usado fue el *Corel Draw X7*.

### **6.3 Clasificación de aparatos volcánicos de Graben Peribán - Los Reyes**

Una vez descrita de forma regional las características morfoestructurales, se procedió a identificar cada aparato volcánico, con la finalidad de establecer una cartografía de centros eruptivos.

La clasificación de aparatos volcánicos de la zona se realizó tomando como referencia los datos morfométricos utilizados por Hasenaka & Carmichael (1985), haciendo algunas modificaciones para obtener los resultados adecuados a la zona de estudio y facilitar la sucesiva interpretación.

Partiendo del recorte del área utilizado en la elaboración del mapa morfoestructural, se considera el mismo material utilizado anteriormente: los mapas topográficos escala 1:50000, con su respectivo recorte y agregando aquí los MDE de la zona a la misma escala. Todo esto se trabajó con el software *ArcGis 10.2*, en donde se modificó otra vez la escala original hasta llegar a una escala de 1:5,000. Se añaden las

capas donde se tiene la topografía en formato “shp” y los MDE. Se le proporciona un sistema de coordenadas, después se comienza la edición comenzando a identificar los aparatos volcánicos para poderlos marcar con la creación de un polígono (shp), localizando diámetro del cráter y diámetro basal. Así mismo, en la tabla de atributos se hace una edición donde se coloca una columna indicando la altura máxima del aparato, nombre y se calculan las coordenadas. Una vez que se realizó la identificación de todas las estructuras volcánicas con sus polígonos y alturas, se procede a realizar un TIN (superficie de red irregular de triángulos que se puede realizar con puntos, líneas y polígonos que representen la elevación de una superficie), ya que esto sirve para hacer el cálculo de volumen de los aparatos volcánicos, el cual se realiza con las funciones del software *ArcGis*.

Una vez que se obtienen los valores morfométricos incluyendo el volumen, se exporta en formato de tabla Excel (xls). Esta tabla nos permitirá comparar nuestros datos con los obtenidos por Hasenaka & Carmichael (1985).

#### **6.4 Trabajo de campo**

Se realizó una salida de campo del 19-25 de octubre de 2016. Se visitaron varios afloramientos; uno de ellos en la desviación Santa Ana Zirotto, avalancha a pie de carretera desviación del poblado El Hueso, Cerro La Paja, sobre el río Ojo de Agua cerca del poblado La Cuchilla, otra afloramiento en el Cerro El Puerto y en la salida de Apatzingán por

la carretera Nueva Italia en el poblado La Nopalera y terminando en el depósito de lahar de la avalancha en el km 120 de la carretera Pátzcuaro-Apatzingán, para lo cual se utilizaron los mapas topográficos de la zona escala 1:50 000.

Se reconocieron los aparatos volcánicos de la zona y se verificó que la clasificación previa que se tenía correspondiera con algunos de los aparatos, basándonos en el mapa altimétrico realizado en el software *Surfer 9*. Además se realizaron una serie de descripciones de afloramientos de los diferentes aparatos, donde se obtuvieron muestras.

### **6.5 Análisis Petrográfico**

Se hizo la recolección de 5 muestras en la salida a campo que se complementaron con otras 9 láminas delgadas preparadas previamente. La preparación de las secciones delgadas se llevó a cabo en el Laboratorio de Petrografía y Mineralogía en el Instituto de Investigaciones Ciencias de la Tierra de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Siguiendo el proceso que consiste en la selección de las muestras para después realizar el corte de la misma de tal forma que se obtiene una briqueta rectangular que pueda ajustarse a un portaobjeto, la briqueta debe de tener una dimensión de 4x3x1 cm aproximadamente.

El corte se hace con la cortadora de disco con impregnaciones de diamante, donde se usa agua para facilitar el corte. Cuando ya se tiene la briqueta se usa una serie de abrasivos de carburo de silicio para pulir un plano del corte de la briqueta, iniciando con un abrasivo de malla

220, continuando con 400, 600, 1000, empleando además 2 platos devastadores para los abrasivos de 220 y 400. Cada cambio de abrasivo se debe cepillar la muestra para quitar residuos del abrasivo.

Una vez que el lado de la muestra ha sido pulido perfectamente, se coloca los portaobjetos en un recipiente con agua y jabón dejándolos reposar por media hora para después ser enjuagados, al igual con las briquetas se vuelven a enjuagar ahora sin jabón solo con agua se lavan en un baño ultrasónico por separado briquetas y portaobjetos para terminar de limpiarlas, luego son retiradas del ultrasonido y se secan perfectamente se colocan portaobjeto y briquetas en un plato térmico a una temperatura de 40° para terminar el secado.

Cuando se tienen listas las briquetas y portaobjetos se hace una preparación de la resina XAW 2009 y un catalizador XHV 2005 , utilizando 1/1 de cada uno .Se pesan los gramos a ocupar en una balanza de precisión se coloca un vaso de precipitado y con ayuda de una cuchara se va colocando la cantidad requerida tanto de la resina como del catalizador, cuando ya se tiene la cantidad deseada se coloca el vaso de precipitado con la resina y catalizador en el plato térmico para incorporar perfectamente con ayuda de un agitador para que quede una mezcla homogénea.

El resultado de esa mezcla es adherida a la briqueta cantidad suficiente para pegar el portaobjetos en el cual se realiza presión en la parte media del portaobjeto para que se haga bien la impregnación de la resina, una vez impregnada de resina la briqueta con el portaobjetos se

llevan a un horno de secado, después de que se han secado las muestras se vuelven a pulir con los abrasivos siguiendo el mismo orden.

Cuando se tienen las secciones delgadas se hace la descripción petrográfica donde se deben de considerar ciertas características importantes. Dicha descripción se basará en las propiedades de los minerales presentes describiéndose con luz paralela para observar el índice de refracción, color, pleocroísmo, relieve, crucero, y con luz polarizada para observar la isotropía y anisotropía, birrefringencia, maclas etc.

## **6.6 Análisis Geoquímico**

Para el análisis geoquímico se llevó a cabo una compilación de los datos ya publicados del área, cuidando meticulosamente la correspondencia con los edificios volcánicos identificados en este estudio y que se encontraran naturalmente dentro del Gráben de Peribán. Los datos fueron ordenados y procesados para realizar una serie de diagramas geoquímicos para la representación, relación e interpretación de los mismos para la obtención de conclusiones.

En la recolección de datos de los análisis geoquímicos fueron agregados en una tabla tipo Excel de la cual contiene la localización, nombre o clave de la muestra, elementos analizados. Estos datos fueron convertidos a un formato específico para usar el software *Igpet*, el cual es un programa específico para generar diagramas de clasificación y discriminación en rocas ígneas.

## **6.7 Integración de datos**

Una vez que se obtuvo toda la información morfoestructural, petrográfica y geoquímica se procedió a integrarla y compararla con la información bibliográfica obtenida. Se propone una discusión en donde se verifique la certidumbre de la clasificación morfométrica de Hasenaka y Carmichael (1985), así como las implicaciones de la distribución de los aparatos volcánicos en el contexto de los sistemas estructurales del Gráben de Peribán.



## **CAPITULO VII**

### **RESULTADOS**

#### **7.1 Análisis Morfoestructural**

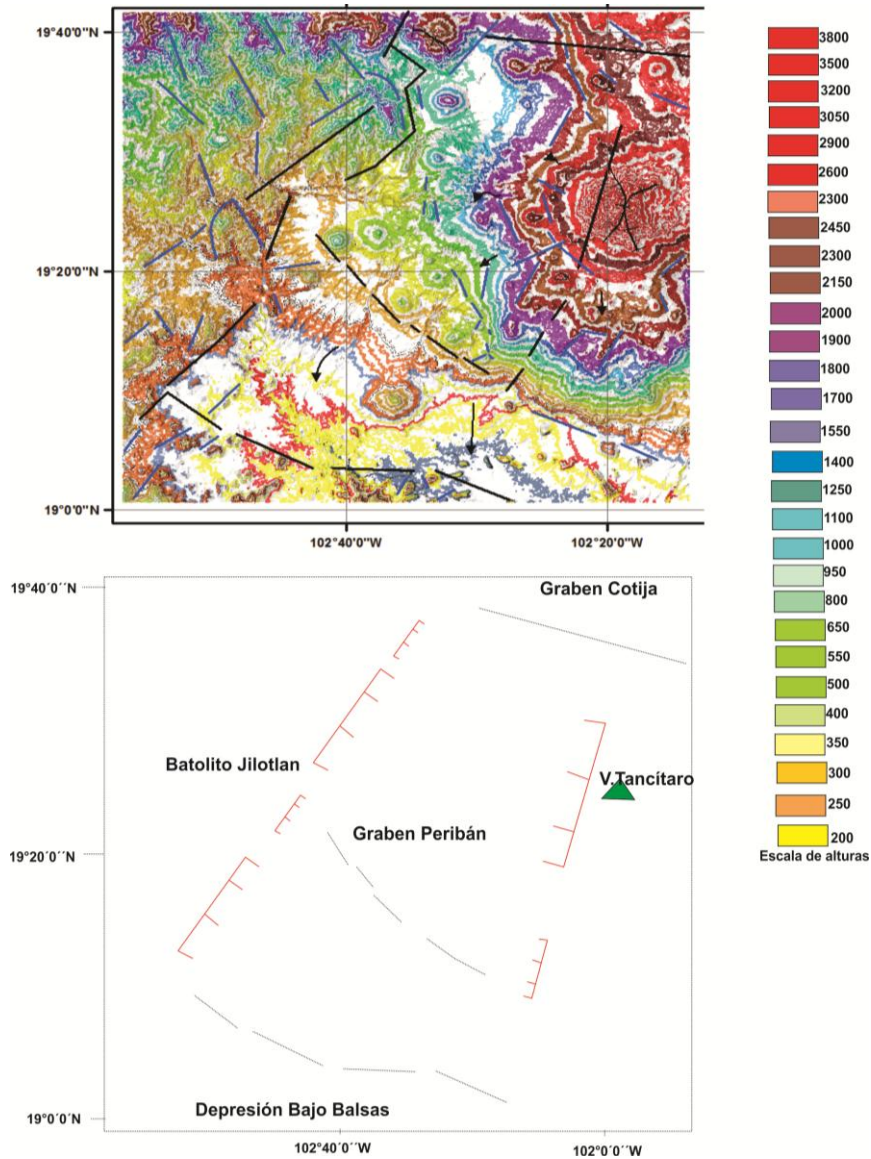
El análisis morfoestructural se realizó en tres etapas:

- a) Dimensiones y descripción general morfoestructural del Graben de Peribán
- b) Descripción de dominios morfoestructurales
- c) Morfolineamientos y temporalidad de estructuras tectónicas

##### ***7.1.1 Dimensiones y descripción general morfoestructural del Graben de Peribán***

El Graben de Peribán, presenta una orientación NE 40°SO, con dimensiones homogéneas en la parte central hacia el sur y variando al norte, donde se presenta la mayor abertura de este Graben asimétrico al centro y en la parte Norte el área más estrecha del Graben. El hundimiento tectónico está relacionado con una serie de estructuras mayores o lineamientos morfométricos con una dirección NE-SO con direcciones que van de los 40-50 y con longitudes de los 10 a 25 km. La mayor concentración o población de estructuras se observan en el flanco occidental, con dimensiones alrededor de 10 km, mientras que en el flanco

oriental se observa un menor número de estructuras. Sin embargo, éstas últimas aparentemente son de mayor dimensión alcanzando más de 20 km. De hecho, el principal lineamiento del sistema corta en modo evidente la estructura del edificio volcánico del Tancitaro.



**Figura 5.** A) Mapa morfoestructural representando lineamientos de primer y segundo orden del Graben Peribán, los colores claros representan las zonas más bajas mientras que los oscuros las alturas mayores del área. B) El GP se observan los lineamientos con dirección NE-SO así como sus límites norte y sur.

En relación con la parte central del Graben o depocentro de la estructura, las alturas varían de >800 m.s.n.m al norte hasta >200 m.s.n.m hacia la porción sur del depocentro. Este desnivel nos muestra la inclinación regional y pendiente de alrededor de 15 ° de toda la estructura del Graben de Peribán. Una de las características principales consiste en que se observan una serie de aparatos en semi-escudo alineados y paralelos a la estructura regional del Graben.

En relación con la diferencia vertical de los bloques bajos y altos de la estructura, se observa que las alturas máximas están en el flanco oriental con alturas de 2400 msnm, que corresponde con el bloque alto que disloca al edificio volcánico del Tancítaro, mientras que en el flanco occidental las alturas de este mismo bloque son de > 1100 m.s.n.m. Esta diferencia entre ambos bloques altos de la estructura nos sugiere que el desplazamiento horizontal se llevó a cabo de forma asimétrica desplazándose más en el flanco occidental.

Finalmente, en relación con el desnivel máximo, se puede mencionar que las alturas inferiores del depocentro son de 200 msnm y máximas de 2400 msnm, lo cual nos sugiere un desplazamiento vertical de aproximadamente 2200 metros. Sin embargo, es oportuno mencionar que este desnivel es relativamente heterogéneo de sur a norte.

#### ***7.1.1.1. Dimensiones a partir de Perfiles topográficos del GP***

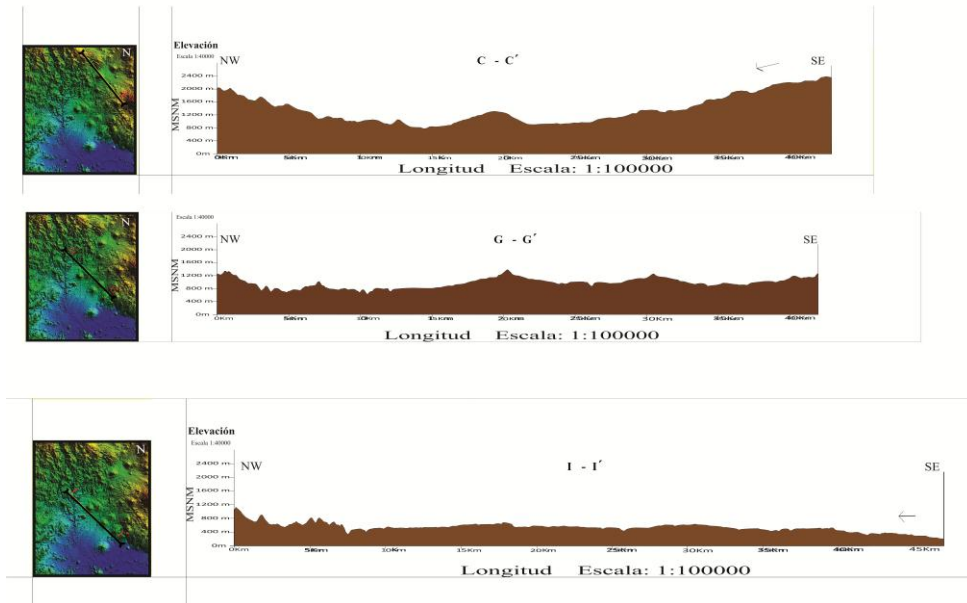
En el Anexo 1 se presentan doce perfiles topográficos del Graben de Peribán. Estos perfiles se construyeron perpendicularmente a la estructura principal, por lo que todos llevan una orientación NO-SE. El objetivo

primordial de la realización de estos perfiles consiste en identificar la geometría y las variaciones morfológicas del GP. En la figura 6, se presentan tres perfiles representativos.

En principio, podemos observar que se confirma una cierta tendencia de pendiente de sur a norte, sin embargo, esta pendiente no es homogénea, sino que se presentan una serie de desniveles que aumentan y disminuyen su altura sobre el nivel del mar. Este comportamiento reflejaría un relativo escalonamiento del Graben, presentando diversos bloques con alturas diferentes.

Por otro lado, cabe mencionar que el Graben presenta dos pendientes importantes de basculamiento, una muy evidente que se presenta orientada tanto NE-SO y otra más orientada NO-SE. Así mismo, el ángulo tiende a ser mayor hacia el norte y a partir del sector central tiende a ser más horizontal.

### Perfiles topográficos del Graben de Periban orientación que va de NW a SE .



**Figura 6.** Perfiles más representativos del GP que muestran la pendiente en la región NE (flecha). Hacia el sur la pendiente se mantiene semi-horizontal.

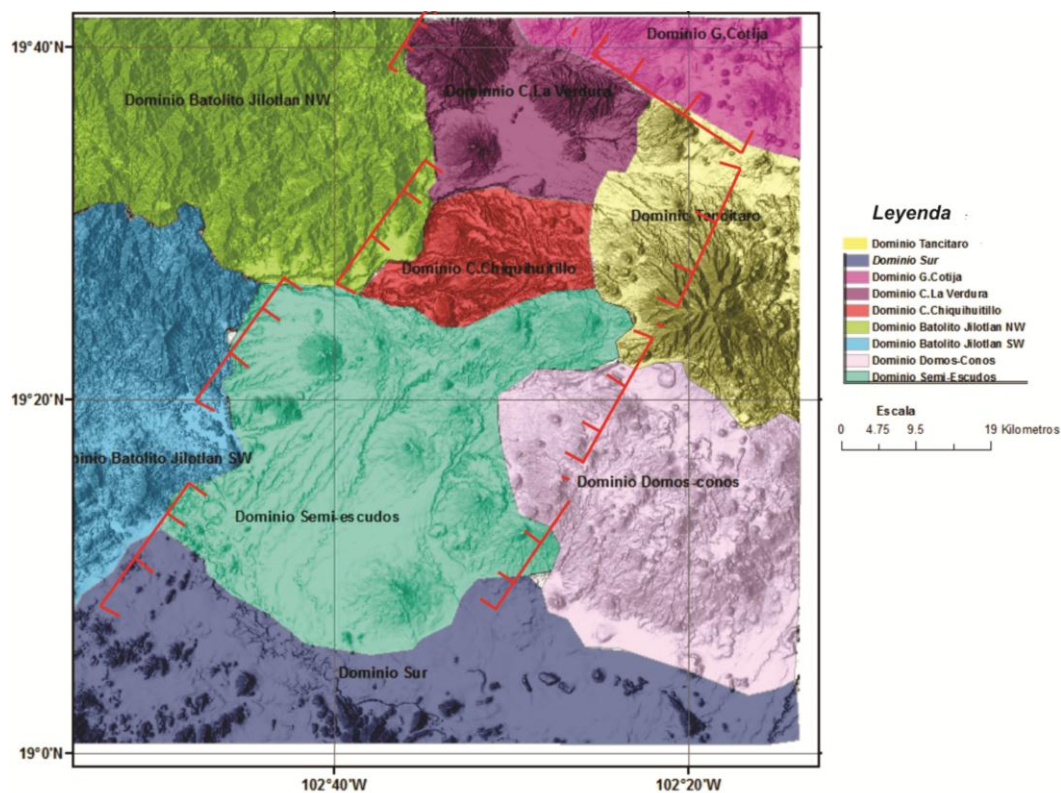
Una observación más se refiere a que el mayor desplazamiento de la estructura se presenta en el flanco oriental, en correspondencia con la estructura volcánica del Tancítaro, Esta asimetría propone que los bloques del GP muestran una estructura regional con forma de “tijera”, donde la mayor abertura se verifica en la parte sur, comenzando esta abertura a la altura del poblado Las Lomas.

#### 7.1.2 Dominios morfoestructurales

Con base en las diferencias morfoestructurales, se identificaron nueve dominios en la zona de estudio (figura 7). Los dominios morfoestructurales que delimitan la estructura del Graben de Peribán son al flanco este. i)

Dominio Tancítaro y ii) Dominio de domos y conos; al flanco oeste, iii) Dominio Batolito Jilotlán Noroeste y iv) Dominio Batolito de Jilotlán Suroeste; mientras que al norte y sur se delimita por v) Dominio Graben de Cotija y vi) Dominio sur, respectivamente.

Por su parte, la morfoestructura interna del Graben de Peribán ha sido dividida por tres dominios: al norte, vii) Dominio de Semi-escudo La Verdura; al centro por viii) Dominio de Avalancha Chiquihuitillo y al sur ix) Dominio de Semi-escudos.



**Figura 7.** Mapa de clasificación representado cada dominio morfoestructural por un color diferente, Escala 1:450, 000. El GP se representa con líneas rojas. En la región norte se observa la localización del Graben de Cotija.

#### *7.1.2.1 Dominio Tancítaro*

Este dominio está localizado en la región noreste del área de estudio. Se caracteriza por presentar una morfología típica de laderas de estratovolcán con el desarrollo de una serie de volcanes monogenéticos adventicios o parásitos, las cuales además son cortadas y disectadas, ya sea por estructuras relacionadas con el sistema nor-noreste del Gráben de Peribán, así como por deslizamientos de masa que han causado el desmantelamiento del edificio volcánico (Ownby et al., 2007). Se encuentra delimitado al norte por el Dominio de semi escudo La Verdura, sin embargo mantiene la orientación E-O del Dominio del Sistema del Graben de Cotija. Las alturas varían desde los 650 hasta los 3840 m.s.n.m., por tanto tiene un desnivel de 3000 metros y una pendiente variable que va de los 10 a 40 °. Los patrones de drenaje prevalentes de este dominio es dendrítico en sus laderas y radial-concéntrico en los aparatos monogenéticos más jóvenes.

#### *7.1.2.2 Dominio Domos-Conos*

Domos-Conos es el dominio que se encuentran en la parte sureste de la zona formando parte de la zona de avalancha del edificio volcánico el Tancítaro. Se caracteriza por tener la mayor concentración de los domos y un poco al este el emplazamiento de conos con intercalaciones de estructuras dómicas, siguiendo los lineamientos mayores que llevan la dirección del flujo de la avalancha del Tancítaro de dirección NE-SW. Este dominio se encuentra delimitado por dominio Tancítaro en la parte norte y en la parte inferior con el dominio sur.

Representa una zona con alturas que van de los 200 a los 800 metros, pendientes de 20-25°. Tiene un drenaje que se presenta tanto radial en las

estructuras cónicas como subdendritico en los domos y dendrítico en la base de los conos.

#### *7.1.2.3 Domino Batolito Jilotlán al NW*

Dominio localizado en la porción oeste de la zona donde se localiza Batolito de Jilotlán. El dominio se encuentra delimitado en la parte este con el dominio C. Chiquihuitillo y dominio C. La Verdura. Los lineamientos presentes en la zona se encuentran de manera escalonada con diferente dirección, siendo algunas cortadas y desplazadas en la parte central del dominio y desplazándose con un movimiento lateral izquierdo en los límites con el dominio C. Chiquihuitillo.

Las geoformas representan las típicas laderas y barrancos donde la concentración de los cerros son pocos, y la presencia de aparatos volcánicos es nula, tiene alturas que van de los 650 a 2000 metros, con pendientes variables que van de los 10° a los 25° en algunos cerros, presentando un drenaje dendrítico principalmente.

#### *7.1.2.4 Dominio Batolito Jilotlán SW*

Este dominio se encuentra al suroeste del área de estudio delimitado por un lineamiento con dirección NE-SW y delimitado en la parte este con el dominio semi-escudos y en la parte norte con el batolito Jilotlán.

Presenta alturas máximas de 950 metros y mínimas 500 metros, con pendientes de 20°. En esta zona, así como al NW del Batolito ya no hay presencia de algún tipo de aparato volcánico.

Dominan las barrancas y laderas, así como el cambio en el desnivel de alturas del Graben donde se observa la inclinación norte sur de la estructura.



Tiene lineamientos con dirección NE-SW los cuales coinciden con la delimitación del Graben con el Batolito.

En la región SW del batolito existe un drenaje dendrítico principalmente, aunque también presenta tipo paralelo que desemboca en la presa de Constitución de Apatzingán, siendo esta también un límite con la estructura del Graben Peribán en la zona oeste.

#### *7.1.2.5 Dominio Graben de Cotija*

Localizado en la parte norte de la zona de estudio limitando al NW con una parte del Batolito Jilotlán y el dominio C. La Verdura, cabe mencionar que este dominio en conjunto con el de C. La Verdura muestra una misma orientación.

Sin embargo, resalta que en este dominio hay también presencia de vulcanismo tipo conos y domos que tienen alturas que van de los 500 a los 1000 metros y pendientes máximas de 30°. Los principales lineamientos tienen una dirección que van de NW-SE con un ángulo de inclinación de 35° aproximadamente.

El sistema de drenaje es paralelo en la base de las estructuras volcánicas denominadas como semiescudo y radial que se observa en los aparatos tipo cono.

#### *7.1.2.6 Dominio Sur*

Como su nombre lo indica se encuentra al sur de la zona mostrando así la zona más baja del Graben. Al oeste limita con otro de los lineamientos mayores que nos indica el cambio de la morfología presentando el cambio de alturas entre el Batolito Jilotlán y el Graben de Peribán con una dirección NE-SW. Este a su vez tiene continuidad al sur donde se llega a intersectar con la gran Depresión del Bajo Balsas, el dominio forma un triángulo con los dos lineamientos principales que hacen más fácil la delimitación en esta zona del Graben.

Sus principales geoformas son las colinas y algunos escarpes o remanentes, mostrando así el vulcanismo nulo de la zona. El dominio está representado por alturas que van de los 400 a 200 m, y con unas pendientes que van de los 5-20°.

El drenaje en esta zona del Graben es paralelo y subparalelo además de ser parte de la Depresión del Bajo Balsas.

#### *7.1.2.7 Dominio volcanes Semiescudo La Verdura*

Esta localizado en la parte NE de la zona de estudio limitando al norte con el Graben de Cotija, en el flanco occidente con el Batolito Jilotlán, y en el flanco oriente con el dominio Tancítaro donde se encuentra la delimitación del GP en esta zona, presenta también uno de los lineamientos mayores localizados paralelamente al Graben de Cotija donde se define el límite norte del Graben Peribán.

Presenta una de las concentraciones de aparatos clasificados como semiescudo, donde el llamado C. La Verdura se caracteriza tanto por su

tamaño como por la estructura presente en la parte alta del aparato la cual muestra una estructura en forma de herradura similar a la del Tancítaro, así como la misma dirección de la avalancha la cual se dirige hacia el sur.

Su altura varía de los 1500.hasta los 2000 metros con pendiente de 10 a 26°. Su drenaje es radial en la cima de las estructuras y subparalelo rodeando los semiescudo.

#### *7.1.2.8 Dominio Avalancha Chiquihuitillo*

Localizado en la parte central del área de estudio limitado por la concentración de aparatos en semi escudo en la parte norte del Graben Peribán, al flanco oeste con el Batolito Jilotlán y el flanco este con el dominio Tancítaro, este dominio se nombró así por el aparato volcánico con el mismo nombre y por contener porciones de la avalancha del Tancítaro que a su vez concentra algunas estructuras en forma de domos según su estructura.

Se presentan alturas que van de los 800 a 1500 metros, además de sus pendientes de 5 a 30° como la máxima.

El drenaje que se presenta en esta parte es paralelo siguiendo la dirección de la avalancha del Tancítaro, pero en el C. Chiquihuitillo es radial.

Este dominio es característico también porque representa la parte más cerrada del Graben Peribán siguiendo su abertura hacia el sur y variando poco al norte.

#### *7.1.2.9 Dominio Aparatos en semi-escudo*

Dominando la concentración de aparatos en escudo en la región central del área, delimitado por el dominio C. Chiquihuitillo al norte y en la parte inferior con la zona más baja del área nombrada como el dominio sur, al oeste con el Batolito Jilotlán

Presenta una dirección NW-SE que muestra la misma orientación del vulcanismo y de una de las estructuras mayores, dentro de las geoformas predominan los aparatos clasificados como semi-escudo y una parte de la avalancha del Tancítaro.

La altura en esta zona varía de 800 metros hasta 1200 metros, presenta pendientes con 10 ° a 15 °. Se observa un drenaje dendrítico donde los ríos van circulando alrededor de los aparatos y paralelo que sigue el flujo de la avalancha.

El dominio representa la parte más ancha del Graben Peribán teniendo el mayor desplazamiento en la parte sur.

### ***7.1.3 Morfolineamientos y Temporalidad de estructuras tectónicas***

Con base en el análisis morfoestructural de este estudio se identifican al menos 4 sistemas de lineamientos mayores o sistemas que han influido en la distribución de las geoformas. Estos sistemas se traslapan entre sí, pero a la vez muestran relaciones de corte, ya sea de estructuras o de su relación con los aparatos volcánicos. A continuación se presenta una breve descripción, siguiendo un orden de temporalidad, es decir del más antiguo al más reciente:

i) *Un Sistema ONO-ESE* relacionado con la formación de la Depresión del Balsas. Este sistema es el más antiguo en cuanto se relaciona con la apertura de la Depresión que separa la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre del Sur. En el área de estudio se observa solo en la porción sur y se puede apreciar como este sistema es dislocado con una componente izquierda por el Sistema del Graben de Peribán.

ii) *El Sistema del graben de Peribán* N40-45°E, el cual se caracteriza por dislocar el anterior sistema así como por estar asociado con el vulcanismo en semi-escudo. Las características geométricas de las estructuras de este sistema ya han sido descritas en la parte inicial de este apartado. Sin embargo, vale la pena mencionar que las estructuras de este sistema tienen un comportamiento muy diferente en cada flanco del graben y que al parecer, esto depende de las propiedades mecánicas de las rocas volcánicas al este, y del macizo granítico al oeste.

iii) *Sistema de estructuras de colapso y desmembramiento de edificios volcánicos.* Este Sistema se asocia con una serie de estructuras de herradura que se distribuyen principalmente en las partes altas de la ladera oeste del

Volcán Tancítaro. Sin embargo, también es posible observar algunas estructuras de herradura de menor dimensión en las partes intermedias. En todos los casos estas estructuras están asociadas con el desmembramiento y sedimentos de avalancha que se desprenden y generan depósitos en las partes bajas. Estos depósitos de re-transporte de material se sobreponen a edificios volcánicos en semi-escudo y a estructuras de los sistemas antes descritos. Sin embargo, es muy probable que se asocien a una relativa contemporaneidad con el sistema NNE del graben de Peribán, el cual ha generado inestabilidad en las laderas con mayor pendiente.

iv) Sistema Graben de Cotija E-O. Este sistema corta y delimita la porción norte del Graben de Peribán. La estructura de corte es morfoestructural más que una línea de contacto, y también representa el límite de la estructura y el inicio de la morfología de la Meseta Purépecha. Este Sistema corta volcanes muy jóvenes y ha sido descrito por Rosas-Elguera y colaboradores (2004), quienes lo consideran un sistema relativamente activo.







## ***7.2 Mapa de clasificación de aparatos volcánicos Graben Peribán.***

En el siguiente apartado se darán a conocer los resultados obtenidos después de haber realizado la clasificación de los aparatos volcánicos del área.

Como se ha mencionado en la metodología, los caracteres geométricos de los aparatos a clasificados están referidos en los trabajos que Hasenaka & Carmichael (1985), los cuales realizaron una clasificación para el estudio integral del CVMG. Por otro lado, esta clasificación fue revisada por lo que la clasificación ha sido depurada para nuestro caso de estudio.

En la tabla 1 se muestran las principales características morfológicas de los volcanes aplicadas a este estudio, tomando en cuenta los datos más importantes de cada edificio volcánico consultados en la bibliografía y comparando con los datos de Hasenaka y Carmichael (1985).

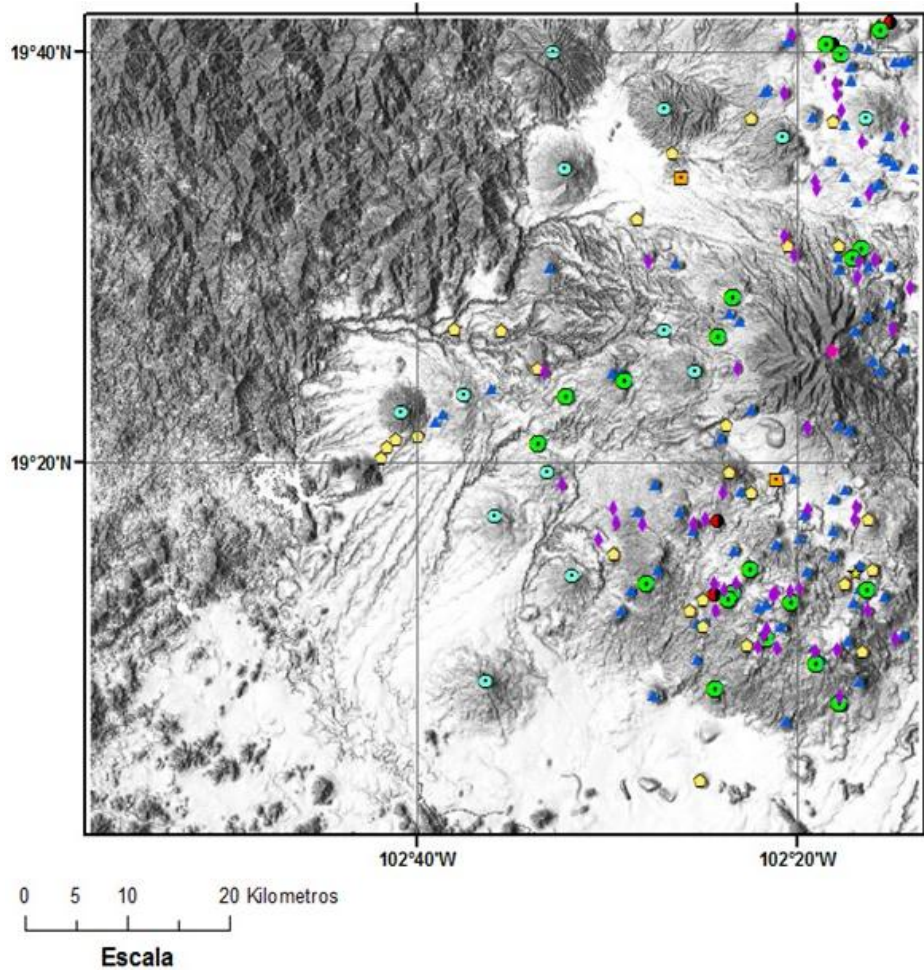


	<b>Cono:</b> alturas de 200 a 300 metros, diámetro basal de 800 metros, diámetro del cráter 200 a 300 metros, un volumen de .001 km <sup>3</sup> , con pendientes bajas.
	<b>Domo:</b> Alturas de 100 hasta 800 metros, diámetros basales de 1 a 5 km, un volumen de 1 a 3 km <sup>3</sup> .
	<b>Fisurales:</b> espesores de 2 120 metros, longitudes de 7 a 15 km, y volumen de 1-4.5 km <sup>3</sup> .
	<b>Escudo:</b> diámetros basales de 2 a 12 km, alturas de 800 a más de 1000 metros, volumen de 5 a 10 km <sup>3</sup> , las pendientes son casi rectas de ángulos de 10 a 15°.
	<b>Compuesto:</b> alturas de más de 3000 metros, diámetros basales de 15 a 25km, volumen mayor a 50 km <sup>3</sup> .
	<b>Maar:</b> alturas de 200 a 300 metros, presentan un centro con un desnivel donde se almacena el agua, pendientes bajas, volumen de hasta 1 km <sup>3</sup> .

**Tabla 1.** Parámetros de clasificación de aparatos volcánicos de acuerdo a Hasenaka y Carmichael (1985).y literatura.

Considerando los parámetros ya mencionados se realizó la clasificación de cada uno de los cuerpos volcánicos identificados en el área que incluye al GP y se incluyó además a la ladera sur del estratovolcán del Tancítaro, en cuanto se observa una estrecha relación con la orientación de la estructura principal del graben.

En la figura 8 se ha representado con un símbolo diferente a cada edificio volcánico: i) cono cinerítico, ii) conos fragmentados -rotos, iii) cono erosionado; iv) cono-redondeado; v) cono sepultado enterrado, vi) flujos de lava, vii) volcanes en semi-escudo; viii) domo y ix) volcán compuesto



**Figura 8.** Mapa de clasificación de aparatos volcánicos del Graben Peribán, representando Cono ▲, conos-fragmentado ◆, Cono erosionado ●, Cono-redondeado ●, Cono-sepultado ★, Flujos de lava ■, Semi-escudo ○, Domo ▲, Compuesto ◆

A partir del resultado de la clasificación cartográfica realizada en el área, se procedió a realizar el conteo de cada uno de los diferentes aparatos (tabla 2), la cual será comparada y discutida con la clasificación realizada por otros autores en el apartado de discusión.

Este trabajo	Número
Cono(C)	81
Domo(D)	26
Semi-escudo(S)	13
Compuesto	1
Flujos de lava (F)	3
Cono fragmentado(B)	50
Cono erosionado(E)	20
Maar	0
Cono sepultado(P)	1
Cono redondeado(R)	4
Total	199

**Tabla 2.** Clasificación de edificios volcánicos en el área de estudio.

Como resultado final de esta clasificación se encontraron 199 aparatos volcánicos en el área, teniendo algunas pequeñas diferencias con la clasificación anterior que posteriormente serán mencionadas.

Una vez que se realizó la clasificación, cartografía y conteo de las estructuras volcánicas, se procedió a realizar el cálculo del volumen de cada uno siguiendo la metodología y herramienta en el software Arc Gis. Los cálculos detallados se presentan en el Anexo 3 la tabla 3.

En la tabla 4 se muestran los volúmenes obtenidos para cada una de las estructuras volcánicas, correspondiendo a un volumen total de 138.06 km<sup>3</sup>, que correspondería al volumen de magma emplazado por todos los aparatos volcánicos identificados en el área de la figura 8. Es importante hacer notar que la mayor cantidad de volumen corresponde a los aparatos en semi-escudo con 63.70 km<sup>3</sup>, en cambio la proporción de los aparatos clasificados

como domos y conos presentaron un volumen mucho menor y corresponden a 20 km<sup>3</sup>.

Tipo	km <sup>3</sup>
Cono fragmentado(B)	0.47
Cono(C)	12.49
Compuesto	57.40
Domo(D)	2.75
Cono erosionado(E)	0.29
Semi-escudo(S)	63.69
Flujos de lava (F)	0.44
Cono sepultado(P)	0.00
Cono redondeado(R)	0.03
Maar	0
TOTAL	138.07

**Tabla 3.** Cálculo del volumen de todos los aparatos identificados, agrupándolos por morfología. También se presenta la suma total.

### **7.3 Trabajo de campo**

El trabajo de campo que se realizó en este estudio es complementario a tres campañas geológicas en las que se llevaron a cabo toma de datos y colecta de muestras para petrografía y geoquímica.

Se realizó una semana de campo en la que se verificaron en forma directa las geformas identificadas en el mapa morfoestructural preliminar, se describieron afloramientos complementarios y se colectaron 10 muestras más para realizar láminas delgadas y así sumar un total de 5 muestras que serán descritas en el siguiente apartado.

A continuación se presentan las diferentes estaciones de descripción realizadas en forma progresiva:

***Estación 1 Sedimentos de Avalancha del Tancítaro.*** Se realizó una parada cerca del poblado el Hueso específicamente  $19^{\circ} 22'56.1 \text{ N}''$ - $102^{\circ} 28'49.3 \text{ O}$ , con una elevación de 1397 msnm. El afloramiento se encuentra a pie de carretera con longitudes de 50 metros o más y de altura de 2 metros aproximadamente. Esta localidad pertenece a la avalancha del Tancítaro, donde se observó un fragmento de la misma del cual se realizó una descripción donde se observó la granulometría de la roca; siendo esta desde 1 mm hasta 50 cm. La muestra de un clasto presenta textura afanítica de color gris, con una matriz vítrea. Los clastos son redondeados a subredondeados, con contenido de anfíbol, plagioclasas, predominando los clinopiroxenos y

ortopiroxenos. Algunos clastos de este afloramiento se clasificaron como andesitas.

***Estación 2 Descripción de Geoformas en Escudo La Paja*** Se observaron varios aparatos que se había pre-clasificado con Surfer 9 y en campo se realizaron algunas modificaciones en su clasificación.

Al norte de Buenavista, en el poblado La Cuchilla hay una desviación al NO donde se encuentra el Cerro la Paja, lugar donde se tomó la muestra de un rodado puesto que no se pudo tener acceso al afloramiento más próximo, de la cual se realizó lamina delgada a la que se le puso la clave PR2. Se realizó una breve descripción de la roca la cual es de color oscuro, con una textura vítrea, con gran cantidad de vesículas orientadas, con contenido de piroxenos en mayor cantidad y probablemente olivino.



**Figura 9.** Fotografía de vista panorámica del cerro La Paja (aparato volcánico semiescudo) desde basurero de La Paja, Buenavista Mich.

Bajando de la cima, por una brecha cerca del rio Ojo de Agua se tomó la muestra PR3, con coordenadas  $19^{\circ}16'39.7''N$   $-102^{\circ}33'57.7''O$ , elevación 641 msnm. La muestra descrita pertenece a un derrame el cual es de color gris, tiene una textura vesicular, con vesículas rellenas, y presencia de ortopiroxenos, aunque los clinopiroxenos se pueden identificar con mayor claridad.

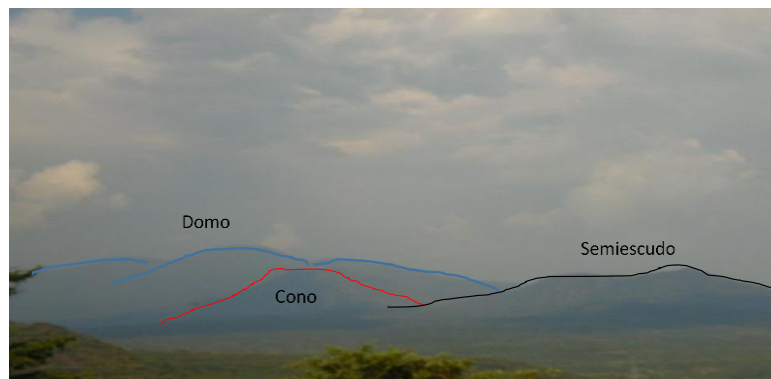
***Estación 3 Geoformas Depresión del Bajo Balsas.*** Otra de las muestras que se tomaron fue la PR4 la cual pertenece a una colada de lava perteneciente al aparato llamado El Puerto con coordenadas 19°09'49.4"N -102° 29'28.3" O, por la carretera Apatzingán-Tepalcatepec en el km 120 entre el poblado de Chichoato y Zirapetiro. Pertenece a una roca de color gris, con una textura afanítica con piroxenos, plagioclasas, clinopiroxenos en una matriz vítrea con vesículas orientadas.

***Estación 4 Geoformas remanentes del vulcanismo del Eoceno.*** Se describió un remanente en la salida de Apatzingán por la carretera Nueva Italia cerca de La Nopalera donde el material es más félsico, roca de color rosa, presentando una textura afanítica con cantidades de minerales maficos en menor cantidad, con contenidos de plagioclasas, del material félsico los feldespatos, cantidades representativas de cuarzo entre vetillas, se clasificó la roca como dacita-riolita. Esta roca pertenece a las secuencias volcánicas del Eoceno (>32 ma Ownby et al., 2011).

***Estación 5 Lahar oriental del Tancítaro.*** Se tomó una muestra del afloramiento perteneciente a un flujo de lava la cual se encuentra a pie de la carretera Apatzingán-Nueva Italia con las siguientes coordenadas 19°00'59.3"N-102° 14'53.7"O, con una elevación de 278 msnm, de color gris claro. La muestra de mano contiene clastos de diferente tamaño de milímetros hasta algunos centímetros, de forma redondeados a subredondeados, con textura afanítica, compuesta de plagioclasas, feldespatos, con alto contenido de sílice.

Material volcánico perteneciente a un lahar de la avalancha del Tancítaro. La muestra descrita PR6.

Se reconocieron las siguientes estructuras volcánicas mostradas en las figura 10 y 11 cerca de los lugares de muestreo.



**Figura 10.** Panorámica de lineamiento de aparatos identificados como cono, el cual presenta una forma cónica en la cima; semiescudo, donde su diámetro basal comparado con el del cráter tiene una relación 1:2. Notar que los domos se encuentran alineados y presentan una forma más aplanada en el cráter: Vista panorámica desde la carretera Apatzingán-Tepalcatepec a 1.3 km del poblado Zirapetiro.



**Figura 11.** Vista panorámica de estructura volcánica en forma de domo al este de Nueva Italia, Michoacán en el km 163. Obsérvese que su diámetro basal es casi igual al cráter además de su forma aplanada.



## 7.4. Petrografía

### 7.4.1 Descripción microscópica.

Se realizó la descripción de 12 láminas delgadas con luz paralela y con analizador insertado (nicoses cruzados), donde se observó la birrefringencia, el tamaño de fenocristales y microcristales, textura, la isotropía y anisotropía, se hizo la clasificación del tipo de plagioclasas por medio del método de Michel-Levy, así como la identificación de los minerales, y una clasificación de la roca.

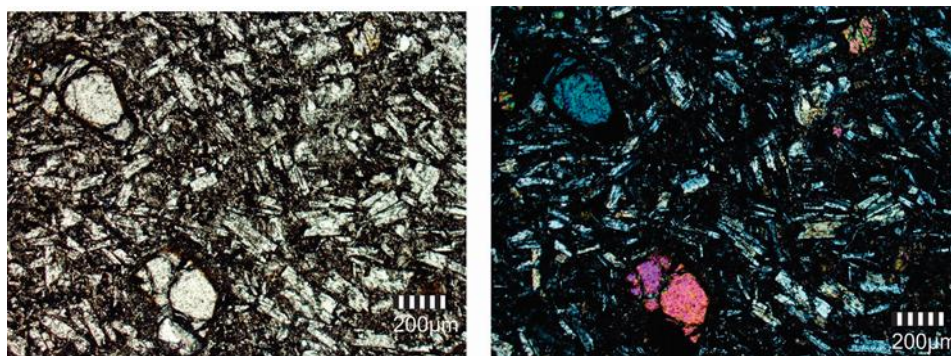
A continuación se presenta la descripción sistemática de las muestras, señalando sus características más relevantes de campo seguido de su descripción petrográfica.

La descripción de campo de la figura 12 que pertenece a la muestra TC-06, roca de color gris, con una textura afanítica, compuesta por una matriz vítrea, además de las vesículas de gran tamaño, los principales minerales que componen esta roca son las plagioclasas, olivino y los clinopiroxenos además de los óxidos entre algunos minerales.

**Muestra TC-06.** La roca al microscopio presenta una textura: microlítica pilotaxítica. Notar que los microcristales de plagioclasas son de tamaños que van de las 10 a 200  $\mu\text{m}$  además de no presentar una orientación preferencial. La cantidad de microcristales de plagioclasas es de aproximadamente un 85-90 %, su matriz está compuesta por una pasta de microcristales de plagioclasas que envuelve los fenocristales de olivino los cuales presentan un mayor tamaño, además de vidrio que se encuentra entre ellos hay algunos fenocristales de clinopiroxenos, mostrando así una asociación mineral: plag>vidrio>oliv>cxp>óxidos.

Acerca de las características de los fenocristales, la plagioclasa muestra un maclado múltiple polisintético donde se observan las bandas alternas oscuras y claras además de que se han clasificado como oligoclasas cuando se gira la platina hay una extinción con un ángulo de entre 20-30°, presentan una exfoliación buena, con una birrefringencia de primer orden y con un relieve bajo. Representan un 85-90 % de la composición de la roca además de presentar tamaños de 10 a 200  $\mu\text{m}$ . Los fenocristales de clinopiroxeno muestran un fracturamiento en varias direcciones una exfoliación con ángulos de 90°, presentan una birrefringencia de 2° orden con un relieve alto de tamaños de hasta 250  $\mu\text{m}$  y representan menos del 5 % de la roca. Así mismo los fenocristales de olivino presentan una birrefringencia de segundo y tercer orden con un zoneamiento típico, con un relieve alto y fracturamiento con tamaños que sobrepasan de los 200  $\mu\text{m}$ ; incluso algunos llegan hasta los 500  $\mu\text{m}$ , representando aproximadamente el 3 %.

La roca ha sido clasificada como basalto –andesítico



**Figura 12.** Fotomicrografías de la muestra TC-06. Microcristales de plagioclasas sin ninguna orientación, así como los fenocristales de olivino con una birrefringencia de segundo y tercer orden, corresponden a la muestra TC-06 izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados.

**Muestra TC-03** Roca de grano fino con una textura afánítica, compuesta por una matriz vítrea además de plagioclasas y algunos cristales de olivino, descripción de acuerdo a muestra de mano.

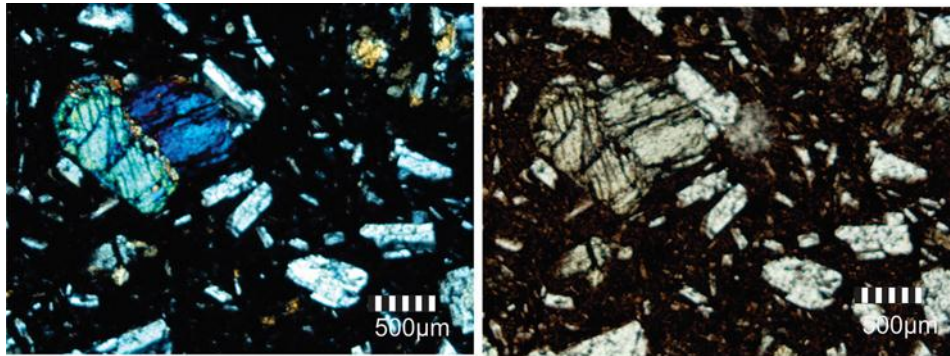
Petrográficamente se puede observar en la figura 13 que esta roca muestra una textura pilotaxítica. El tamaño de los cristales varía de 50 a 500  $\mu\text{m}$ . Nótese también que hay mayor presencia de vidrio y microcristales, matriz microcristalina con una pasta de vidrio predominan los microcristales de plagioclasas además de fenocristales de augita-olivino en menor cantidad, presentando así una asociación mineral de plag +vidrio±cpx±ol±ox.

Algunos fenocristales de plagioclasa presentan de manera tabular y otros con un borde zoneado, además de su maclado polisintético con una exfoliación buena y sin ninguna orientación preferencial, su birrefringencia es de 1 orden con un relieve bajo a medio, el tamaño varía de 100 a 500  $\mu\text{m}$ , con ángulos de extinción de 25 a 30°; clasificada como oligoclasa.

El vidrio forma la pasta de la matriz, además de los fenocristales de clinopiroxeno con exfoliación en dos direcciones con un borde de los mismos microlitos de plagioclasa, una birrefringencia de segundo y tercer orden, con un relieve alto, presenta un clivaje bien marcado.

También algunos de los fenocristales de olivino presentes en la lámina los encontramos bien desarrollados en algunas partes y otros de olivino con un borde de plagioclasas que rodean el fenocristal, muestra una birrefringencia de segundo y tercer orden, un relieve alto, además de las fracturas que presentan algunos fenocristales, cuyo tamaño llega hasta 1000  $\mu\text{m}$ .

La roca se ha clasificado como basalto –andesítico.



**Figura 13.** Textura microlítica - pilotaxíca, fenocristales de olivino con fracturamiento en dos direcciones, algunas plagioclasas tienen tamaños de hasta 500 µm, la imagen corresponde a la muestra TC-03 izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados.

**Muestra TC-13.** La muestra es de un aparato en que se clasificó como escudo, es una roca de color gris oscuro, con una textura afanítica con una gran cantidad de vesículas, con una matriz compuesta por plagioclasas y vidrio, con cristales de olivino y algunos óxidos, de acuerdo a muestra de mano.

En lámina delgada (figura 14), se observa una textura microlítica traquítica con microcristales de plagioclasa y vidrio formando una pasta homogénea con fenocristales de olivino, clinopiroxenos y algunos óxidos.

Matriz de microfenocristales de plagioclasa con cierta orientación con microcristales de color gris a blanco en una pasta que contiene también vidrio y óxidos predominando la  $\text{plag} \pm \text{oliv} \pm \text{cxp} \pm \text{vidrio} \pm \text{óxidos}$ .

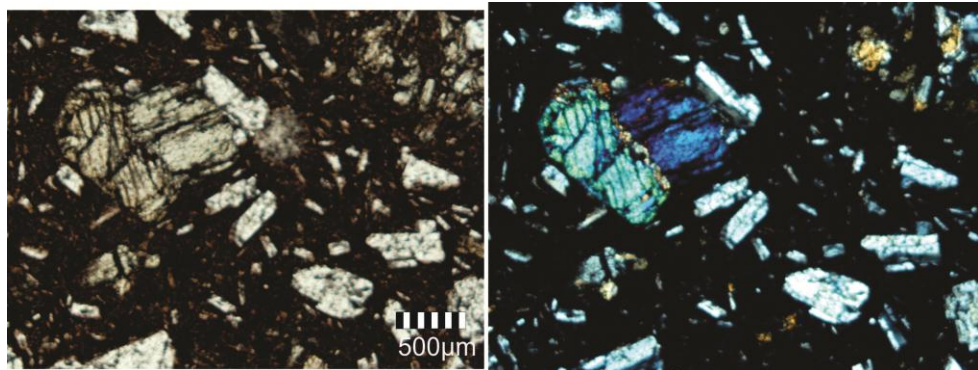
Los fenocristales de plagioclasa presentan maclas múltiples polisintéticas de tamaños de 50 a 350 µm, con una extinción bien marcada,

una birrefringencia de primer orden, un relieve medio, una exfoliación buena, se puede distinguir las bandas alternas oscuras y claras al girar la platina con un ángulo de 20-25° conforman la matriz de la muestra además de predominar en un 80-90 % en la composición de la roca.

Obsérvese los fenocristales de olivino con tamaños variados de 250 a 500  $\mu\text{m}$ , con una birrefringencia de segundo y tercer orden, con fracturas irregulares, un relieve alto, los clinopiroxenos presentan un clivaje bien definido así como una birrefringencia del segundo orden, un relieve medio a alto, hay mayor presencia de olivino que de clinopiroxenos.

El vidrio se muestra junto con las plagioclasas constituyendo la matriz, además de los óxidos que se alcanzan a diferenciar del vidrio este en menor cantidad.

La roca se clasificó como un Basalto-Andesítico.



**Figura 14.** Se observan olivinos muy fracturados rodeados por microcristales y fenocristales de plagioclasa. Muestra TC-13, Izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados.

**Muestra TC-12.** Su descripción de campo es la de una muestra tomada por la carretera cerca del poblado La Loma, es de color gris, con una textura

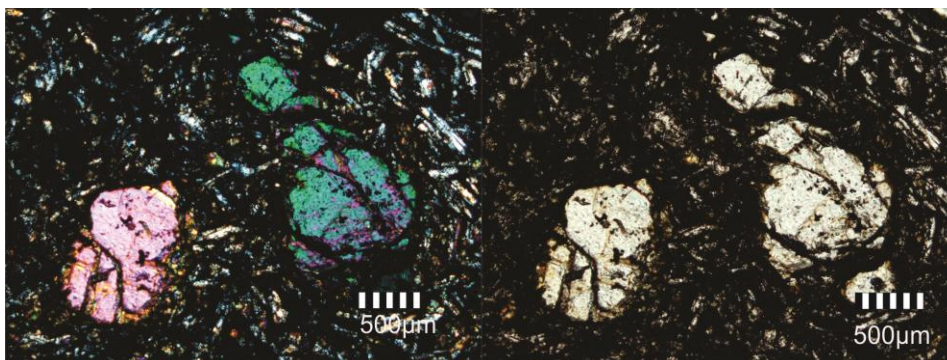
afanítica, matriz compuesta de vidrio y plagioclasa además de algunas vesículas, está compuesta por plagioclasa, piroxeno, olivino.

Presenta una textura microlítica pilotaxica (figura 15) donde los microcristales de plagioclasa no tienen una orientación preferencial. La cantidad de fenocristales se encuentran en menor cantidad, en un porcentaje de 5 %; los microlitos se encuentran en un porcentaje de 90 %,.

La matriz, conformada de microcristales de plagioclasa y piroxenos, forma una pasta fina que contiene también vidrio. Éste estos a su vez están rodeando los fenocristales de olivino y clinopiroxeno, con una asociación mineral:  $\text{plag} \pm \text{vidrio} \pm \text{cpx} \pm \text{olv} \pm \text{piroxeno} \pm \text{óxidos}$ .

Los fenocristales de plagioclasa se presentan con típicas con maclas múltiples polisintéticas de tamaños de 50 a 250  $\mu\text{m}$  con una exfoliación perfecta sin ninguna orientación rodeando los fenocristales, un relieve medio, con birrefringencia de primer orden, algunas plagioclasas se encuentran zoneadas, mientras que los clinopiroxenos muestran una birrefringencia de segundo orden con un alto relieve y un fracturamiento en varias direcciones con un borde de plagioclasa y piroxenos. Hay algunos glomerocristales de piroxenos y olivino que presentan birrefringencia de segundo y tercer orden con un relieve alto con tamaño de 100 a 700  $\mu\text{m}$ . Estos fenocristales presentan un borde de las plagioclasas y piroxenos.

Clasificación: clasificado Basalto-Andesita.



**Figura 15.** Olivino presentando dos típicas coloraciones con fracturamiento con un borde de plagioclasas figuras de la muestra TC-12 izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados.

**Muestra TC-02.** La figura 16 pertenece a la muestra de un derrame una lava del C. Los Limones. Es de color gris, con una textura afanítica, compuesta por una matriz de plagioclasa y vidrio, con cristales de olivino además de las pocas vesículas.

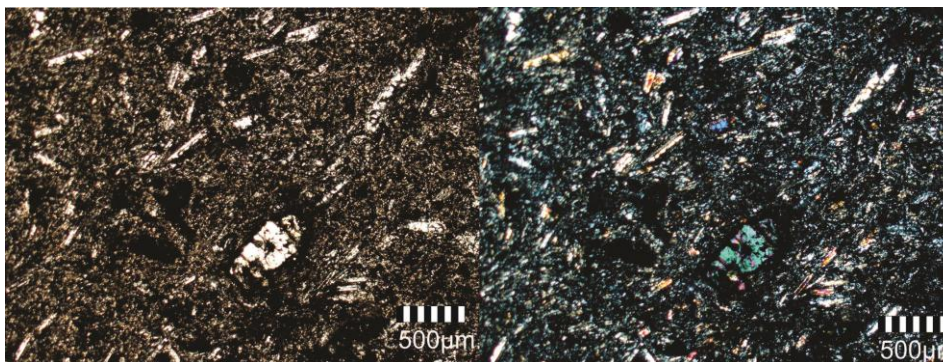
Textura microlítica pilotaxica con vesículas y fenocristales de clinopiroxenos y olivino conformada por una matriz microlítica que contiene cristales tabulares de plagioclasa y una cantidad menor de vidrio y piroxenos en la pasta teniendo una abundancia de  $\text{plag} \pm \text{vidrio} \pm \text{cpx} \pm \text{olv} \pm \text{óxidos}$  en menor cantidad.

Sus fenocristales de plagioclasa, con ángulos de extinción de  $22^\circ$ , característico de la oligoclasa, son maclas tabulares polisintéticas, que conforman principalmente la matriz de la muestra, con birrefringencia de primer orden con tamaños de hasta  $500 \mu\text{m}$ , los clinopiroxenos presentan colores de segundo orden con sus planos de exfoliación bien definidos así como un relieve alto, de tamaño que van de  $3$  a  $3.5 \text{ mm}$ , mientras que los olivinos son típicos por su birrefringencia de segundo y tercer orden con

fracturamiento y relieve alto, además del borde de zoneamiento del centro hacia afuera, con tamaños de 1.3 mm en promedio.

El vidrio se muestra en conjunto con las plagioclasas formando la matriz.

La roca fue clasificada como Basalto-Andesítico.



**Figura 16.** Muestra TC-02 Izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados. Se observan plagioclasas alargadas tabulares, de matriz compuesta por microcristales de plagioclasas y algunos fragmentos de olivino

**Muestra TC-10.** Roca de grano fino con una textura afánítica con presencia de escasas vesículas, compuesta por plagioclasas y vidrio, de acuerdo a lo que se observó en muestra de mano.

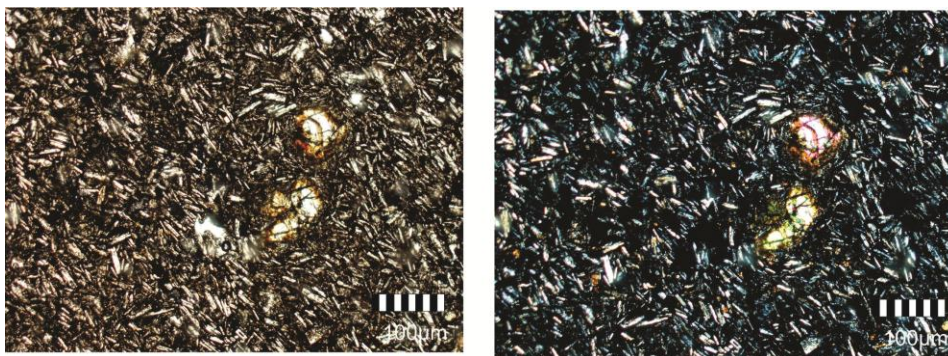
En la figura 17 observamos una roca con una textura microlítica traquítica con contenidos de vidrio entre los microcristales de plagioclasa los cuales no presentan ninguna orientación preferencial, con una matriz microcristalina de plagioclasas y piroxenos formando una pasta que rodea los fenocristales de olivino y clinopiroxenos, además de presentar una oxidación en la matriz.



Es una asociación mineral de  $\text{plag} \pm \text{oliv} \pm \text{cpx} \pm \text{vidrio} \pm \text{óxidos}$ , donde los microcristales de plagioclasa que presentan una birrefringencia de primer orden, no se presentan una forma tabular clara, sus maclas pueden observarse al girar la platina teniendo un ángulo de extinción que va de los 20 a 25 °.

Los fenocristales de olivino presentan los colores típicos de birrefringencia de segundo y tercer orden, con un borde de óxidos y un zoneamiento donde el núcleo se muestra más homogéneo y la periferia con un color verde, así como un relieve alto. Los clinopiroxenos se presentan con colores de interferencia de segundo orden con un borde de plagioclasa y un relieve medio, la matriz de la rocas rodea los fenocristales de olivino y clinopiroxeno que se encuentran den menor cantidad.

#### Clasificación basalto-andesítico



**Figura 17.** Corresponden a la muestra TC-10. Izquierda luz paralela, derecha, nicoles cruzados. Se observa un fenocristal en la parte central de un olivino con un borde de óxidos y plagioclasas rodeándolo.

**Muestra TC-07.** Descripción de campo: roca de grano fino por lo que su textura afánítica no permite la identificación clara de los cristales, tiene una matriz vítrea con algunas vesículas orientadas, compuesta por plagioclasas en su mayoría.

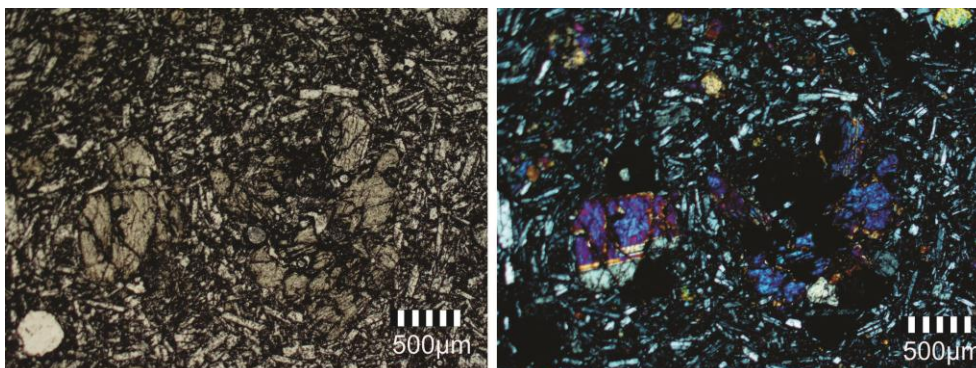
Petrográficamente, se observa una textura microlítica-traquítica. En la figura 18 se observa que los fenocristales se encuentran rodeados por una pasta de microlitos de plagioclasas que presentan una alineación más o menos homogénea y vidrio dentro de la pasta y una matriz compuesta principalmente de plagioclasas con vidrio y algunos óxidos que se encuentran rodeando los fenocristales de olivino, augita y clinopiroxenos predominando  $\text{plag} \pm \text{vidrio} \pm \text{olivino} \pm \text{cpx}$ .

Los microcristales de plagioclasas se encuentran en tamaños pequeños comparados con los de los fenocristales, presentan un maclado polisintético una birrefringencia de primer orden y un relieve bajo, sin ninguna orientación preferencial.

Los fenocristales de olivino de colores de segundo orden con relieve alto muestran un alineamiento con las plagioclasas, en cambio, en los clinopiroxenos es típico observar el fracturamiento en dos direcciones algunos se encuentran tabulares y otros con formas irregulares con birrefringencia de segundo orden y un maclado orientado a una de las direcciones de las fracturas.

Las cantidades de vidrio forman parte de la matriz, el cual como ya se sabe son incoloros con una birrefringencia baja, al igual que su relieve y resaltan porque están acompañados de las plagioclasas.

Clasificación: Basalto-andesítico



**Figura 18.** Fenocristales de olivino con zoneamiento. Se observa un cambio en la coloración y fracturamiento. recto. El olivino está rodeado de microcristales de plagioclasa. Muestra TC-07. Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados.

**Muestra TC-04** La descripción de campo se realizó con muestra de una estructura clasificada como domo cerca del poblado Agua Fría, es una roca de color gris claro, con una textura afánítica compuesta por plagioclasas predominantemente y una matriz vítrea.

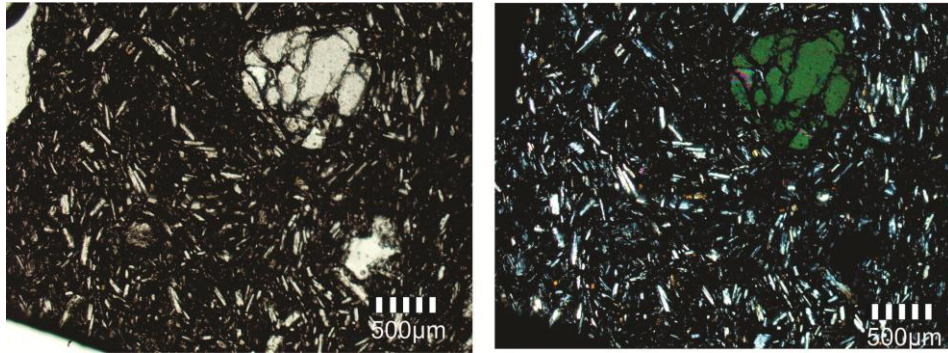
En lámina delgada figura 19 se observa una textura microlítica traquítica-pilotáxica, donde se observa en algunas zonas el alineamiento de las plagioclasas así como lugares donde no hay ningún orden de las mismas, con una matriz compuesta por microcristales y fenocristales de plagioclasas, rodeando los fenocristales de clinopiroxenos y olivino en una pasta vítrea donde también se observa algunos clinopiroxenos formando la matriz, teniendo una asociación mineral: plag ± vidrio ± cpx ± oliv ± óxidos.

Las plagioclasas presentes en la lámina muestran direcciones diferentes pero en algunas partes sigue un orden y dirección, son microcristales y fenocristales tabulares, algunas de sus maclas no están bien desarrolladas por lo que es un poco difícil diferenciar el ángulo de extinción que presentan.

Los clinopiroxenos resaltan por su birrefringencia de segundo y tercer orden, con un relieve medio y un fracturamiento en varias direcciones, los

fenocristales de olivino presentan fracturamiento irregular con un relieve alto, con un borde oscuro probablemente de los óxidos que también constituyen la matriz.

La roca ha sido clasificada como Basalto-Andesita



**Figura 19.** Muestra TC-04 izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. Se observa un fenocristal de olivino de color verde mostrando así su alto relieve y fracturamiento

**Muestra TC-01.** Muestra pertenece a una lava de un aparato clasificado como domo, es de color gris, con una textura afánítica, compuesta por una matriz de plagioclasas y vidrios, además de un porcentaje de vesículas, con presencia de plagioclasas, clinopiroxenos y porcentaje menores de óxidos.

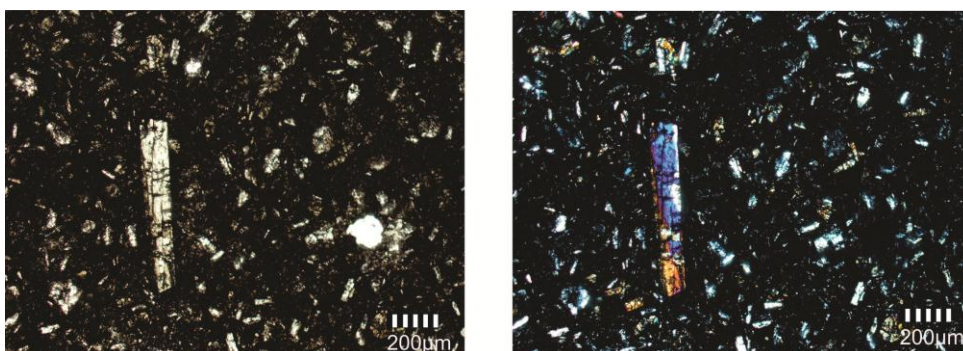
En la lámina delgada la (figura 20) se observa una textura microlítica pilotáctica. Los microcristales de plagioclasa rodean a los fenocristales de olivino. Su matriz es microlítica de plagioclasa y vidrio, el cual se presenta en mayor cantidad que la plagioclasa y algunos óxidos, además de porciones menores de clinopiroxenos muy pequeños.

Los microlitos bordean los fenocristales de mayor tamaño, en este caso los olivinos, con una asociación mineral vidrio  $\pm$  plagioclasa  $\pm$  óxidos  $\pm$  olivino  $\pm$  clinopiroxenos.

Los fenocristales de plagioclasas presentan una forma irregular, dispuestos al azar sin ninguna orientación, se encuentran con un maclado múltiple que al girar la platina su ángulo de extinción va de 20 a 25° pertenece al grupo de la oligoclasa.

Los fenocristales de olivino presentan una birrefringencia típica de segundo y tercer orden, además de un fracturamiento irregular, son fenocristales equidimensionales de tamaños de hasta 900  $\mu\text{m}$ , algunos idiomorfos. La mayoría de estos fenocristales de olivino presentan un borde compuesto por óxidos, vidrio y plagioclasas que van rodeando en contorno del fenocristal siguiendo la estructura del mismo. Algunos microcristales de olivino forman también parte de la matriz, así como una mínima cantidad de clinopiroxenos con un relieve medio y una birrefringencia de primer y segundo orden, son de tamaños similares a los microcristales de plagioclasas pero en cantidad menor, mientras que el vidrio es incoloro, se encuentra formando parte de la matriz junto con los óxidos que se ubican en los bordes de los fenocristales y en la mayoría de la pasta de la muestra.

Clasificación: Basalto-Andesítico.



**Figura 20.** Fenocristales equidimensionales de clinopiroxenos con tamaños de hasta 900  $\mu\text{m}$ , tabulares con un borde de óxidos, vidrio y plagioclasas. En la fotografía de la izquierda se observa un relieve alto y un fracturamiento en dos

direcciones. Representa a la Muestra TC-01 Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados.

**Muestra PR-4.** Descripción de campo muestra tomada de la colada de lava del C. El Puerto. Roca de color gris oscuro con una textura afanítica con una matriz de plagioclasas y vidrio. Las vesículas presentes muestran una orientación preferencial, compuesta por cristales de olivino, plagioclasas, características reconocidas en muestra de mano.

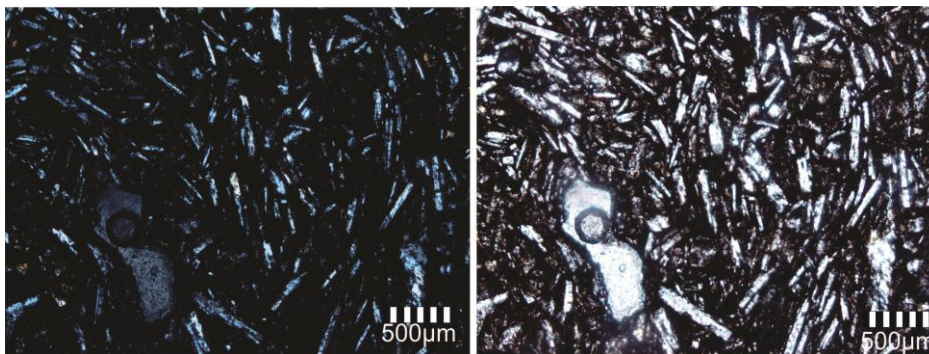
En la figura 21 presenta una típica textura microlítica pilotáxica, con una matriz de plagioclasas tabulares y alargadas de diferente tamaño, con un maclado polisintético que rodea los fenocristales de la muestra, además de una cantidad variable de vidrio y óxidos presentes en la matriz con abundancia de minerales como pla± vidrio± oliv± exp± óxidos.

Los fenocristales de augita así como los fenocristales de olivino que se pueden identificar por su birrefringencia alta, se encuentran englobando de manera sub-óptica los microcristales.

Los fenocristales de plagioclasa pertenecen al campo de las oligoclasas, las cuales muestran un desorden en el acomodo de los microcristales.

Los fenocristales de olivino se muestran con arreglo bien definido pero con un fracturamiento muy marcado, con un relieve alto. Algunos de los olivinos también llegan a formar la matriz de la roca junto con los clinopiroxenos los cuales se encuentran en menor proporción y tamaño.

La roca ha sido clasificada como un Basalto-Andesítico.



**Figura 21.** Muestra PR-4 Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. La abundancia de microcristales de plagioclasas comparadas con la cantidad de fenocristales es mayor. Plagioclasas tabulares con relieves bajos a medios.

**Muestra PR-2.** Otro de los resultados de la descripción petrográfica fue de la muestra recolectada del flujo de lava perteneciente al C. La Paja, en el que se pudo observar el color más félsico en comparación con las otras muestras de mano, así como una textura afanítica muy vesicular, además de los olivinos y clinopiroxenos que componen a la roca.

La lámina de esta muestra se observa en la figura 22, donde se identificó por tener textura pilotaxica donde las plagioclasas se encuentran bien desarrolladas con un buen maclado además de que resaltan por su color gris y blanco y por su tamaño y abundancia en la roca.

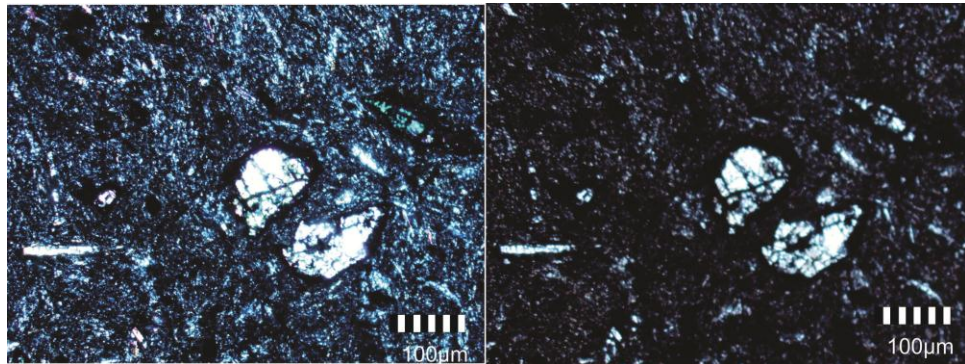
La matriz está compuesta por vidrio y plagioclasas de diferente tamaño, así como pequeños fragmentos de olivino y algunos clinopiroxenos formando la pasta de la roca, con una gran cantidad de vesículas rellenas por clinopiroxenos, predominando los minerales vidrio± plag± óxidos± cpx± olivino.

Los fenocristales de plagioclasas muestran un maclado polisintético típico, hay de diferente tamaño así como tabulares alargadas y unas

muestran un achatamiento que las hace ver más anchas que largas, su relieve es medio, forman parte de la matriz que se encuentra rodeando.

Los fenocristales de olivino y clinopiroxeno presentan un borde de óxidos, que se identifica por el color. Se observan glomerocristales de clinopiroxeno y olivino rodeados por las plagioclasas que van siguiendo el borde de los fenocristales bajo forma de xenolito.

La roca se caracterizó como un Basalto-andesítico.



**Figura 22.** Muestra PR-2 Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. Los fenocristales de mayor tamaño corresponden a los olivinos presentando un fracturamiento en dos direcciones, de formas regulares e irregulares, habiendo algunos tabulares



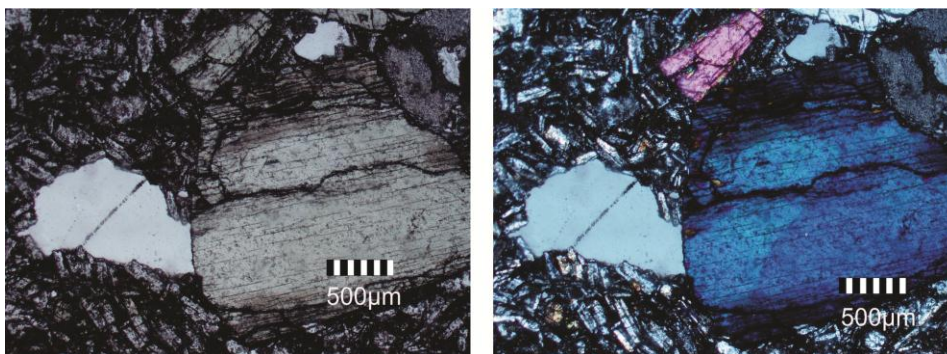
**Muestra PR-3.** Es una de las muestras recolectadas en el área de estudio sobre el río del poblado Ojo de Agua bajando del afloramiento C. La Paja. Es una roca de un gris claro, con una textura afánítica con escasas vesículas, con matriz vítrea, además de las plagioclasas que predominan y los piroxenos de acuerdo a la muestra de mano.

En lámina delgada se puede observar en la figura 23. Es una roca típica de textura microlítica traquítica pilotaxíca compuesta por plagioclasas siguiendo el flujo de la lava y otros sin ninguna orientación, rodeando los fenocristales, con escasas vesículas.

En la matriz microcristales de plagioclasas se muestran de diferente tamaño con clinopiroxeno y vidrio formando la pasta y bordeando los fenocristales de mayor tamaño. Con una proporción mineral de plag± vidrio± olivino ±cpx ±óxidos

Hay diferentes tamaños de plagioclasas: los fenocristales que componen la matriz y los fenocristales tabulares y alargados que están rodeados por la pasta de vidrio, óxidos y plagioclasas. En las de mayor tamaño se aprecia bien su ángulo de extinción de entre los 20 y 22°, con un maclado polisintético, con un relieve medio y birrefringencia de primer orden algunas de estas plagioclasas. Los olivinos muestran un fracturamiento y un borde de óxidos. La cantidad de clinopiroxenos es mínima además de que su tamaño es parecido a los microcristales de plagioclasas que componen la matriz algunos de ellos llegan a formar glomerocristales de clinopiroxeno y olivino con un borde de microcristales de plagioclasas. El vidrio y el óxido son parte de la matriz siendo estos de colores pardos pálidos a negros con un relieve bajo al igual que su birrefringencia.

La roca se clasifica como Basalto andesítico



**Figura 23.** Muestra PR-3 Izquierda luz paralela, derecha nicoles cruzados. El fenocristal de olivino muestra la dirección horizontal del fracturamiento, además de su alto relieve y tamaño.

## 7.5 Geoquímica

Los resultados de los análisis geoquímicos de las 12 muestras recolectadas en las campañas precedentes realizadas en la zona de estudio (Anexo 5). Las muestras colectadas son representativas de una diversidad de aparatos volcánicos, desde conos cineríticos hasta volcanes en semi-escudo.

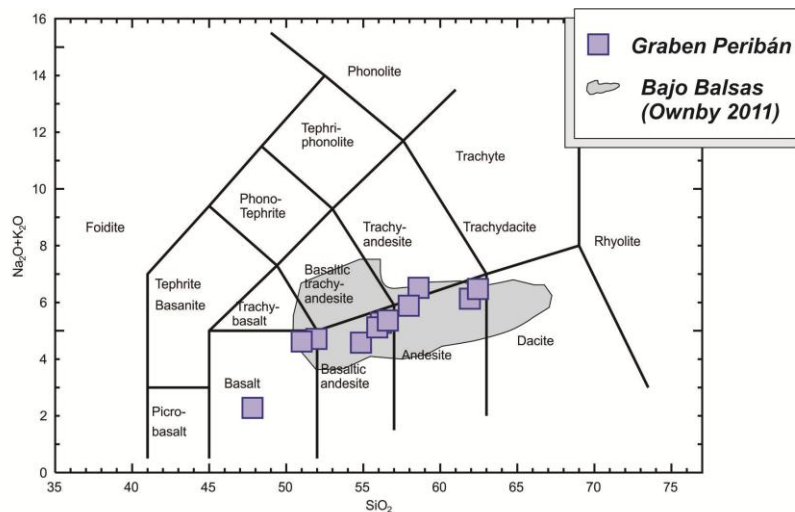
Las muestras han sido proyectadas con respecto a los datos compilados de Ownby et al. (2011) con la finalidad de observar diferencias, este autor además incluye los análisis de otros trabajos previos.

### 7.5.1 Elementos mayores

La manera más común de analizar y hacer una representación del porcentaje individual de los elementos mayores en una roca es mediante la elaboración de diagramas Harker. En estos diagramas de variación se grafican los óxidos  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$  contra el óxido en el que se manifiesta una mayor variación en la evolución de un magma y por tanto una roca, el  $\text{SiO}_2$ .

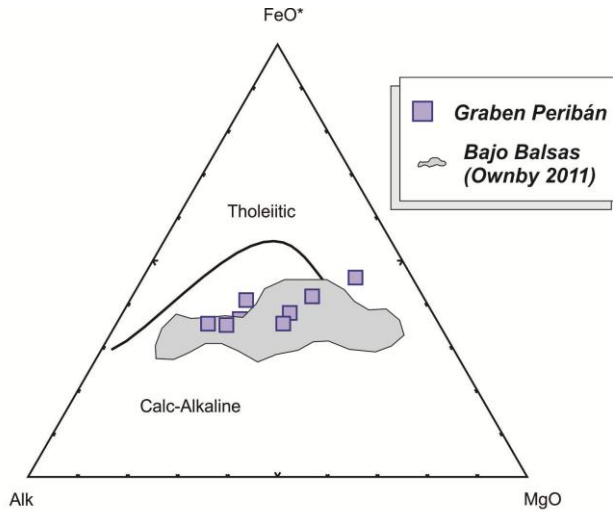
Para la interpretación de las tendencias de este conjunto de diagramas binarios, se parte de la hipótesis que un sistema magmático es ideal y el magma ha evolucionado y se ha llevado a cabo la cristalización fraccionada, por lo tanto, la variación de sílice en relación con el resto de los óxidos muestra un decremento de Fe, Mg, Ti y Ca, así como al aumentar la sílice, se incrementan de forma conjunta los valores de Na, K y Al.

Teniendo en cuenta que estas rocas ya han sido clasificadas desde el punto de vista petrográfico como basaltos y basaltos andesíticos, el objetivo en este caso es verificar ahora la tendencia de las nuevas muestras que se tienen. De acuerdo al diagrama de clasificación TAS de Le Bas et al. (1986) (Figura 24), nos muestra que el contenido de SiO<sub>2</sub> se encuentra entre 47 al 63% y que la mayoría de las muestras se clasificaron como andesitas y basalto-andesitas. Sin embargo es notable que las muestras que muestran mayores contenidos de sílice son la Tan-34 y UR-76 muestras de Ownby et. al (2011), mientras que las de menor contenido es la muestra TC-1 que recientemente se realizó su análisis: Así mismo, las muestras TC-1, TC-35B, TC-02 salen del dominio de las andesitas, encontrándose en el campo de los basaltos. No se encontró ninguna que estuviera dentro del campo de las dacitas como resultado en la compilación de los datos de Ownby *et.al* (2011).



**Figura 24.** Diagrama TAS (Álcali total vs sílice) de (Le Bas et al 1986), las muestras del Graben Peribán representadas en cuadros y Bajo Balsas en polígono gris.

En la figura 25 se presentan las muestras proyectadas en el diagrama triangular de Irvine y Baragar (1971). Todas las muestras analizadas corresponden a rocas basálticas sub-alcalinas de afinidad calci-alcalina, presentando contenidos con valores proporcionales a una suma del 100% dentro del triángulo de Irvine y Baragar (1971), de fierro entre 40 y 50 % los contenidos de álcalis varía entre los 30 a 80 % esta tendencia se observa tanto en las muestras del área como las que realizó Ownby en el 2011.



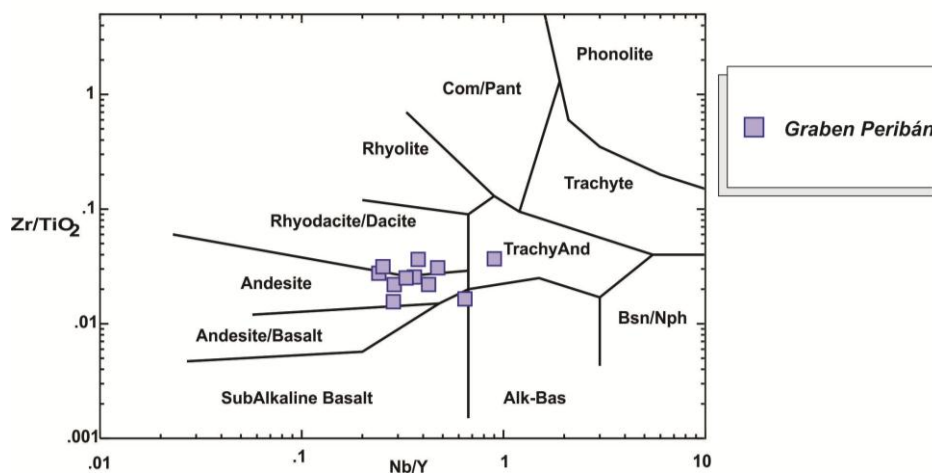
**Figura 25.** Diagrama AFM propuesto por Irvine y Baragar (1971) donde se muestra la subdivisión entre magmatismo toleítico y calci-alcalino.

A partir de la misma figura se puede observar que la muestra TC-01 es la única que se sale del campo, mostrando una afinidad toleítica.

### 7.5.2 Elementos menores

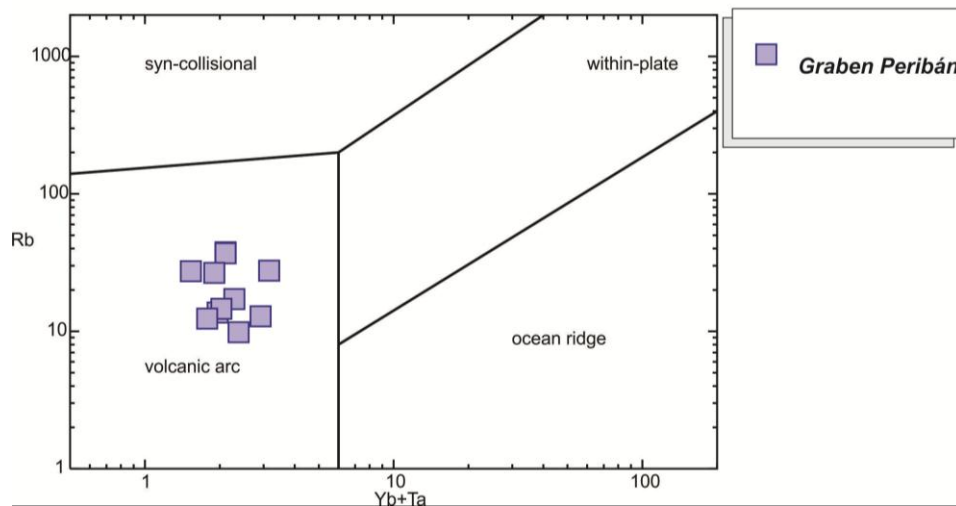
Con los resultados obtenidos de los elementos menores o traza (Anexo 5), se realizaron diversos diagramas. La importancia de los elementos menores o trazas, se refiere a que por su carácter de menor concentración es posible señalar rasgos geoquímicos compatibles o incompatibles entre un sistema o muestra analizada.

En la figura 26 se graficó el diagrama de Winchester and Floyd (1977) en el cual de acuerdo a la cantidad de  $Zr/TiO_2$  vs  $Nb/Y$  se hace una clasificación de afinidad con las series magmáticas a las que pertenecen las muestras del área. Como se puede observar la mayor parte de las rocas se proyecta en el campo de las andesitas y algunas relativamente más félsicas en el campo de las dacitas. Sin embargo, un rasgo notable es que la muestra Tc-07 se proyecta en el campo de las traqui-andesitas e incluso en el campo de los basaltos alcalinos (muestra Tc-35B).



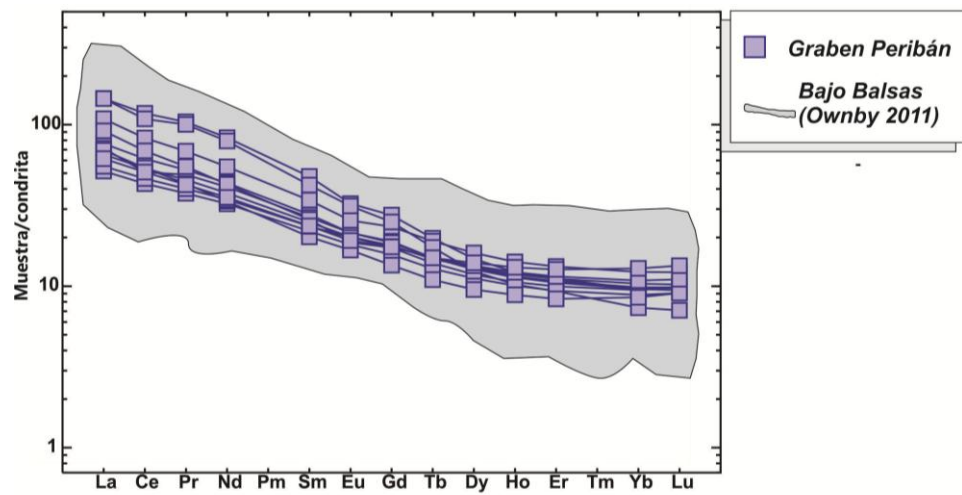
**Figura 26.** Diagrama de clasificación de Winchester and Floyd (1977).

En la figura 27 se presenta el diagrama  $Y+Nb / Rb$  (Perce et al 1984), el cual nos permite definir una clasificación tectónica. Se observa que todas las muestras de área representadas por cuadros se encuentran en el campo de rocas ígneas de arco volcánico.



**Figura 27.** Diagrama de Y+Nb vs Rb de Perce et al 1984. Donde las muestras del área se representaron con cuadros clasificando las muestras típicas de arco volcánico

Por último, en la figura 28, se presenta un diagrama multi-elemental o tipo araña, en el que se proyectan las muestras las Tierras Raras (REE) para el Graben Peribán y Bajo Balsas con la normalización de condrita. Las muestras se comportan con un patrón típico de arco magmático, en donde se observa un enriquecimiento de las Tierras Raras ligeras (> 100 unidades), en relación con un comportamiento ligeramente plano o similar de las Tierras Raras pesadas (<1 unidades). Al mismo tiempo es notable la similitud con el campo de las muestras proyectadas de Ownby et al (2011).



**Figura 28.** Diagrama de tipo araña de Tierras Raras (REE) normalizadas con la composición de la condrita para el Graben Peribán y Bajo Balsas.



## **CAPITULO XIII.**

### **DISCUSIÓN**

Un graben o fosa tectónica representa un tema de estudio geológicamente hablando muy interesante, pues permite por medio del conocimiento de su tectónica, petrografía y sobre todo la cronología del vulcanismo que puede estar asociado a un proceso de magmatismo de rifting o apertura intraplaca o a procesos de extensión contemporáneos a la evolución de un arco volcánico. Durante la recolección de los resultados del presente trabajo se ha generado información que ayuda a comprender la estructura de la Depresión del Bajo Balsas, así como del Campo Volcánico Michoacán Guanajuato, con la finalidad de poder hacer una correlación con otras estructuras existentes.

#### **8.1 Contraste en la clasificación de aparatos volcánicos del área realizada en este trabajo y Hasenaka y Carmichael (1985).**

Hasenaka y Carmichael (1985) realizaron una de las clasificaciones de la morfoestructura volcánica dentro del CVMG y una de las más reconocidas por su importancia a nivel internacional. En la tabla 5 se representa la clasificación y número de morfoestructuras volcánicas según la clasificación de Hasenaka y Carmichael, (1985) dentro del área de estudio, y se han colocado los resultados de este trabajo con la finalidad de hacer su comparación.

A partir de este estudio se puede mencionar que se han identificado un mayor número de edificios volcánicos, en particular entre el número de estructuras clasificadas como cono y semi-escudo. Sin embargo se coincide que el freatomagmatismo no está presente al menos en esta zona de estudio ya que el magma se encuentra a profundidades mayores a la profundidad de los acuíferos lo que genera que el contacto entre el agua y el magma no se lleve a cabo.

La diferencia en el número de aparatos y su clasificación se podría radicar en que los materiales cartográficos y el método de análisis que se han utilizado en nuestro análisis nos permite utilizar escalas que proporcionan más información, en particular en el momento de realizar la identificación de las estructuras volcánicas.

<b>Este trabajo</b>	<b>Número</b>	<b>Hasenaka&amp; Carmichael(1985)</b>	<b>Número</b>
Cono(C)	81	Cono(C)	81
Domo(D)	26	Domo(D)	9
Semi-escudo(S)	13	Semi-escudo(S)	7
Compuesto	1	Compuesto	0
Flujos de lava (F)	3	Flujos de lava (F)	3
Cono fragmentado(B)	50	Cono fragmentado(B)	53
Cono erosionado(E)	20	Cono erosionado(E)	23
Maar	0	Maar	0
Cono sepultado(P)	1	Cono sepultado(P)	1
Cono redondeado(R)	4	Cono redondeado(R)	6
<b>Total</b>	<b>199</b>	<b>Total</b>	<b>183</b>

**Tabla 5.** Comparación de la clasificación de aparatos volcánicos del área realizadas por Hasenaka y Carmichael, (1985) y nuestra.

Por otro lado, es oportuno mencionar que la identificación de estructuras en semi-escudos muestra una presencia mayor en la parte occidental del

GP. Este dato, resulta relevante si se relaciona con Hasenaka (1994), en donde menciona que a  $\geq 300$  km de distancia con la trinchera existe una mayor concentración de volcanes en escudo con edades entre 3 y 1 Ma, mientras que, a distancias a 200 km, se nota una mayor concentración de conos cineríticos con edades  $s < 1$  Ma. Es decir, la concentración de estructuras identificadas en este trabajo no sería consistente con esta afirmación. La explicación de encontrar este número anómalo se puede relacionar con la coincidencia de una serie de estructuras lineales y de fallas que este autor no consideró en su estudio. De hecho, en la actualidad la escasez de estudios de la morfoestructura que ponga en relación con la distancia, coincidencia o traslape con estructuras tectónicas permitiría entender con mejor detalle el control tectónico a diferentes escalas, regional y local en relación con los procesos de emplazamiento del vulcanismo en zonas de arco magmático.

## **8.2 Variaciones petrológicas y geoquímicas en el Graben de Peribán**

Ownby et al. (2011) resalta la limitada información geoquímica de esta zona de estudio comparada con la disponible para otras regiones en el mundo. En particular, es importante mencionar que en relación con la variación de la composición geoquímica se ha generado una relativa controversia en relación con el origen de las andesitas en un sistema de arco magmático de tipo continental.

La clasificación petrográfica, así como la composición geoquímica de este estudio, en general coincide con la mayoría de las muestras presentadas por (Ownby *et al.*, 2011), en donde la mayor proporción de las muestras del área son netamente andesitas o basaltos andesíticos con un carácter típico calci-alcalino de arco magmático. Este autor asocia esta composición con procesos derivados de la fusión parcial del manto

y sucesivamente con otros de cristalización fraccionada y posible mezcla de magmas.

Sin embargo, en el muestreo y análisis de este estudio hay tres muestras de nuestros resultados que presentan un comportamiento relativamente diferente. Estas muestras se refieren a los aparatos volcánicos de tipo semiescudo y a un derrame de la parte occidental del Tancítaro., presentándose composiciones de basaltos y traquiandesitas que reflejarían una tendencia a un magmatismo intraplaca e incluso que podrían ser relacionados a un sistema de extensión.

La presencia de los basaltos del área de estudio revelaría que se requiere una mayor atención al estudio de los aparatos volcánicos asociados con las estructuras tectónicas, en cuanto podrían influir en la diferencia de procesos magmáticos y por tanto de sus firmas geoquímicas.

### ***8.3 Relación espacial entre las estructuras tectónicas y el vulcanismo.***

El régimen tectónico convergente y en consecuencia las secuencias de arco magmático han evolucionado de forma heterogénea a lo largo de su historia dentro de la FVTM, por lo tanto han mostrado transformaciones notables en su posición, geometría y composición. (Ferrari *et al.*, 2015).

El GP muestra una relación entre las estructuras con orientación NE-SO en la parte oriental con la concentración de vulcanismo del tipo de conos y domos, mientras que la relevancia de los semiescudo muestran una tendencia más NE-SO presentándose lineamientos perpendiculares a las estructuras de primer orden que delimitan la geometría del Graben.

Los dominios morfoestructurales a su vez muestran relación con las dimensiones que delimitan el GP en conjunto con los lineamientos y el vulcanismo. La clasificación de estructuras volcánicas muestra un aporte importante en la interpretación y correlación que pueden realizarse en trabajos de este tipo.

Sin embargo en nuestra zona podemos decir que la relación del vulcanismo de tipo semi escudo con los dislocamientos que se presentaron en el GP presentan una relación, ya que el emplazamiento volcánico coincide con las áreas de deformación con fracturas de mayor extensión generados por el movimiento de estructuras de mayor influencia, que coinciden con lo que mencionan (Ferrari et al., (2004): un truncamiento asociado a una propagación E-W de un desgarre lateral de la Placa de Cocos mientras que (Yang et al., 2009) sugieren que las placas de Rivera y Cocos en la parte occidental han sufrido una rotación hacia la trinchera, lo que podría explicar la actividad del magmatismo en esta zonas. Además, si consideramos que de acuerdo a los fechamientos obtenidos por diferentes autores (Ownby et al., 2011 y referencias in), la migración temporal del vulcanismo se presentó de norte a sur, por lo tanto, podemos considerar que los pulsos magmáticos con mayor influencia se presentan precisamente en los dislocamientos del área donde se muestra un cambio drástico en la morfología y en la orientación de las estructuras tectónicas.

Mientras, las condiciones de apertura que presenta el Graben también son correlacionables con el vulcanismo puesto que en las zonas con mayor extensión tienden a concentrarse los aparatos de mayor tamaño y volumen, mientras que en la zona de compresión, donde es mayor la concentración de domos y conos.

Es por ello que se necesita realizar más estudios que consideren el análisis de la morfoestructura en las zonas a estudiar y no solo consideren

la parte petrográfica y geoquímica ya que esto podría ayudar en el complemento de la interpretación tectónica y daría la pauta para un nuevo método de interpretación en zonas con vulcanismo.

## **CAPITULO IX.**

### **CONCLUSIONES**

1.- El Graben de Peribán se formó en al menos 4 etapas en tiempo y espacio: i) Desprendimiento de la Depresión del Bajo Balsas con la provincia fisiográfica con mayor concentración de vulcanismo la FVTM el cual presenta una orientación NO-SE; ii) Formación del Graben de Peribán con una orientación NE-SO, el cual disloca la estructura NO-SE; iii) Vulcanismo activo en la zona desde el inicio de la apertura NE-SO; iv) Dislocamiento E-O asociado con la estructura del Graben de Cotija.

2.- El Graben Peribán presenta una geometría y dimensiones que proponen estructuras NE-SO asociados con una extensión de E-O. El ancho de la estructura es de aproximadamente 40 a 50 km al sur, siendo homogéneo hasta la parte central del hundimiento, mientras que en la zona norte tiene un ancho de 20 a 30 km. Debido a ello, se propone que la cuenca se abrió en sentido sur-norte, con un movimiento tipo tijera.

3.- La estructura regional del GP muestra una geometría de escalonamiento en dirección norte-sur variando las dimensiones de cada bloque y tendiendo a hacerse más plana desde la porción central de la fosa.

4.- Los dominios morfoestructurales representan con mayor claridad la estructura regional del Graben: i) C. La Verdura; ii) C. Chiquihuitillo; iii) Semi-escudo iv) y dominio Sur. Las diferencias entre cada dominio

se relacionan con los morfolineamientos, el vulcanismo y el desmembramiento del estratovolcán Tancítaro.

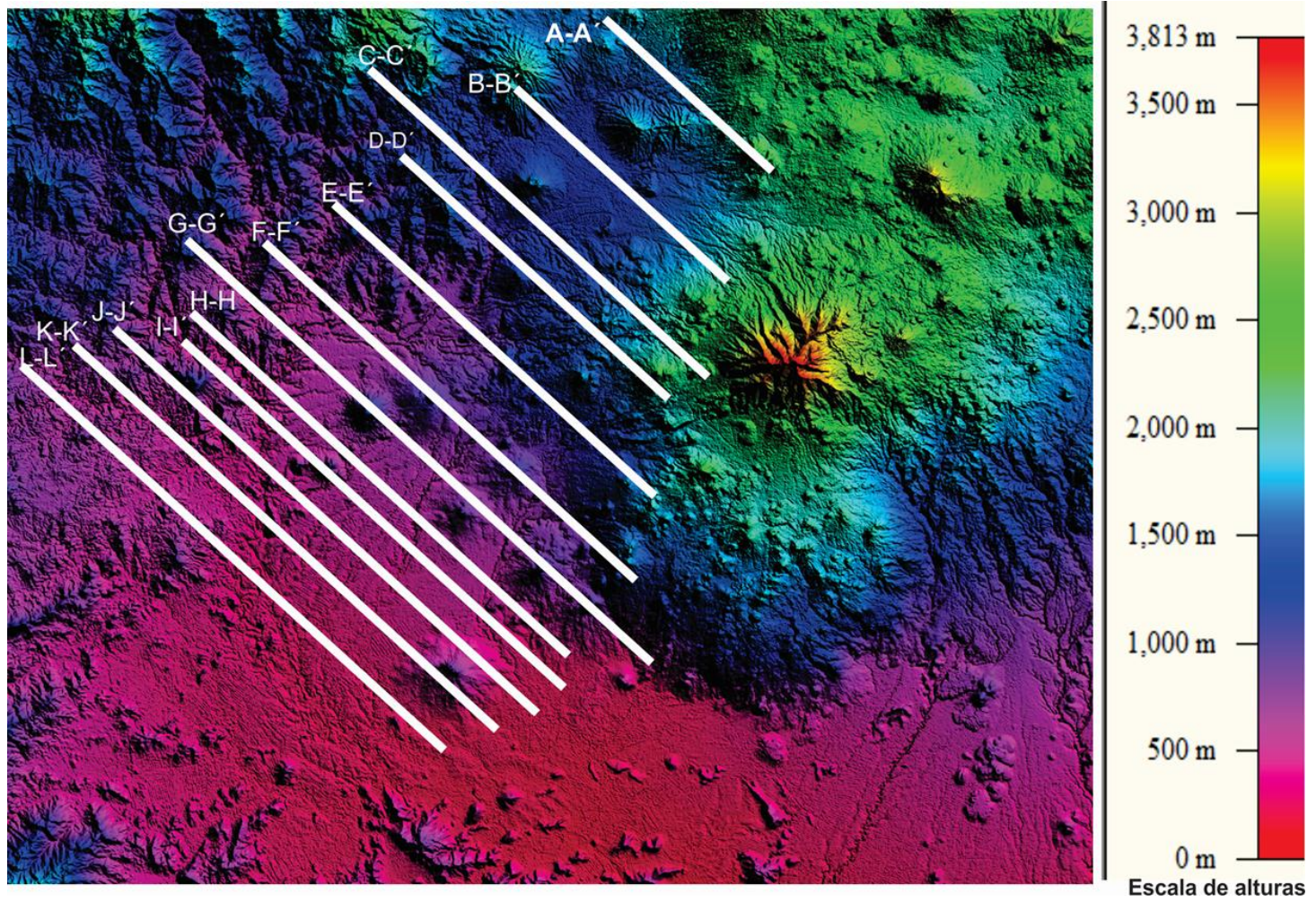
5.- Se han identificado un mayor número de edificios volcánicos: domos, semi-escudo y conos cineríticos que otros autores (Hasenaka, 1994). Ésta diferencia se podría deber principalmente a que los materiales cartográficos y el método de análisis que se han utilizado en nuestro trabajo nos permite utilizar escalas que proporcionan más información, en particular en el momento de realizar la identificación de las estructuras volcánicas.

6.- La composición de las muestras colectadas con una asociación en fenocristales de plagioclasas, clinopiroxeno y olivino con zoneamiento, muestran una composición tipo calcalina de un arco volcánico, con contenido de sílice entre 50 y 60 % y los bajos contenidos de hierro de 5 a 10 % perteneciendo al campo las andesitas.

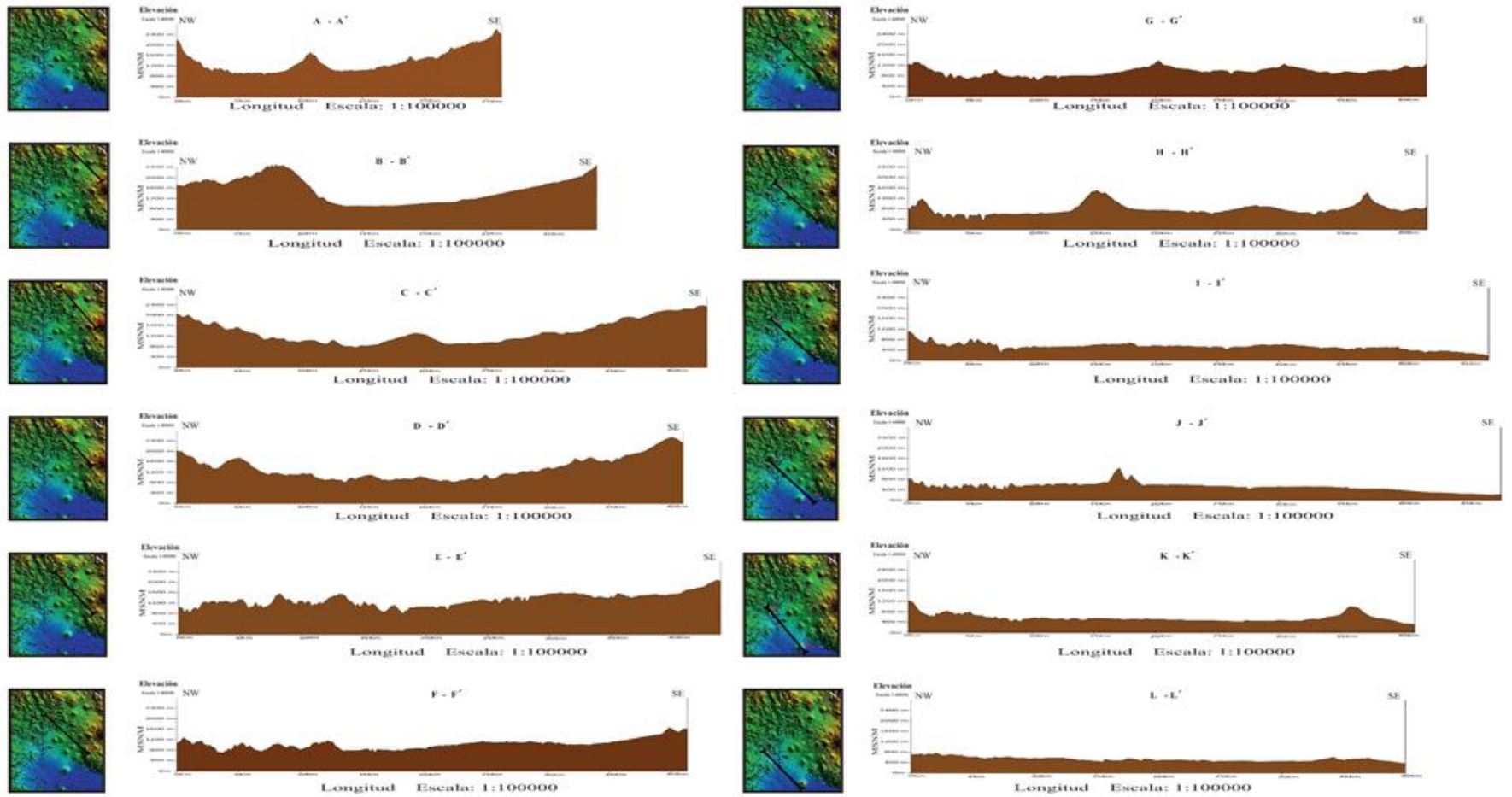


# ANEXO 1

A)



B)



La figura a) representa los doce perfiles realizados con una orientación NW-SE, la figura b) muestra cada perfil y su ubicación dentro del GP.

## ANEXO 2

### MORFOESTRUCTURA DEL VULCANISMO MONOGENÉTICO

#### *1. Vulcanismo monogenético*

Un volcán es la evidencia geológica de la llegada de material magmático (lava y/o material piroclástico) a un lugar de la superficie terrestre a partir de una chimenea central conectada en profundidad a una fuente magmática y que puede permanecer en el registro geológico después de finalizar la actividad volcánica

La acumulación de los materiales emitidos alrededor del centro emisor durante un episodio de actividad volcánica puede dar lugar a la formación de un edificio simple denominado monogenético, mientras que cuando el volcán desarrolla diferentes fases de actividad se pueden llegar a formar varios edificios volcánicos superpuestos (estratovolcán) y se denominan poligenéticos.

Un episodio eruptivo que genere un edificio monogenético puede durar desde algunas horas hasta algunos años y cuando la erupción cesa, lo hace de forma definitiva. El magma que produce este tipo de erupciones procede generalmente de un reservorio profundo sin conexión con cámaras magmáticas superficiales, por lo que cuando finaliza su descarga se detiene la erupción y, por consiguiente, la construcción del edificio, sin posibilidad de resurgencia futura. Los edificios resultantes son siempre de dimensiones reducidas (decenas de metros a centenas de metros de altura y de centenas a pocos kilómetros de diámetro en la base) y se encuentran ampliamente repartidos en todos los ambientes geodinámicos.

#### *2. Clasificación morfológica de aparatos volcánicos*

##### Domos

Están formadas por masas relativamente pequeñas, en forma de bulbo, de lava demasiado viscosa como para fluir fácilmente; en consecuencia, durante la extrusión, la lava se apila sobre y alrededor de la abertura. Un domo crece mayoritariamente por expansión desde el interior. Mientras crece su superficie se enfría y endurece, haciendo caer fragmentos sueltos por sus lados. Algunos domos forman protuberancias escarpadas o agujas sobre la abertura volcánica, mientras que otras veces forman coladas de lava bajas, de lados escarpados, conocidos como “domos-colada”. Los domos volcánicos normalmente aparecen en el interior de los cráteres o en las laderas de grandes volcanes compuestos. Generalmente, formados por lavas de composición andesíticas, dacítica o riolítica, pueden alcanzar algunos cientos de metros, y ocasionalmente hasta 1 km, pero de < 5 km de diámetro.

Conos de escoria, lapilli (piroclasto) y ceniza. Son los edificios monogénicos más abundantes, típicos de erupciones estrombolianas, de baja explosividad. Estas erupciones dan lugar a la construcción de edificios tronco-cónicos de planta con tendencia a la circularidad, con flancos regulares de pendiente media en torno a los  $26^\circ$  y presentan en su parte superior un cráter en forma de herradura.

Conos de tobas. Son típicos de erupciones hidromagmáticas en aguas poco profundas, presentan diámetros de 300 a 5000 m y una altura que oscila entre los 100 y los 800 m. Se caracterizan por perfiles altos y de fuertes pendientes ( $>25^\circ$ ) compuestas en gran parte por depósitos de flujos piroclásticos.

Anillos de tobas y maars. Son producidos también por erupciones hidromagmáticas altamente explosivas en un ambiente terrestre donde el nivel freático del agua subterránea es poco profundo, como ocurre en terrenos próximos a la línea de costa. Generan cráteres circulares, someros y poco profundos, con frecuencia rellenos por un lago. Con dimensiones más pequeñas que los conos de toba, la altura de los depósitos es inferior a 100 m. Los anillos de toba tienen pendientes exteriores de  $>25^\circ$  mientras que los maars se caracterizan por laderas de baja pendiente (de flujos piroclásticos y depósitos de piroclastos de caída, generalmente de espesor pocos centímetros).

Volcanes en escudo. Son típicos de erupciones efusivas sucesivas que suelen formarse a lo largo de millones de años. Están formados por la acumulación de grandes volúmenes de lavas de bajo contenido en sílice y volátiles y de baja viscosidad, lo que evita que las erupciones sean sumamente explosivas. Estos edificios volcánicos tienen diámetros en la base que pueden ser superiores a los 10 km y su altura rebasar 1 km. Tienen un perfil cónico achatado en forma de escudo invertido, con laderas de suaves pendientes ( $10-15^\circ$ ) en las que crecen conos monogénicos.

Estratovolcanes y volcanes compuestos. Se forman por la acumulación tanto de lavas (extruidas normalmente desde sus flancos) como de depósitos piroclásticos (eyectados desde sus zonas sumitales). Son edificios generalmente de gran estabilidad debido a que los flujos de lava protegen los depósitos piroclásticos subyacentes de la erosión. Ligados a magmas con contenidos de sílice intermedios a altos, a lo largo de sus historias evolutivas se alternan fases efusivas con otras altamente explosivas, siendo típicamente mayor el volumen de material piroclástico que el de las lavas. Presentan perfiles cónicos más o menos simétricos, con fuertes pendientes ( $10-35^\circ$ ) y bases de varios kilómetros de diámetro. Al igual que en los volcanes en escudo, al elevarse progresivamente el edificio, el magma busca su salida a través de fracturas próximas a la base; por esta razón, la pendiente es más suave en los niveles inferiores del estratovolcán. Suelen llevar asociados conos en sus flancos, mientras que en sus zonas sumitales se forman domos y/o calderas.

Erupciones fisurales. Los relieves resultantes de las grandes erupciones fisurales poligenéticos constituyen los relieves volcánicos más extensos en el mundo, pues entre ellos se incluyen las dorsales oceánicas y las mesetas volcánicas o traps. A menor escala, cuando estas alineaciones se forman en islas volcánicas, generalmente asociadas a volcanes centrales poligénéticos, dan como resultado las denominadas dorsales (no confundir con las centro-oceánicas) o rift. En la superficie, estas dorsales se manifiestan como zonas con gran concentración de conos monogenéticos alineados, mientras que en profundidad están representadas por enjambres de diques paralelos que fueron las vías alimentadoras de los centros eruptivos superficiales. El progresivo agrupamiento de estos centros a lo largo del alineamiento fisural da lugar a una estructura en tejado a dos aguas (dorsal), con predominio de conos volcánicos en la cumbre y coladas en los flancos. Rodríguez A y Fernández T. (2015)

## ANEXO 3 CÁLCULOS MORFOMÉTRICOS

Nombre	X	Y	Tipo	Altura(m)	Volumen(km <sup>3</sup> )	Area (km <sup>2</sup> )
115	-102.4057	19.2249	R	1340	0.0242	1.3158
116	-102.3961	19.2284	B	1580	0.0109	0.7933
117	-102.3896	19.2262	E	1620	0.0045	0.6044
11C	-102.3200	19.6154	C	2200	0.0414	7.8799
La Majada	-102.4049	19.1479	D	2400	0.0164	4.3391
127	-102.3623	19.1912	B	1480	0.0090	0.6926
128	-102.3597	19.1962	D	1520	0.0049	0.2781
12C	-102.3465	19.5981	ESC	2140	6.3780	9.7302
132_Los cerritos	-102.3675	19.2153	D	1700	0.0078	0.5919
134	-102.3512	19.2270	B	1700	0.0041	0.3859
13C	-102.3731	19.6135	C	1800	0.0346	5.5426
141	-102.4131	19.2849	D	1700	0.0033	1.2400
14C	-102.4352	19.5643	C	1360	0.0504	7.2076
15C	-102.4499	19.6211	ESC	1300	1.2910	1.5788
186	-102.2957	19.6662	D	2380	0.0360	1.4839
185	-102.3012	19.6733	D	2400	0.0199	0.7787
17C	-102.2808	19.2299	C	1680	0.0129	2.3501
16C	-102.5473	19.6677	C	1320	2.0331	1.6864
188	-102.2712	19.6695	C	2480	0.0049	0.4577
194	-102.2515	19.6920	R	2460	0.0094	0.8310
197	-102.2362	19.6615	C	2520	0.0099	0.8271
217	-102.2921	19.6090	D	2300	0.0360	1.0892
216	-102.2945	19.6201	B	2320	0.0068	0.5178
1C	-102.2708	19.2862	D	1640	0.5729	30.6222
232	-102.3173	19.5617	B	2060	0.0184	0.4797
218	-102.2763	19.5938	B	2420	0.0161	1.0024
237	-102.2681	19.5577	C	2380	0.0244	1.5339
236	-102.2701	19.5525	B	2320	0.0004	0.3058
235H	-102.2812	19.5455	C	2220	0.0099	0.4468
233	-102.3157	19.5565	B	2060	0.0145	0.3921
285	-102.2854	19.4995	E	2480	0.0045	0.5142
252	-102.2773	19.5078	E	2320	0.0823	2.5431
251	-102.2983	19.5002	C	2440	0.0211	1.2721
240	-102.2525	19.5792	C	2440	0.0173	1.0595
239	-102.2579	19.5816	C	2460	0.0344	2.0328
2C	-102.2969	19.5097	D	2320	0.0102	4.0535
290	-102.2800	19.4843	D	2640	0.0292	0.9414
287	-102.2706	19.4936	C	2560	0.0125	0.7984
286	-102.2787	19.4974	B	2500	0.0523	2.2835

300	-102.2498	19.4424	B	2800	0.0360	1.8130
333	-102.3234	19.3609	B	2360	0.0323	5.6990
340	-102.2910	19.3105	C	2000	0.0754	2.7432
350	-102.2722	19.2288	E	1640	0.0112	2.7970
359	-102.3129	19.1725	C	1360	0.0222	1.5893
4	-102.6848	19.3518	D	620	0.0235	0.8576
3C	-102.3346	19.5016	B	2160	0.0308	6.2123
368	-102.2957	19.1423	B	780	0.0190	0.7920
363	-102.2463	19.1891	B	900	0.0951	2.6821
63	-102.4634	19.4967	B	1540	0.0053	3.0711
5C	-102.3438	19.5176	B	2040	0.0201	5.3454
54	-102.3371	19.6812	B	2360	0.0064	1.5283
6C	-102.3047	19.5790	C	2220	0.0074	2.4660
7C	-102.3014	19.6116	D	2280	0.0050	2.5481
82	-102.5073	19.2699	B	780	0.0107	1.8792
ASTILLEROS	-102.3829	19.3097	C	1940	0.0212	5.3453
ACUMBARO	-102.3394	19.2274	B	1680	0.0016	0.6282
9C	-102.3148	19.6553	C	2260	0.0078	2.7061
8C	-102.5371	19.5722	C	1180	4.9716	9.0125
86	-102.4684	19.2827	D	1340	0.0014	0.6589
B CIGUANZO	-102.6508	19.3666	C	740	0.0048	1.5212
B EL TIGRE	-102.2762	19.1790	D	980	0.0116	2.6492
B GUERRERO	-102.2625	19.5603	C	2420	0.0031	1.9743
B LAS LAJAS	-102.6659	19.3541	D	620	0.0081	1.8898
C AGUA ZARCA	-102.2843	19.2182	C	1560	0.0136	4.2196
BUENAVISTA	-102.6064	19.1542	ESC	260	5.4861	7.8045
BLANCO	-102.4653	19.2342	E	1140	0.0000	0.0801
BELEN	-102.4046	19.2118	B	1340	0.0000	0.0072
B LOS COYOTES	-102.3502	19.1811	B	1400	0.0000	0.0291
C ANICUATO	-102.3770	19.1843	D	860	0.0000	0.0041
C ANSISCUARO	-102.2799	19.6715	D	2440	0.0001	0.1390
C ARAPO	-102.3366	19.3203	C	2040	0.0002	0.2209
C CASCALOTERA	-102.6343	19.4416	D	740	0.0000	0.0442
C CARRIZALILLO	-102.4955	19.4053	C	1400	0.0000	0.0086
C CALVARIO	-102.2385	19.6065	B	2320	0.0000	0.0564
C BLANCO	-102.6257	19.3878	ESC	720	3.9747	2.8927
C ASTILLEROS	-102.3829	19.309721	D	1600	0.0000	0.0744
C CHIQUIHUITILLO	-102.5929	19.4410	D	760	0.1314	3.3657
C CHINO	-102.2574	19.2242	C	1600	0.0000	0.0310
C CHARANDAS	-102.3451	19.3273	C	2040	0.0000	0.0541

C CAZUELA	-102.4783	19.2283	C	840	0.0001	0.2070
C CUMAN	-102.2865	19.6561	D	2300	0.0002	0.4599
C CONQUEMBARO	-102.3012	19.3030	C	1980	0.0000	0.0442
C COLORADO	-102.5604	19.3481	E	840	0.1761	1.2774
C CIRIAN	-102.4558	19.2454	C	920	0.0001	0.1530
C CIRAHAPAN	-102.2343	19.4753	B	2600	0.0000	0.0008
C EL CERRITO	-102.2880	19.3593	D	2440	0.0004	0.3335
C SAN MIGUEL	-102.3921	19.3245	D	1500	0.0004	0.2798
C DE AFUERA	-102.2824	19.2860	B	1940	0.0001	0.0935
C EL CHICAL	-102.3896	19.4669	E	2320	0.0001	0.2306
C EL CIRCO	-102.3300	19.0880	T	340	0.4895	2.2076
C EL COHETERO	-102.3306	19.2710	C	1860	0.0008	0.4592
C EL LEON	-102.2984	19.1802	B	1380	0.0000	0.0334
C EL LLACUARO	-102.2396	19.4262	C	2720	0.0029	1.0450
C EL PELILLO	-102.2784	19.2493	C	1860	0.0033	2.1256
C EL NOPAL	-102.4215	19.1727	C	660	0.0001	0.0928
C EL MOLCAJETE	-102.2819	19.2435	P	1780	0.0010	0.2227
C EL MALCATERO	-102.2886	19.1878	C	1300	0.0000	0.0241
C EL UVAL	-102.3311	19.2296	B	1740	0.0000	0.0627
C EL TORBELLINO	-102.5607	19.4104	D	1000	0.0002	0.2076
C EL TIZNE	-102.2517	19.4621	C	2720	0.0011	0.8721
C EL PUERTO	-102.3518	19.2658	C	1720	0.0015	0.8829
C EL PLATANO	-102.5546	19.4068	B	1140	0.0000	0.0028
C GUAYABAL	-102.5393	19.3142	B	840	0.0000	0.1612
C GRANDE	-102.4230	19.4071	ESC	980	0.0000	0.0180
C ESPINOZA	-102.4731	19.2931	C	1160	0.0000	0.1026
C HOYA LA CRUZ	-102.3883	19.2616	C	1700	0.0000	0.1483
Los Limones	-102.5431	19.5706	ESC	1200	7.2714	
c.LA VERDURA	-102.5489	19.6613	ESC	1170	3.6774	8.3948
C SANTA ROSA	-102.4433	19.6218	ESC	1700	10.6703	
C JACARATZINDAN	-102.2475	19.6599	C	2400	0.0001	0.1200
C JALPA	-102.5502	19.4918	C	820	1.4538	1.8646
C LA ALBERCA	-102.2964	19.3630	C	2380	0.0004	0.3957
C JUATOQUERI	-102.2413	19.6603	C	2360	0.0000	0.0000
C LA MINA	-102.3950	19.3634	D	1960	0.7448	0.1443
C LA GUERRA	-102.2786	19.1546	C	800	0.1611	3.7736
C LA CRUZ	-102.4025	19.4352	E	1820	0.0004	0.5380
C LA CORRQUERA	-102.2667	19.2461	D	1760	0.0000	0.0153
C LA CHIMENEA	-102.2601	19.4080	C	2720	0.0000	0.0281
C LOS REINA	-102.2808	19.2974	B	1960	0.0001	0.1056



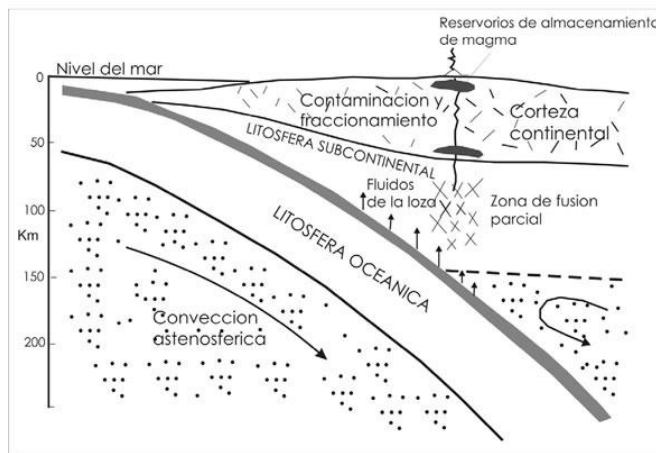
C LEMUS	-102.4357	19.2937	C	1560	0.0001	0.2111
C LA PRESA	-102.3174	19.1692	E	1240	0.0000	0.0813
C NIGUATIRO	-102.2606	19.6853	E	2340	0.0000	0.0967
C MELONCILLO	-102.6022	19.3933	C	940	0.0001	0.2111
C MEDINA	-102.4848	19.3992	E	1300	0.0000	0.0620
C LOS VALIENTES	-102.3277	19.2899	C	1940	0.0000	0.0489
C PANCINDA	-102.4009	19.3527	C	1720	0.0001	0.0564
C PANGUITIRO	-102.3732	19.3086	D	1960	0.0000	0.0089
C PAQUICHIHUATA	-102.2320	19.5730	C	2440	0.0000	0.1588
C PILON	-102.5358	19.3869	E	1120	0.0000	0.0000
C PELON	-102.4919	19.2838	B	920	0.0802	0.5605
C PEDREGAL	-102.3517	19.3188	FIS	2000	0.0033	0.0149
C PICHAMOB	-102.2531	19.5998	C	2380	0.0000	0.1043
C PAREO	-102.4579	19.3146	C	1540	0.0000	0.1783
C SAN PEDRO	-102.2820	19.4401	C	3140	0.0000	0.1120
C EL PUERTO	-102.4870	19.2119	C	700	0.0000	0.0773
C PRIETO	-102.3844	19.4481	C	2260	0.0001	0.1760
C PINZAN	-102.5530	19.3245	ESC	600	4.7613	0.0800
C TAMACUIRO	-102.3011	19.2778	C	1940	0.0001	0.2396
C TECOLOTE	-102.3984	19.3084	B	1840	0.0001	0.1079
C TEPETATE	-102.2672	19.4161	C	2920	0.0001	0.1557
C TEPOJA	-102.2988	19.6418	B	2280	0.0002	0.2370
C TEREMAL	-102.3924	19.4551	C	2000	0.0000	0.0113
C BLANCO	-102.4667	19.2314	C	940	0.2062	0.1582
C ZITZAN	-102.2474	19.5757	C	2420	0.0013	0.7377
C VALENTIN	-102.3745	19.2459	E	1580	0.0000	0.0012
CE BLANCO	-102.2962	19.1371	ESC	660	0.0000	0.0052
C CEMENTERIO	-102.3538	19.2246	B	1680	0.0000	0.0000
EL PUERTO Z	-102.6444	19.3729	C	1600	0.0000	0.0000
C OVAL	-102.3410	19.2151	D	1560	0.0490	11.1259
CLA PAJA	-102.5980	19.3717	ESC	480	3.8958	9.0500
LA ORTIGA	-102.4137	19.2043	C	1160	0.2873	0.3833
LOS AZOTES	-102.5312	19.2395	ESC	520	3.7934	9.5550
LAS JOYAS	-102.4227	19.2003	C	980	0.6289	0.3323
LA SIDRA	-102.4872	19.4060	D	1520	0.6061	0.6011
SAN ANTONIO	-102.6797	19.3744	ESC	620	12.4896	0.0000
PARICUTIN	-102.2514	19.4927	C	2540	1.2926	4.6490
MESA ZIRIMONDIRO	-102.3531	19.3633	F	2160	0.4362	
URINGUITIRO	-102.3733	19.3089	C	2129	0.3249	0.6416
TANCITARO	-102.3043	19.4262	COM	2560	57.3982	515.0749
ST CATARINA	-102.4034	19.2821	D	1680	0.0134	2.9549
SAN MARCOS	-102.3098	19.6736	D	2340	0.0036	1.2748
SAN JUAN	-102.4579	19.1451	D	300	0.0434	9.3224
ZACAN	-102.2929	19.5663	D	2240	0.0262	0.9824
ZIRIMBO	-102.3185	19.2886	D	1920	0.0178	2.7190
112	-102.4169	19.1967	C	1060	0.0036	1.0546
10C	-102.3619	19.6358	C	2140	0.0089	2.1027
C.Agua Zarca	-102.2843	19.2182	D	1760	0.0001	0.2264
C ISINGO	-102.2972	19.4915	C	2520	0.0011	0.9625
EL JACAL	-102.4050	19.2344	D	1540	0.0009	0.6848
EL GUACO	-102.6980	19.3360	D	560	0.0451	1.5504
C EL CHIVO	-102.3393	19.2185	E	1560	0.0076	2.6159
L EL TECOLOTE	-102.2864	19.6443	C	2280	0.0049	1.8373
HUANGO	-102.3451	19.1190	D	400	0.0232	6.4127
LA HIGUERITA	-102.4955	19.2960	D	1020	0.0009	0.4360
LA CANADA	-102.3583	19.2045	D	1620	0.0001	0.2196
LOS HORCONES	-102.3951	19.2184	D	1440	0.0162	4.3104
141	-102.4131	19.2849	C	1700	0.0033	1.2400
17C	-102.2808	19.2299	D	1680	0.0129	2.3501
18C	-102.2943	19.2330	C	1520	0.0601	8.3616
19C	-102.3051	19.2518	C	1580	0.1769	14.8281
20C	-102.4328	19.2060	C	700	0.1485	9.6282
22C	-102.4528	19.4416	C	1640	0.0079	2.3631
	-102.4758	19.5318		1300	0.0170	3.7789
220	-102.6921	19.3445	D	600	0.0010	0.4409
21C	-102.4172	19.2202	C	1240	0.0140	3.5250
4C	-102.3414	19.5114	C	2140	0.0068	2.4470
53	-102.3418	19.6770	D	2400	0.0050	1.6459
6C	-102.3070	19.5782	C	2220	0.0074	2.4660
74 C. LA CANTERA	-102.3445	19.6312	D	2180	0.1257	3.9953
CE EL PUERTO	-102.3584	19.2669	C	1740	0.2477	29.1807
C ENATAIZERO	-102.3499	19.6701	D	2240	0.0204	3.9884
M LA PRIMAVERA	-102.3183	19.1784	D	1300	0.0032	1.6604
LA TINAJA	-102.3945	19.4098	D	2120	0.0706	8.5810

Características principales de las estructuras volcánicas, nombre, ubicación, tipo, volumen y área.

## ANEXO 4

### Geoquímica de rocas volcánicas de arco magmático

El magma se puede definir como una mezcla de componentes químicos formadores de los silicatos en un rango variado de temperatura. Normalmente incluye sustancias en estado sólido, líquido y gaseoso debido a la temperatura del magma que es por encima de los puntos de fusión de determinados componentes del magma. Rittmann 1981 define al magma, como una masa total o parcialmente fundida de silicatos con gases disueltos, que ocurre en o debajo de la corteza cristalina de la Tierra y que es capaz de intrusionarse como tal, en fisuras y erupcionar en la superficie, separándose en lava y gases volcánicos. Por lo general, los magmas son inicialmente subsaturados en volátiles, pero con el ascenso a regiones de baja presión en la corteza y el comienzo de la cristalización, se vuelve más saturado en agua y puede entrar en ebullición. La ex solución y subsecuente expansión de los gases en los sistemas magmáticos puede causar erupciones volcánicas explosivas. En la figura 26 se muestra el proceso de generación magmática de un margen continental.



**Figura 26.** Esquema de generación magmática en un margen continental activo

Los métodos geoquímicos, sin duda alguna, permiten investigar más a fondo, y de manera más precisa una roca o un mineral. Conociendo la composición y origen de las muestras el apoyo de diagramas complementa su análisis y es posible hacer algunas interpretaciones.

Es necesario tener en cuenta la variación y concentración geoquímica. Para poder realizar ciertos análisis se debe tener en cuenta ciertos conceptos que ayudan a comprenderlos, uno de ellos son los elementos mayores: son aquellos que se representan en altas concentraciones y controlan en gran medida la cristalización de los minerales petrogenéticos en las rocas a partir de fundidos, ejemplo de algunos de ellos son  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . Su concentración es mayor al 1 % (Poldevaart 1955; Ronnov y Yaroshevsky 1976). En cambio, los elementos menores se presentan en concentraciones entre 0.1 - 1.0 % si llegan a estar en concentraciones suficientemente altas pueden llegar a formar minerales. Los elementos traza, tienen concentraciones menores a los 1000 ppm y no son formadores de minerales mayores; llegan a sustituir a los elementos mayores y menores en las estructuras minerales. La concentración y distribución de los elementos traza se utiliza principalmente para estudiar la evolución de los magmas origen y discriminar procesos magmáticos.

Los elementos mayores controlan las fases minerales presentes a ciertas condiciones de cristalización del magma. Para facilitar la interpretación de los datos geoquímicos se llegan a usar diferentes tipos de diagramas tales como:

Diagramas binarios (X-Y).

Tiene dos componentes principales: a) Valor absoluto de los componentes químicos, b) Relaciones de componentes químicos. Lo que hace interesante del uso de diagramas es que se compara la composición de diferentes rocas.

Diagramas de variación (tendencia óxidos)

Diagramas binarios que sirven para conocer ciertos factores importantes del origen de la roca, tal es el caso de las tendencias que presentan con relación a un óxido en este caso, el proceso de cristalización fraccionada que ha tenido, si hubo mezcla del magma o si es más primitivo, de tal manera se presenta una variación en el sistema que se esté analizando. Por lo general se usan diagramas como tipo Harker por ejemplo aquel que se utiliza para conocer el Total Álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) vs. Sílice ( $\text{SiO}_2$ ), o bien el índice de saturación de Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Norma C.I.P.W.

Se le da el nombre por Cross, Iddings, Pirsson and Washington. La norma localiza los Minerales más predecibles. El cálculo de la norma es una manera de determinar la mineralogía teórica de una roca ígnea a partir de su análisis químico.

¿Qué es una Norma y por qué es necesaria?

La norma CIPW expresa la composición química de una roca ígnea, generalmente afánítica, en una roca con composición química teórica. Esto frecuentemente revela similitudes en rocas que tienen distintas modas (asociación mineral observada). Algunos de los factores que causan las variaciones son:

Desequilibrio (por ejemplo, minerales zonados o de reacción aislados en el interior de granos), temperatura, presión, alteración o contenido de agua.

#### *4. Series magmáticas*

Las series magmáticas nos ayudan a diferenciar entre familias de rocas que pueden seguir un mismo patrón de evolución pero se diferencian químicamente o mineralógicamente, de esta manera es posible conocer su génesis y comprender las condiciones de temperatura/presión y los ambientes tectónicos en los que se formó la roca. Ayuda a establecer límites de provincias petrográficas y establecer relaciones magmáticas, entre otros.

La clasificación de las rocas en series magmáticas ha sido facilitada por diversos autores, siendo las principales y más importantes series: la Toleítica, Calci-alcalina y Alcalina. Por tanto, una serie magmática es un conjunto de relaciones espacio-temporales, en los que las rocas comparten su carácter químico y mineralógico

Según la literatura, los basaltos de alta temperatura son los magmas parentales de los cuales derivan los demás magmas evolucionados, por medio de la cristalización fraccionada (proceso primordial o más importante) y también por mezclas de magmas y asimilación, se sabe que los magmas calci-alcalinos se encuentran restringidos a zonas de subducción de placas tectónicas. Mientras que los magmas toleíticos son característicos de las zonas de bordes divergentes de placas (con rocas alcalinas subordinadas, presentes de estadios iniciales de rift continental).

En la serie Toleítica, aumenta el Fe en los miembros intermedios de la diferenciación, no aumentando el SiO<sub>2</sub>. Predominan los basaltos, y rocas sobresaturadas en SiO<sub>2</sub>. Sus miembros son: Basalto picrítico (oceanita) – Toleíta de olivino – Toleíta de cuarzo – Andesita basáltica (islandita) – Dacita – Riolita. La serie calco-alcalina, aumenta en SiO<sub>2</sub> con la diferenciación, con cristalización temprana de los óxidos de Fe y Ti. Sus miembros son: Basaltos

ricos en alúmina – Andesitas – Dacitas – Riolitas. La serie alcalina, aumenta en  $\text{SiO}_2$  con la diferenciación, existe un enriquecimiento variable en Fe en sus miembros intermedios, se puede distinguir dos subseries: moderadamente alcalina y fuertemente alcalina. Sus miembros son: Basalto olivino/alcalino – Traquibasaltos – Traquiandesitas – Traquitas – Fonolita. Información referida en Toselli, J.A. (2009).

**ANEXOS 5. Tabla de resultados geoquímicos de elementos mayores y traza realizados por (Ownby 2011) (Corona Chávez P. y Morales Gámez M. 2014) por método de Fluorescencia de Rayos X.**

Datos Ownby et al.,2011														
SAMPLE	X	Y	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	TOTAL
APA-10-escudo	-102.40200	19.12500	52.70	0.77	16.70	7.47	0.13	9.63	8.63	3.33	0.53	0.14	0.11	99.40
APA-2-escudo	-102.48417	19.16033	56.20	0.93	17.40	6.73	0.12	5.70	7.56	3.77	1.28	0.26	0.31	100.30
APA-6-cono	-102.34717	19.11383	56.00	0.88	17.60	6.69	0.11	6.35	7.28	3.84	1.07	0.23	0.83	100.10
APA-7-fisural	-102.57867	19.20517	61.50	0.68	17.20	4.92	0.09	3.34	6.11	4.36	1.55	0.25	0.05	100.00
APA-8-escudo	-102.32717	19.13983	56.70	0.93	16.90	6.68	0.12	6.12	7.45	3.61	1.24	0.22	0.36	99.10
APA-9-escudo	-102.52700	19.21000	58.60	1.06	16.80	6.36	0.11	4.57	6.60	3.64	1.90	0.40	0.69	99.20
Ni-12-fisural	-102.30050	19.21067	54.80	1.00	18.20	7.46	0.13	5.64	8.13	3.49	0.96	0.23	1.04	100.00
Ni-14-fisural	-102.31517	19.19850	58.20	0.96	17.40	6.21	0.11	4.73	6.52	4.05	1.45	0.31	-0.09	100.10
Ni-16-fisural	-102.32150	19.14683	56.60	0.80	17.70	6.77	0.12	5.90	7.23	3.74	0.96	0.24	-0.04	99.30
Ni-29-fisural	-102.23667	19.16600	55.30	1.02	15.80	6.78	0.11	5.34	7.80	4.88	2.28	0.66	0.31	99.00
TAN-10-escudo	-102.53850	19.31567	58.40	1.05	17.40	6.49	0.11	3.81	6.53	4.14	1.67	0.38	-0.04	98.80
TAN-11-cono	-102.36067	19.25733	51.60	1.57	17.10	9.02	0.15	6.76	8.01	4.20	1.04	0.51	-0.06	99.90
TAN-13-cono	-102.38567	19.26567	61.30	0.68	18.30	5.06	0.09	2.41	5.78	4.60	1.56	0.22	0.01	99.90
TAN-15-fisural	-102.38383	19.28233	58.80	0.77	18.40	5.25	0.11	3.77	7.23	4.20	1.26	0.20	0.05	98.60
TAN-2-ConoGr	-102.38600	19.39517	60.10	0.75	18.40	5.02	0.08	3.67	6.77	3.75	1.21	0.21	0.65	100.40
TAN-20-fisural	-102.36583	19.36717	60.40	0.71	18.50	4.94	0.08	3.22	6.55	4.02	1.37	0.21	0.47	100.00
TAN-23-cono	-102.38833	19.47167	54.50	1.05	18.20	7.36	0.13	5.03	8.82	3.73	0.98	0.23	0.06	99.50
TAN-26-escudo	-102.44467	19.42700	58.40	0.90	17.20	6.02	0.10	4.29	6.63	4.02	2.04	0.38	0.35	98.70
TAN-28-escudo	-102.41200	19.39383	60.70	0.78	17.50	5.49	0.10	3.68	5.83	3.87	1.79	0.25	0.68	100.10
TAN-3-cono	-102.44267	19.49300	54.40	0.99	17.20	6.70	0.13	7.62	8.11	3.76	0.84	0.21	0.31	99.30
TAN-31-ConoGr	-102.48033	19.41483	61.60	0.57	18.30	4.68	0.08	3.01	6.05	4.13	1.41	0.14	0.40	100.00
TAN-32-ConoGr	-102.47700	19.45100	60.70	0.63	18.90	4.82	0.09	2.67	5.76	4.62	1.64	0.21	1.10	98.90
TAN-34-escudo	-102.55583	19.46867	60.10	0.91	16.70	5.27	0.09	3.84	6.64	3.80	2.32	0.31	0.45	99.30
TAN-35-fisural	-102.55683	19.46767	66.10	0.52	17.30	4.04	0.06	0.88	4.64	4.40	1.86	0.18	2.09	99.10
TAN-36	-102.58800	19.44317	56.51	1.29	14.71	7.02	0.10	5.50	8.25	3.69	2.42	0.50	1.59	99.11
TAN-39-escudo	-102.64533	19.37700	57.90	1.38	17.10	7.23	0.12	3.61	6.15	4.23	1.84	0.47	-0.22	100.00
TAN-40-cono	-102.64217	19.36900	58.10	0.80	18.40	6.07	0.10	3.76	7.47	3.92	1.21	0.20	0.10	100.10
TAN-41B-cono	-102.64933	19.36433	58.00	0.80	18.30	6.07	0.10	3.78	7.59	3.85	1.25	0.20	0.37	100.00
TAN-43-escudo	-102.57683	19.26267	58.70	0.93	17.10	6.20	0.10	4.33	6.77	4.05	1.56	0.30	0.32	100.00
TAN-44-Riolit	-102.63167	19.43700	70.20	0.57	13.86	4.83	0.11	0.82	0.81	4.87	3.76	0.16	1.67	99.30
TAN-5-ConoGr	-102.47750	19.41633	61.40	0.60	18.80	4.88	0.08	3.10	5.87	3.57	1.50	0.14	2.01	100.40
TAN-7-fisural	-102.49233	19.37183	58.40	0.93	18.00	5.84	0.11	4.50	6.65	3.92	1.41	0.24	0.40	100.30
UR-16-ConoGr	-102.24250	19.42233	61.10	0.64	18.00	5.12	0.09	2.77	6.06	4.30	1.63	0.21	0.18	99.40
UR-28-escudo	-102.24567	19.25050	58.40	0.99	17.80	6.14	0.10	3.89	6.45	4.15	1.71	0.32	0.60	100.30
UR-29-cono	-102.29317	19.30883	53.70	1.03	17.10	7.10	0.12	8.57	7.61	3.56	1.01	0.24	0.23	100.50
UR-63-ConoGr	-102.31033	19.42017	61.50	0.68	17.60	4.85	0.08	3.31	6.55	3.87	1.40	0.18	0.44	100.00
UR-65-ConoGr	-102.31150	19.41833	60.50	0.70	17.70	5.13	0.09	3.45	6.90	3.92	1.39	0.18	-0.03	99.30
UR-68-ConoGr	-102.31067	19.41800	61.00	0.69	17.60	4.99	0.08	3.45	6.68	3.89	1.50	0.18	0.25	98.90
UR-72-ConoGr	-102.29983	19.42617	62.10	0.67	17.60	4.67	0.08	3.24	6.32	3.72	1.42	0.18	0.10	100.30
UR-76-ConoGr	-102.27967	19.35050	63.60	0.60	17.30	4.50	0.08	2.92	5.04	4.06	1.75	0.16	1.53	99.20
TC-01-Aperiban	-102.3937	19.55737	47.81	1.18	17.15	10.29	0.16	8.56	11.57	2.11	0.17	0.14	0.10	99.25
TC-02-C.lcalabaza	-102.5175	19.55275	51.96	1.01	16.00	9.06	0.15	8.70	8.20	3.68	1.03	0.30	-0.08	100.00
Datos Corona Chavez et al.,2014														
TC-03-Cjalpa	-102.55606	19.46922	54.85	1.08	16.53	8.00	0.13	6.52	8.27	3.42	1.16	0.22	0.08	100.27
TC-04-RCarrizalillo	-102.48589	19.43041	58.59	0.91	16.16	6.71	0.10	4.00	6.29	3.89	2.62	0.35	0.33	99.95
TC-07-Cpinzon	-102.53945	19.33922	56.15	0.90	17.17	7.43	0.12	5.46	6.91	4.05	1.23	0.24	0.52	100.18
TC-12-CSAntonio	-102.64609	19.36429	57.95	1.08	17.11	7.45	0.13	3.82	6.21	3.94	1.94	0.40	0.69	100.71
TC-18-CLaBatea	-102.13441	19.12938	61.93	0.67	16.54	5.60	0.10	3.19	5.69	3.93	2.20	0.22	0.59	100.65
TC-21-Autopista	-101.9519	19.17274	55.91	0.87	17.32	7.54	0.12	6.00	7.11	3.95	1.17	0.23	0.42	100.62
TC-22-Tancitaro	-102.3178	19.39247	56.60	1.04	15.21	6.78	0.11	5.75	8.01	3.62	1.74	0.32	0.82	99.99
TC-28A-CSMiguel	-102.45742	19.44240	62.45	0.64	17.38	5.51	0.10	2.57	4.83	4.53	1.94	0.19	0.52	100.66
TC-35B-CSJuan-Dique	-102.46422	19.14078	51.01	1.25	17.24	9.65	0.15	7.50	8.36	3.84	0.78	0.26	-0.05	100.00

**Tabla 5.** Compilación de elementos mayores de las muestras realizadas en el Bajo Balsas y que se encuentran dentro del área de estudio.

Datos Ownby et al.,2011														
SAMPLE	X	Y	Ba	Sr	Zr	V	Cr	Co	Ni	Cu	La	Ce	Pr	Nd
APA-10-escudo	-102.40200	19.12500	339.00	479.00	61.00	169.00	406.00	64.00	208.00	49.00	8.10	16.60	2.34	10.50
APA-2-escudo	-102.48417	19.16033	432.00	526.00	118.00	145.00	141.00	55.00	100.00	38.00	16.90	33.80	3.44	15.50
APA-6-cono	-102.34717	19.11383	362.00	545.00	110.00	138.00	201.00	50.00	120.00	32.00	13.90	28.10	2.88	12.80
APA-7-fisural	-102.57867	19.20517	566.00	759.00	126.00	116.00	47.00	29.00	37.00	34.00	18.30	35.70	4.42	17.60
APA-8-escudo	-102.34717	19.13983	419.00	509.00	131.00	137.00	153.00	45.00	121.00	43.00	16.70	33.90	4.31	17.60
APA-9-escudo	-102.52700	19.21000	576.00	551.00	199.00	122.00	98.00	54.00	74.00	29.00	25.60	49.80	6.15	24.40
Ni-12-fisural	-102.30050	19.21067	387.00	539.00	106.00	169.00	129.00	35.00	76.00	54.00	21.60	30.50	4.95	20.90
Ni-14-fisural	-102.31517	19.19850	476.00	658.00	139.00	120.00	138.00	44.00	77.00	27.00	21.00	40.80	5.06	20.70
Ni-16-fisural	-102.32150	19.14683	363.00	566.00	107.00	136.00	212.00	40.00	182.00	33.00	14.50	29.30	3.85	16.30
Ni-29-fisural	-102.23667	19.16600	968.00	1546.00	148.00	152.00	100.00	24.00	110.00	50.00	52.60	94.40	10.60	40.60
TAN-10-escudo	-102.53850	19.31567	573.00	567.00	175.00	126.00	46.00	38.00	40.00	28.00	22.90	49.60	5.73	22.40
TAN-11-cono	-102.36067	19.25733	305.00	566.00	191.00	172.00	243.00	58.00	392.00	47.00	21.10	49.20	5.93	23.90
TAN-13-cono	-102.38567	19.26567	505.00	754.00	105.00	101.00	0.00	62.00	36.00	27.00	16.00	33.50	3.89	15.30
TAN-15-fisural	-102.38383	19.28233	439.00	919.00	107.00	125.00	0.00	41.00	25.00	30.00	18.10	39.50	4.85	19.70
TAN-2-ConoGr	-102.38600	19.39517	366.00	1245.00	101.00	115.00	40.00	52.00	44.00	32.00	19.20	38.50	3.49	14.60
TAN-20-fisural	-102.36583	19.36717	426.00	1055.00	118.00	112.00	39.00	45.00	101.00	14.00	18.50	39.30	4.73	18.30
TAN-23-cono	-102.38833	19.47167	300.00	479.00	114.00	193.00	84.00	56.00	42.00	69.00	13.30	30.10	3.79	16.60
TAN-26-escudo	-102.44467	19.42700	764.00	888.00	179.00	137.00	92.00	49.00	62.00	43.00	30.20	64.90	7.68	30.40
TAN-28-escudo	-102.41200	19.39383	655.00	564.00	155.00	116.00	82.00	40.00	65.00	36.00	28.80	50.40	6.85	28.00
TAN-3-cono	-102.44267	19.49300	310.00	539.00	98.00	173.00	233.00	55.00	128.00	40.00	12.10	28.60	3.53	14.60
TAN-31-ConoGr	-102.48033	19.41483	590.00	770.00	85.00	106.00	33.00	53.00	46.00	47.00	14.50	26.50	3.50	14.10
TAN-32-ConoGr	-102.47700	19.45100	603.00	944.00	104.00	115.00	40.00	37.00	30.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TAN-34-escudo	-102.55583	19.46867	888.00	1054.00	206.00	125.00	83.00	37.00	57.00	32.00	37.10	79.30	9.57	38.50
TAN-35-fisural	-102.55683	19.46767	632.00	568.00	121.00	63.00	0.00	14.00	0.00	17.00	19.60	35.60	4.00	15.50
TAN-36	-102.58800	19.44317	1032.00	1648.00	223.00	173.00	230.00	51.00	139.00	69.00	47.90	96.40	12.80	51.50
TAN-39-escudo	-102.64533	19.37700	609.00	526.00	229.00	122.00	49.00	47.00	37.00	26.00	30.60	63.90	7.40	29.90
TAN-40-cono	-102.64217	19.36900	349.00	1103.00	124.00	156.00	0.00	62.00	0.00	39.00	16.90	38.30	4.58	18.60
TAN-41B-cono	-102.64933	19.36433	348.00	1116.00	127.00	158.00	0.00	71.00	0.00	23.00	17.70	39.80	4.72	19.10
TAN-43-escudo	-102.57683	19.26267	600.00	596.00	162.00	134.00	102.00	44.00	69.00	50.00	21.90	45.50	5.25	21.60
TAN-44-Riolit	-102.63167	19.43700	1315.00	121.00	178.00	63.00	0.00	18.00	0.00	10.00	29.80	45.50	6.90	30.40
TAN-5-ConoGr	-102.47750	19.41633	561.00	640.00	107.00	116.00	0.00	43.00	26.00	35.00	15.30	32.30	3.70	14.00
TAN-7-fisural	-102.49233	19.37183	483.00	586.00	114.00	131.00	102.00	39.00	55.00	24.00	19.40	36.20	3.33	14.80
UR-16-ConoGr	-102.24250	19.42233	534.00	633.00	127.00	110.00	0.00	21.00	0.00	38.00	17.70	37.20	4.35	17.70
UR-28-escudo	-102.24567	19.25050	544.00	966.00	132.00	126.00	77.00	43.00	68.00	30.00	26.70	48.30	4.66	19.70
UR-29-cono	-102.29317	19.30883	319.00	556.00	100.00	158.00	323.00	62.00	219.00	33.00	15.30	31.60	2.90	13.40
UR-63-ConoGr	-102.31033	19.42017	424.00	944.00	103.00	114.00	31.00	31.00	46.00	28.00	16.30	34.10	4.17	16.60
UR-65-ConoGr	-102.31150	19.41833	426.00	876.00	103.00	127.00	28.00	30.00	47.00	47.00	16.40	34.10	4.17	16.50
UR-68-ConoGr	-102.31067	19.41800	439.00	863.00	109.00	122.00	28.00	47.00	48.00	70.00	17.00	35.30	4.28	17.40
UR-72-ConoGr	-102.29983	19.42617	458.00	966.00	100.00	111.00	24.00	35.00	43.00	14.00	16.50	34.00	4.11	17.10
UR-76-ConoGr	-102.27967	19.35050	584.00	519.00	127.00	84.00	45.00	25.00	34.00	32.00	18.20	35.80	4.26	16.30
TC-01-Aperiban	-102.3937	19.55737	392.53	617.71	109.87	184.07	313.41	39.36	259.09	45.96	18.09	37.67	4.98	20.32
TC-02-C.Lcalabaza	-102.5175	19.55275	335.05	653.48	132.89	168.62	131.88	29.59	86.23	48.00	15.50	32.82	4.33	17.63
<b>Datos Corona Chavez et al.,2014</b>														
TC-03-Cjalpa	-102.55606	19.46922	886.37	1054.48	235.35	128.33	116.01	20.03	62.43	41.13	34.39	71.93	9.87	38.77
TC-04-RCarrizalillo	-102.48589	19.43041	416.91	600.93	119.39	149.61	192.61	25.34	84.01	43.90	16.93	31.09	4.66	19.18
TC-07-Cpinzon	-102.53945	19.33922	585.10	558.21	198.68	123.81	60.45	20.74	42.02	32.54	25.76	50.58	6.51	25.60
TC-12-CSAntonio	-102.64609	19.36429	662.81	502.11	165.44	102.90	46.51	14.67	56.30	20.91	21.70	42.13	5.22	19.94
TC-18-CLaBatea	-102.13441	19.12938	367.93	592.97	110.65	153.70	177.70	26.00	114.76	41.10	12.23	26.39	3.57	15.11
TC-21-Autopista	-101.9519	19.17274	645.68	1512.40	163.99	155.92	254.24	27.87	131.97	35.11	34.35	66.43	9.53	36.98
TC-22-Tancitaro	-102.3178	19.39247	632.86	498.66	156.05	93.09	31.38	13.55	13.57	28.26	16.43	33.02	4.09	15.67
TC-28A-CSMiguel	-102.45742	19.44240	240.51	580.70	117.78	196.77	218.52	36.74	258.81	49.68	13.09	28.37	3.81	16.06
TC-35B-CSJuan-Dique	-102.46422	19.14078	306.13	468.05	123.13	181.26	203.11	34.98	221.64	55.54	14.60	31.14	4.03	16.55





Datos Ownby et al., 2011.										
SAMPLE	X	Y	Hf	Ta	W	Ti	Pb	Th	U	Zn
APA-10-escudo	-102.4020	19.1250	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-2-escudo	-102.4842	19.1603	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-6-cono	-102.3472	19.1138	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-7-fisural	-102.5787	19.2052	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-8-escudo	-102.3472	19.1398	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-9-escudo	-102.5270	19.2100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni-12-fisural	-102.3005	19.2107	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni-14-fisural	-102.3152	19.1985	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni-16-fisural	-102.3215	19.1468	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni-29-fisural	-102.2367	19.1660	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-10-escudo	-102.5385	19.3157	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-11-cono	-102.3607	19.2573	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-13-cono	-102.3857	19.2657	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-15-fisural	-102.3838	19.2823	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-2-ConoGr	-102.3860	19.3952	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-20-fisural	-102.3658	19.3672	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-23-cono	-102.3883	19.4717	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-26-escudo	-102.4447	19.4270	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-28-escudo	-102.4120	19.3938	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-3-cono	-102.4427	19.4930	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-31-ConoGr	-102.4803	19.4148	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-32-ConoGr	-102.4770	19.4510	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-34-escudo	-102.5558	19.4687	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-35-fisural	-102.5568	19.4677	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-36	-102.5880	19.4432	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-39-escudo	-102.6453	19.3770	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-40-cono	-102.6422	19.3690	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-41B-cono	-102.6493	19.3643	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-43-escudo	-102.5768	19.2627	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-44-Riolit	-102.6317	19.4370	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-5-ConoGr	-102.4775	19.4163	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-7-fisural	-102.4923	19.3718	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-16-ConoGr	-102.2425	19.4223	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-28-escudo	-102.2457	19.2505	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-29-cono	-102.2932	19.3088	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-63-ConoGr	-102.3103	19.4202	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-65-ConoGr	-102.3115	19.4183	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-68-ConoGr	-102.3107	19.4180	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-72-ConoGr	-102.2998	19.4262	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-76-ConoGr	-102.2797	19.3505	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Datos Corona Chavez et al., 2014 .										
TC-01-Aperiban	-102.3937	19.5574	2.69	0.33	0.31	0.05	4.29	1.28	0.39	81.61
TC-02-C.Lcalabaza	-102.5175	19.5527	3.18	0.53	0.18	0.06	4.26	1.64	0.50	65.32
TC-03-Cjalpa	-102.5561	19.4692	5.59	0.48	0.89	0.18	11.02	4.34	1.28	74.89
TC-04-RCarrizalillo	-102.4859	19.4304	2.93	0.36	1.17	0.10	4.59	1.30	0.42	70.14
TC-07-Cpinzon	-102.5395	19.3392	4.44	1.08	0.30	0.11	7.15	2.15	0.70	78.74
TC-12-CSAntonio	-102.6461	19.3643	4.05	0.50	0.48	0.14	9.08	2.75	0.79	60.65
TC-18-CLaBatea	-102.1344	19.1294	2.67	0.28	0.81	0.29	5.93	0.98	0.33	74.42
TC-21-Autopista	-101.9519	19.1727	4.19	0.28	0.33	0.12	7.04	3.56	1.19	72.29
TC-22-Tancitaro	-102.3178	19.3925	3.82	0.45	0.50	0.10	6.23	2.21	0.75	58.94
TC-28A-CSMiguel	-102.4574	19.4424	2.54	0.54	0.54	0.04	2.62	0.86	0.28	71.00
TC-35B-CSJuan-Dique	-102.4642	19.1408	2.74	0.73	0.91	0.04	3.30	1.28	0.40	71.13

Datos Ownby et al., 2011.	X	Y	Ga	Rb	Y	Nb	Mo	Sn	Sb	Cs
SAMPLE										
APA-10-escudo	-102.4020	19.1250	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-2-escudo	-102.4842	19.1603	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-6-cono	-102.3472	19.1138	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-7-fisural	-102.5787	19.2052	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-8-escudo	-102.3472	19.1398	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-9-escudo	-102.5270	19.2100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
NI-12-fisural	-102.3005	19.2107	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
NI-14-fisural	-102.3152	19.1985	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
NI-16-fisural	-102.3215	19.1468	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
NI-29-fisural	-102.2367	19.1660	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-10-escudo	-102.5385	19.3157	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-11-cono	-102.3607	19.2573	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-13-cono	-102.3857	19.2657	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-15-fisural	-102.3838	19.2823	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-2-ConoGr	-102.3860	19.3952	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-20-fisural	-102.3658	19.3672	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-23-cono	-102.3883	19.4717	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-26-escudo	-102.4447	19.4270	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-28-escudo	-102.4120	19.3938	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-3-cono	-102.4427	19.4930	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-31-ConoGr	-102.4803	19.4148	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-32-ConoGr	-102.4770	19.4510	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-34-escudo	-102.5558	19.4687	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-35-fisural	-102.5568	19.4677	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-36	-102.5880	19.4432	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-39-escudo	-102.6453	19.3770	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-40-cono	-102.6422	19.3690	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-41B-cono	-102.6493	19.3643	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-43-escudo	-102.5768	19.2627	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-44-Riolit	-102.6317	19.4370	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-5-ConoGr	-102.4775	19.4163	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-7-fisural	-102.4923	19.3718	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-16-ConoGr	-102.2425	19.4223	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-28-escudo	-102.2457	19.2505	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-29-cono	-102.2932	19.3088	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-63-ConoGr	-102.3103	19.4202	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-65-ConoGr	-102.3115	19.4183	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-68-ConoGr	-102.3107	19.4180	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-72-ConoGr	-102.2998	19.4262	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-76-ConoGr	-102.2797	19.3505	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
atos Corona Chavez et al., 2014										
TC-01-Aperiban	-102.3937	19.5574	17.92	13.68	18.09	5.57	1.60	0.79	0.04	0.29
TC-02-C.Lcalabaza	-102.5175	19.5527	17.91	17.16	18.47	8.33	1.32	0.89	0.05	0.40
TC-03-Cjalpa	-102.5561	19.4692	19.71	37.55	19.00	7.36	3.66	1.30	0.06	0.86
TC-04-RCarrizalillo	-102.4859	19.4304	19.14	14.58	18.05	5.59	4.74	0.82	0.05	0.37
TC-07-Cpinzon	-102.5395	19.3392	19.28	27.61	23.33	17.43	2.31	1.21	0.07	0.49
TC-12-CSAntonio	-102.6461	19.3643	17.41	36.88	16.65	7.02	2.11	1.02	0.10	0.86
TC-18-CLaBatea	-102.1344	19.1294	18.93	12.36	16.09	4.62	3.58	0.73	0.06	0.36
TC-21-Autopista	-101.9519	19.1727	20.53	27.37	17.10	4.85	1.38	0.86	0.05	0.67
TC-22-Tancitaro	-102.3178	19.3925	18.73	26.61	14.15	6.39	1.96	0.74	0.07	0.49
TC-28A-CSMiguel	-102.4574	19.4424	17.54	9.84	19.54	9.18	2.27	0.88	0.04	0.21
TC-35B-CSJuan-Dique	-102.4642	19.1408	16.85	12.83	21.10	12.33	3.51	0.83	0.04	0.21

Datos Ownby et al., 2011.									
SAMPLE	X	Y	Li	Be	B	P	Sc	Ti	
APA-10-escudo	-102.4020	19.1250	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-2-escudo	-102.4842	19.1603	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-6-cono	-102.3472	19.1138	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-7-fisural	-102.5787	19.2052	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-8-escudo	-102.3472	19.1398	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
APA-9-escudo	-102.5270	19.2100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni-12-fisural	-102.3005	19.2107	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni-14-fisural	-102.3152	19.1985	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni-16-fisural	-102.3215	19.1468	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni-29-fisural	-102.2367	19.1660	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-10-escudo	-102.5385	19.3157	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-11-cono	-102.3607	19.2573	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-13-cono	-102.3857	19.2657	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-15-fisural	-102.3838	19.2823	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-2-ConoGr	-102.3860	19.3952	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-20-fisural	-102.3658	19.3672	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-23-cono	-102.3883	19.4717	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-26-escudo	-102.4447	19.4270	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-28-escudo	-102.4120	19.3938	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-3-cono	-102.4427	19.4930	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-31-ConoGr	-102.4803	19.4148	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-32-ConoGr	-102.4770	19.4510	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-34-escudo	-102.5558	19.4687	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-35-fisural	-102.5568	19.4677	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-36	-102.5880	19.4432	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-39-escudo	-102.6453	19.3770	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-40-cono	-102.6422	19.3690	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-41B-cono	-102.6493	19.3643	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-43-escudo	-102.5768	19.2627	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-44-RioIt	-102.6317	19.4370	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-5-ConoGr	-102.4775	19.4163	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TAN-7-fisural	-102.4923	19.3718	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-16-ConoGr	-102.2425	19.4223	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-28-escudo	-102.2457	19.2505	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-29-cono	-102.2932	19.3088	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-63-ConoGr	-102.3103	19.4202	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-65-ConoGr	-102.3115	19.4183	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-68-ConoGr	-102.3107	19.4180	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-72-ConoGr	-102.2998	19.4262	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
UR-76-ConoGr	-102.2797	19.3505	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
atos Corona Chavez et al., 2014 .									
TC-01-Aperiban	-102.3937	19.5574	9.63	1.13	5.02	0.30	23.28	0.96	
TC-02-C.Lcalabaza	-102.5175	19.5527	8.81	1.08	6.40	0.22	23.96	1.03	
TC-03-Cjalpa	-102.5561	19.4692	13.65	1.94	10.41	0.36	15.69	0.90	
TC-04-RCarrizalillo	-102.4859	19.4304	10.88	1.16	6.50	0.23	17.91	0.85	
TC-07-Cpinzon	-102.5395	19.3392	8.10	1.68	10.25	0.40	14.63	1.04	
TC-12-CSAntonio	-102.6461	19.3643	17.30	1.31	13.62	0.20	12.53	0.61	
TC-18-CLaBatea	-102.1344	19.1294	10.31	1.10	8.90	0.23	17.85	0.86	
TC-21-Autopista	-101.9519	19.1727	8.95	1.44	5.01	0.33	17.33	1.03	
TC-22-Tancitaro	-102.3178	19.3925	19.43	1.46	8.34	0.19	12.23	0.59	
TC-28A-CSMiguel	-102.4574	19.4424	8.01	1.13	5.00	0.27	23.27	1.23	
TC-35B-CSJuan-Dique	-102.4642	19.1408	8.72	1.07	5.61	0.28	31.07	1.06	

**Tabla 6.** Compilacion de elementos en traza de la zona de estudio realizadas por Ownby et al., 2011 y Corona Chávez et al., 2014, n.d. = no determinado en la muestra.

## REFERENCIAS

**CÓRDOBA-MONTIEL, F., IGLESIAS-MENDOZA, A., KRISHNA-SINGH, S., SPICA-ZACK, L., (2014).** Tomografía de Velocidad de Grupo de Ondas de Rayleigh para el Oriente de México y el Istmo de Tehuantepec. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 66, núm. 3, pp. 441-457.

**CORONA-CHÁVEZ, P., REYES-SALAS, M., GARDUÑOMONROY, V., ISRADE-ALCÁNTARA, I., LOZANO-SANTA**

**CRUZ, R., MORTON-BERMEA, O., Y HERNÁNDEZ-ÁLVAREZ E., (2006).** Asimilación de xenolitos graníticos en el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato: el caso de Arócutin Michoacán, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Volumen.23, núm. 2, pp 233245.

**FERRARI, L., ROSAS-ELGUERA, J., OROZCO-ESQUIVEL, T., CARRASCO-NUÑEZ, G., NORATO-CORTEZ, T., (2005).** Geologic Cartography of the Trans-Mexican Volcanic Belt and Adjoining Areas. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en [http://digitalgeosciences.unam.mx/maps/TMVB\\_MXD/viewer.htm](http://digitalgeosciences.unam.mx/maps/TMVB_MXD/viewer.htm)

**FERRARI, L., (2000).** Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen 53, pp. 84–92.

**FERRARI, L., OROZCO-ESQUIVEL, T., MANEA, V. AND MANEA, M., (2011).** The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. Tectonophysics, Volumen 52 pp.122-149.

**GÓMEZ-TUENA, A., OROZCO-ESQUIVEL, M, T., FERRARI, L., (2005).** Patogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Boletín de la sociedad Geológica Mexicana . Volumen conmemorativo del centenario, Tomo LVII, Núm. 3, pág. 227-238.

**HASENAKA, T. AND CARMICHAEL, I., (1984).** The Cinder Cones of Michoacán-Guanajuato, Central Mexico: their age, volume and distribution, and magma discharge rate. Journal of Volcanology and Geothermal Research, pp. 105-124.

**HASENAKA, T. AND CARMICHAEL, I., (1985).** A compilation of location, size, and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacán-Guanajuato Volcanic field, Central México. Geo. Inf. vol. 244, pp. 577-607.

**HASENAKA, T. AND CARMICHAEL, I., (1987).** The Cinder Cones of Michoacán-Guanajuato, Central Mexico: Petrology and Chemistry. Journal of Petrology, Vol 28, número 2, pp.241-269.

**HASENAKA, T. AND CARMICHAEL, I., (1994).** Size, distribution, and magma output rate for shield volcanoes of the Michoacán-Guanajuato volcanic field, Central Mexico. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 63(número 1-2), pp.13-31.

**MARTÍNEZ LÓPEZ MARÍA DEL ROSARIO., (2011).** Estudio sísmico de la estructura cortical en el bloque de Jalisco a partir de registros locales del proyecto MARS. Pág. 5-13 Disponible en [http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/posgrado/tesis/maestria/martinez\\_1\\_mar.pdf](http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/posgrado/tesis/maestria/martinez_1_mar.pdf)

**MORELLI, S., MONROY, V., GIGLI, G., FALORNI, G., ROCHA, E. AND CASAGLI N., (2010).** The Tancítaro Debris Avalanche: Characterization, propagation and modeling. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol 193, número 1-2, pp. 93-105.

**OWNBY S., LANGE, R., HALL, C. AND DELGADO-GRANADOS, H., (2007).** Volcán Tancítaro, Michoacán, Mexico, 40Ar/39Ar constraints on its history of sector, pp. 1-14.

**OWNBY, S., LANGE, R., HALL, C. AND DELGADO-GRANADOS, H. (2010).** Origin of andesite in the deep crust and eruption rates in the Tancítaro-Nueva Italia region of the central Mexican arc. Geological Society of America Bulletin, Volumen 123, número 1-2, pp. 274-294.

**RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, A. Y FERNÁNDEZ TURIE, J. L., (2015).** Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, las geoformas volcánicas y su modelado morfométricos con Sistemas de Información Geográfica (SIG) pág. 40-48. Disponible en <http://www.raco.cat/index.php/ECT/article/viewFile/298958/388232>.

**ROSAS-ELGUERA, J, ALVA-VALDIVIA, L, M., URRUTIAFUCUGAUCHI, J., ORTEGA-RIVERA M, A., SALINAS-PRIETO, J, C., W.-LEE, J, K., (2004)** Counterclockwise rotation of the Michoacan Block: Implications for the tectonics of western Mexico. pp 233.

**TARBUCK, E.J Y LUTGENS, F.G., (2005).** Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física., Octava edición., Pearson Prentice Hall., pp. 33-156.

**TOSELLI, J.A., (2009)** Elementos básicos de petrología ígnea, capítulo 9 y 10. Disponible en [http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_18/09.htm](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/09.htm)