

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
EN MINAS, METALURGIA Y  
GEOLOGÍA

**“CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y  
PETROGRÁFICA DE ROCAS  
VOLCÁNICAS DEL GRABEN DE  
ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO”**

TESIS QUE PRESENTA:

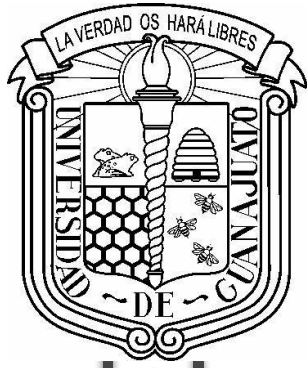
KATIA ANDREA DE LA CRUZ JASSO  
TORRES

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA GEÓLOGA

GUANAJUATO, GTO. MÉXICO  
ENERO 2019





UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
EN MINAS, METALURGIA Y  
GEOLOGIA

**“CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y  
PETROGRÁFICA DE ROCAS  
VOLCÁNICAS DEL GRABEN DE  
ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO”**

TESIS QUE PRESENTA:

KATIA ANDREA DE LA CRUZ JASSO  
TORRES

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA GEÓLOGA

DIRECTOR: DR. GERARDO DE  
JESÚS AGUIRRE DÍAZ

CODIRECTOR: M.C. JUAN JOSÉ  
MARTÍNEZ REYES

GUANAJUATO, GTO. MÉXICO  
ENERO 2019



Guanajuato, Gto., enero de 2019

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. Katia Andrea de la Cruz Jasso Torres***

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:

***"Caracterización Química y Petrográfica de Rocas Volcánicas  
Del Graben de Acambay, Estado de México"***

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

Dr. Gerardo de Jesús Aguirre Díaz  
Co-Director del Trabajo

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

Ing. Lucila Martínez Torres  
Sinodal del Trabajo

Dr. Juventino Martínez Reyes  
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

*A mis amados padres: Basilio Jasso y Rosa María Torres,  
hermanas Karen y Karla, sobrino Isaac y abuelita Felipa,  
quienes tienen toda mi gratitud, admiración y respeto.*

*“Un día despiertas y te das cuenta de que es mejor  
arrepentirse de lo que se hace, que de lo que no se intenta y de  
que ahora en adelante tu existencia en esta tierra será para  
servir, amar y ser libre”.*  
*(Katia A.C. Jasso Torres)*

*“La verdad os hará libres”*  
*(Juan 8:32)*

*“Solo con el corazón se puede ver bien; lo esencial es invisible  
para los ojos”*  
*(Antoine de Saint-Exupéry)*

## AGRADECIMIENTOS

Al dueño del tiempo y de lo que he realizado en mi vida, a mis padres Basilio Jasso Murillo y Rosa María Torres López que me han apoyado en todo lo que ha estado a su alcance, a mis hermanas Karen y Karla, a mi pequeño sobrino Isaac y a mi abuelita Felipa, hare lo posible por estar siempre para ustedes.

Agradezco infinitamente a mi director de tesis el Dr. Gerardo de Jesús Aguirre Díaz quien ha confiado en mí para poder realizar este proyecto y que no se ha medido en cuanto a sus enseñanzas profesionales, es un gran maestro y una buena persona.

Muchas gracias a la Universidad de Guanajuato (UG) mi alma máter, a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), quien contribuyo con la beca del proyecto IN104615 en el que he trabajado, bajo el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT).

Gracias al Centro de Geociencias (CGEO) Campus Juriquilla, que me ha permitido hacer uso de sus instalaciones y servicios durante mi estancia.

Gracias al Ing. Juan Tomás Ramírez Vázquez y al Sr. Óscar Aguilar Moreno, quienes me enseñaron y supervisaron durante la elaboración de mis láminas delgadas, en el Taller de laminación.

Gracias al Sr. Manuel Albarrán Murillo, encargado del Taller de Trituración y molienda.

Gracias al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología de la UNAM, en donde se llevó a cabo el análisis geoquímico por la Q. Patricia Girón García, por medio de un espectrómetro secuencial de fluorescencia de rayos X RIGAKU ZSX PrimusII, de elementos mayores y traza.

Gracias a mi Codirector el M.C. Juan José Martínez Reyes quien también fue mi profesor y tutor durante toda mi carrera.

Gracias a mis sinodales y profesores: La M.I.E. Elia Mónica Morales Zárate, a la Ing. Lucila Martínez Torres y al Dr. Juventino Martínez Reyes que tan amablemente han aceptado evaluar mi trabajo.

Muchas gracias Ing. Karina Rodríguez por enseñarme la metodología de laminación. Gracias MC. Laura Calderón por enseñarme a utilizar ArcGIS y gracias Ricardo Molina por enseñarme la metodología de trituración y molienda en la preparación de las muestras para el análisis químico. Los tres me enseñaron con mucha amabilidad y paciencia, además hicieron mi estancia más divertida, con el comienzo de su amistad.

Gracias compañeros y amigos de CGEO: Pepe, Les, Dani, Steven, Panchito, Lluvia, Gis, Mariana, Pau, Richie, Carmen, Gary, Marifer e Iván, nunca faltaron excelentes aventuras y sonrisas con ustedes.

Gracias Tía Vero, siempre será mi segunda mamá.

Gracias Andrea, fuiste muy amable con todos los trámites para poder presentar mi examen profesional.

Gracias Harry y Dorito, sé que su amistad perdurara por siempre, mantienen mi anhelo de verlos libres.

Muchas gracias a todos mis familiares, amigos y cada uno de los que de cualquier modo han contribuido para que pueda lograr este proyecto tan importante en mi vida, que me permitirá titularme como Ing. Geóloga.

## RESUMEN

El graben de Acambay, también denominado fosa de Acambay, ha sido motivo de varios estudios debido al sistema de fallas normales con rumbo Este-Oeste que lo limitan, y que han generado sismos corticales intraplaca de mediana a gran magnitud, como el de Acambay, del 19 de noviembre de 1912 con magnitud aproximada de 6.9 sobre la falla Acambay-Tixmadejé, en el Estado de México, que causó gran devastación en la región. Las fallas principales que limitan el graben son las fallas Epitacio Huerta y Acambay-Tixmadejé en el borde norte y las de Venta de Bravo y Pastores en el borde sur. Por lo anterior, los estudios en el graben de Acambay se han enfocado en las fallas, pero se tienen escasos estudios sobre la geología y en particular sobre las rocas volcánicas que se encuentran dentro y en las proximidades del graben. Esta tesis contribuye en este aspecto al proporcionar información nueva y ya publicada de los diferentes volcanes y domos del graben, documentada con la descripción textural y geoquímica de unidades litoestratigráficas representativas de esta región del Cinturón Volcánico Trans Mexicano.

El graben de Acambay contiene principalmente rocas volcánicas y depósitos fluviolacustres de relleno de fosa tectónica. Los principales volcanes en la zona central del graben son el Altamirano y el Temascalcingo. En los bordes del graben sobresalen la caldera de Amealco y el volcán Ñado en el norte, y rocas del basamento Mesozoico y el volcán San Miguel en el sur. Sin embargo, además de estos edificios volcánicos, se tienen decenas de conos de escoria, de domos, y de depósitos piroclásticos y lavas de los que no se ha determinado su conducto de salida.

La presente tesis tiene la finalidad de mostrar la caracterización química y petrográfica de rocas volcánicas seleccionadas como



representativas de la geología del graben de Acambay, para lo cual se adjuntan dos mapas a color del graben, escala 1:100 000, digitalizados en un Sistema de Información Geográfico del mapa geológico elaborado anteriormente por el director de la tesis; se presentan un mapa geológico-litoestratigráfico y un mapa geológico-cronoestratigráfico.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>ANTECEDENTES</b>	3
<b>CAPÍTULO I</b>	
UBICACIÓN	7
<b>CAPÍTULO II</b>	
GEOLOGÍA Y DIGITALIZACIÓN DEL MAPA DEL GRABEN DE ACAMBAY	9
<b>CAPÍTULO III</b>	
MUESTREO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	17
<b>CAPÍTULO IV</b>	
MÉTODO DE TRITURACIÓN PARA PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS QUÍMICO	28
<b>CAPÍTULO V. MÉTODO DE PULVERIZADO EN SHATTERBOX PARA ANÁLISIS QUÍMICOS</b>	34
<b>CAPÍTULO VI</b>	
MÉTODO DE LAMINACIÓN	39
<b>CAPÍTULO VII</b>	
FOTOMICROGRAFÍA	47

<b>RESULTADOS</b>	
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LAS MUESTRAS	49
RESULTADOS QUÍMICOS	81
COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LA PETROGRAFÍA Y LA QUÍMICA.	97
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	99
<b>ANEXOS</b>	101
<b>REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA</b>	110

## INTRODUCCIÓN

La depresión limitada por fallas normales opuestas y casi paralelas en un ambiente tectónico extensivo se denomina graben o fosa tectónica. Es decir, el sector central se mueve relativamente abajo al respecto de los flancos. En el interior de esta fosa tectónica afloran generalmente rocas más jóvenes que afuera de la fosa. El tamaño de un graben puede ser desde algunos centímetros hasta alrededor de 300 km. (*Wolfgang Griem et al., 2005, 2009*). La depresión tectónica conocida como graben de Acambay (*Urbina y Camacho., 1913*) mide aproximadamente 40 km de largo por 15 a 30 km de ancho (*Suter et al., 1992; Aguirre Diaz., 1995,1996; Ortuño et al., 2015; Lacan 2018*).

El Graben se encuentra en la zona central del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), un arco volcánico continental activo de composición mayoritariamente calco-alkalina que atraviesa México de Este a Oeste desde el Golfo de México hasta el Océano Pacífico (*Pasquaré et al., 1988; Wallace and Charmichael, 1989; Allan et al., 1991; Aguirre-Díaz et al. 1998; Ferrari et al., 1999; 2012*). El CVTM está asociado a la subducción de las placas de Cocos y Rivera bajo la placa norteamericana (*Mooser, 1972; Álvarez, 1975; Urrutia-Fucugauchi y Pal, 1977; Hanus y Vanek, 1977-1978; Nixon, 1982; Suárez y Singh, 1986; Verma, 1996; Ferrari et al., 1999*). Dicha subducción, oblicua a la trinchera mesoamericana, se inició en el Mioceno temprano-medio y ha ido migrando hacia el sur hasta la actualidad (*Urrutia-Fucugauchi y Del Castillo, 1977; Delgado-Granados et al., Pardo y Suárez, 1995; Ferrari y Rosas-Elguera, 2000*). El CVTM es el mayor arco volcánico neógeno de América del Norte, con 1 000 km de longitud, 20 a 200 km de anchura y 160 000 km<sup>2</sup> de superficie (*De la fuente y Verma, 1993*). La parte central

del CVTM se encuentra formada por una serie de depresiones tectónicas limitadas por fallas normales de dirección E-O que se extienden por más de 450 km y definen la zona de fallas Chapala-Tula (*Johnson y Harrison, 1990*). Dentro de esta zona se encuentran los grabens de Chapala, Cuitzeo, y Acambay (*Suter et al., 1991, 1995, 2000*) que (*Garduño-Monroy et al. 2009*) denominan Sistema de Fallas Pátzcuaro-Morelia-Acambay, en donde el graben de Acambay se ubica en el extremo oriental.

Otro sistema de fallas importante en el sector central del CVTM es el sistema de Taxco-San Miguel de Allende (*Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego, 1990*), con rumbo general NNW-SSE (*Johnson y Harrison, 1990*). Como su nombre lo indica, este sistema atraviesa el centro de México desde San Miguel de Allende hasta Taxco, y generalmente se interpreta como un sistema profundo que afecta la corteza a gran profundidad (*Ferrari et al., 1994; Zúñiga et al., 2003; Aguirre-Díaz et al., 2005; Garduño-Monroy et al., 2009*).

## ANTECEDENTES

El graben de Acambay se conoce más por la actividad sísmica de las fallas que lo forman; en particular, por la falla de Acambay-Tixmadejé en el límite norte, que por sus características geológicas, petrográficas y geoquímicas. Se tienen muchas publicaciones sobre la estructura y paleosismicidad de las fallas del graben (*Suter et al., 1992., Ortuño et al., 2015; Sunye-Puchol et al., 2015; Lacan 2018*), pero muy escasas sobre la geología, petrografía y geoquímica de las rocas en el graben (*Aguirre-Díaz, 1995; Aguirre-Díaz, 1996, 2001, Aguirre-Díaz y McDowell, 2000*). Los trabajos geológicos, estratigráficos, geocronológicos y geoquímicos en esta región se han desarrollado de manera sistemática desde 1983 principalmente por Gerardo J. Aguirre-Díaz desde su tesis profesional (*Aguirre-Díaz, 1983*), los cuales continuaron en los 90s (*Aguirre-Díaz, 1993, 1995; 1996; 1999; Suter et al., 1991, 1995; Aguirre-Díaz y McDowell, 2000*), y continúan hasta ahora sobre los volcanes principales en el graben, como el de Temascalcingo (*Pedrazzi et al., 2018*) o apoyando con la parte geológico-estratigráfica en los estudios estructurales sobre paleosismicidad y peligro geológico en la zona (*Landridge et al, 2013; Ortuño et al., 2015; Sunyé et al. 2015; Lacan et al., 2018; Ortuño et al., 2018*). Debido a lo anterior, este trabajo de tesis es una contribución al conocimiento geológico-geoquímico y petrográfico del graben de Acambay, aspectos que han sido poco estudiados en comparación con los abundantes trabajos tectónico- estructurales sobre fallas y paleosismicidad del graben.

El área de estudio está delimitada por la estructura misma del graben de Acambay, el cual tiene 80 km de largo y 15-30 km de ancho, siendo mucho

más ancho en su sector occidental. En la figura 1, se puede observar el Modelo de Elevación Digital (DEM) del graben de Acambay, en donde se puede observar la disminución de su anchura de W a E.

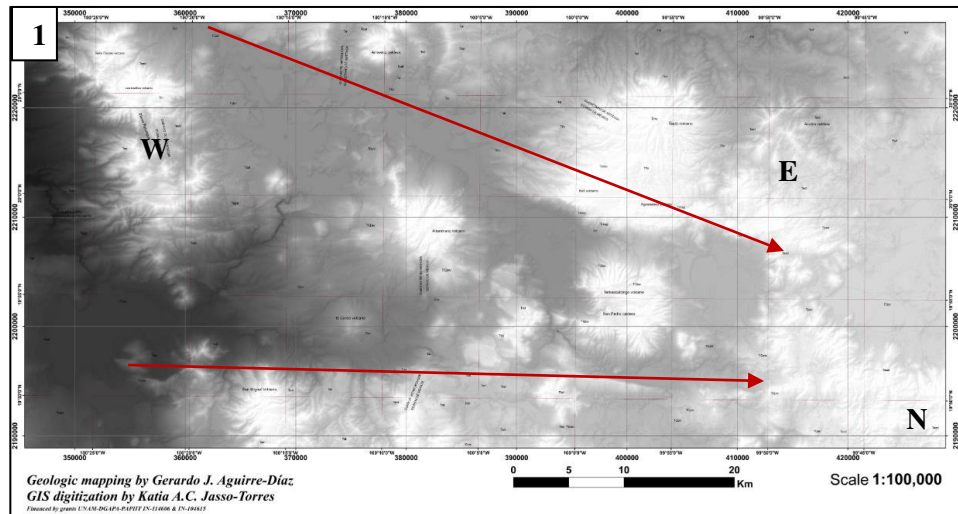


Figura 1. DEM del Graben de Acambay.

El graben está limitado por cuatro fallas normales regionales de orientación E-W, las fallas Acambay-Tixmadejé y Epitacio Huerta que forman el borde norte, y las fallas Venta de Bravo y Pastores que forman el borde sur. En el centro del graben se ubican más fallas, denominadas como Sistema Central por (Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego 1990) que atraviesan perpendicularmente el sistema de fallas en un evento anterior al graben de Acambay, o el sistema de fallas Temascalcingo-Tepuxtepec-Acámbaro según (Suter et al., 1992, 1995), que atraviesa toda la depresión de Este a Oeste afectando a volcanes y domos. Además de las geoformas estructurales marcadas por los escarpes de fallas, sobresalen las geoformas volcánicas, tales como calderas, estratovolcanes, mesetas de lava, domos y conos de escoria, las cuales se pueden apreciar en la figura 2.

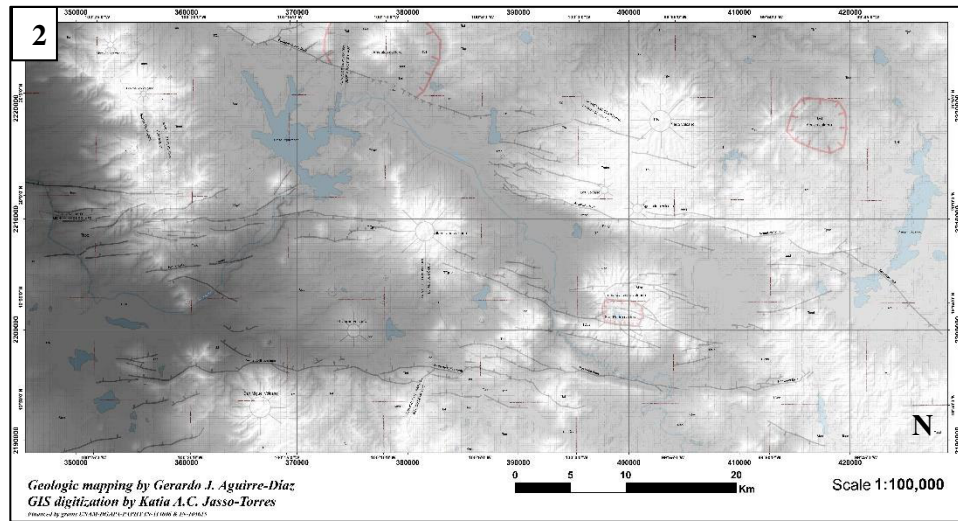


Figura 2. DEM del Graben de Acambay, con sus geoformas.

La geología del graben de Acambay incluye principalmente rocas volcánicas del Mioceno, Plioceno y Cuaternario, y depósitos fluvio-lacustres de relleno de cuenca; todas estas unidades sobreyacen un basamento plutónico y metamórfico solamente expuesto en el borde sur del graben, cerca de Tlalpujahuá (*Sánchez-Rubio, 1984; Aguirre-Díaz, 1993; 1995; 1996, 2001 Aguirre-Díaz, G.J., 2001, Aguirre-Díaz et al., 2002*).

El vulcanismo en el graben de Acambay y en sus cercanías se manifestó a través de volcanes de tamaño moderado (menos 900 m de altura respecto a su base), como los volcanes Altamirano y Temascalcingo (*Aguirre-Díaz et al 2012,2014; Roldán-Quintana et al. 2011; Aguirre-Díaz et al., 2015 Aguirre-Díaz et al., 2015; Pedrazzi et al., 2018*), la caldera de Amealco, ubicada en su borde norte pero cuyos productos atravesaron el graben aflorando en el borde sur (*Aguirre Díaz, 1995, 1996*), conos de escoria o cineríticos, y domos (*Aguirre-Díaz, 1996; Aguirre-Díaz y McDowell, 2000; Aguirre-Díaz et al., 2000*). El volcán más grande de esta región está fuera del graben, pero a sólo 10 km al SE de su borde oriental, el Jocotitlán, con 4 000 m de elevación y de edad holocénica (*Siebe et al 1992; Salinas and López-Blanco, 2010 Salinas and López-Blanco, J., 2010*), También son



comunes los depósitos lacustres Plio-Cuaternarios que rellenan las partes bajas del graben e incluso en pequeñas cuencas entre las fallas del borde sur del graben (*Aguirre-Díaz et al 2000*). En un principio se pensó que el vulcanismo en el graben de Acambay era relativamente antiguo y por lo tanto extinto (*Aguirre-Díaz, 1996*); sin embargo, fechamientos obtenidos en los últimos años han permitido demostrar que incluye también rocas volcánicas del Pleistoceno y Holoceno (*Aguirre-Díaz et al, 2012, 2014; Pedrazzi et al., 2018*), lo que coloca a esta zona como una región con alto riesgo volcánico además del riesgo sísmico ya conocida.

# CAPÍTULO I

## UBICACIÓN

El graben de Acambay se encuentra en el centro de México abarcando partes del Estado de México, de Querétaro y Michoacán, y se encuentra en el sector central del CVTM (*Suter et al., 1995, 2001; Aguirre-Díaz, 1996*).

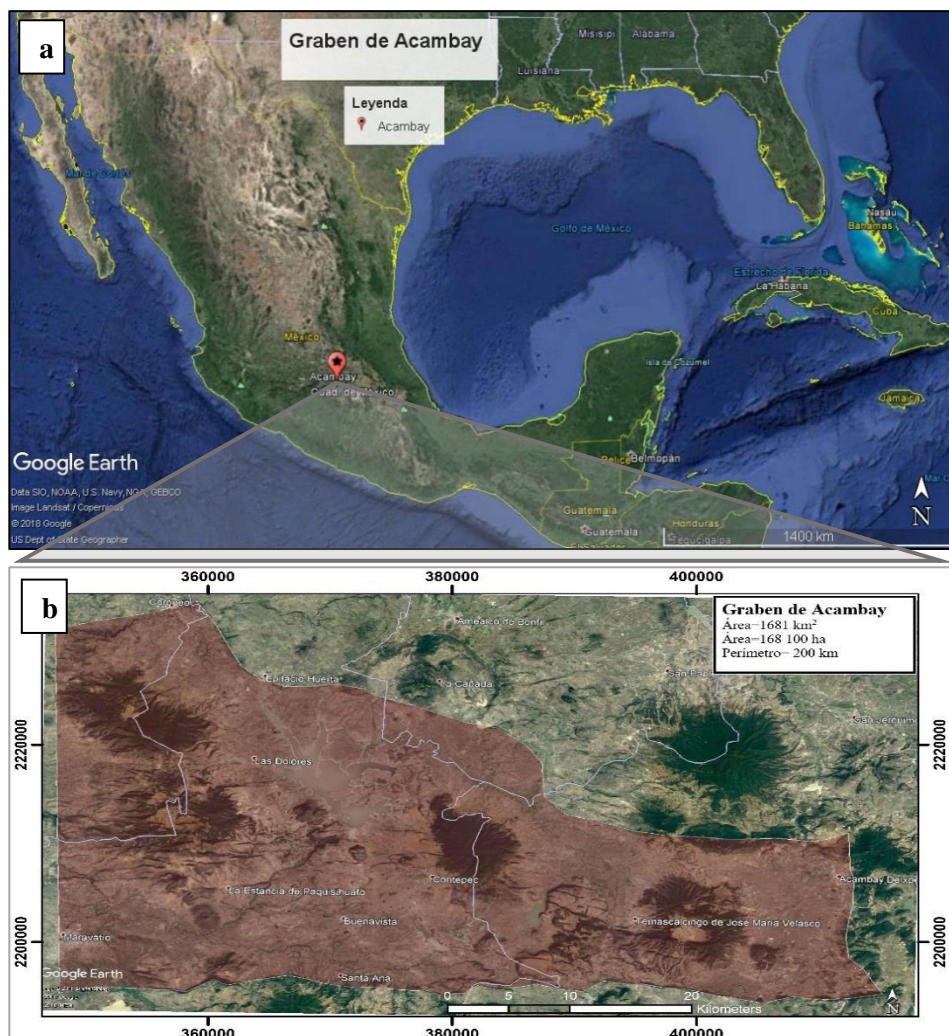


Figura 3. a) Ubicación del municipio de Acambay en la República Mexicana y b) Resalta en rojo la ubicación y el área del Graben de Acambay.

Las coordenadas UTM de los bordes oriental y occidental del graben, en Datum WGS84, zona 14Q, son 423349.20m E, 2199638.14m N, con un área aproximada de 1 681 km<sup>2</sup> y un perímetro de 200 km (figura 3).

A continuación, se muestra una sección transversal hecha en Google Earth, vista al norte y dirección NE-SW de 21 km de longitud (figura 4), la sección permite observar la morfología del graben de Acambay de sur a norte, comenzando en el sur atravesando la falla Pastores, pasa por la zona central del graben, tocando el volcán Temascalcingo y al norte termina atravesando el escarpe de la falla de Acambay. Se ha resaltado en rojo, una flecha en el kilómetro 18.9 de la sección, este se posicionó sobre el límite superior del escarpe de la falla Acambay y muestra una elevación de 2 848 m sobre el nivel del mar.

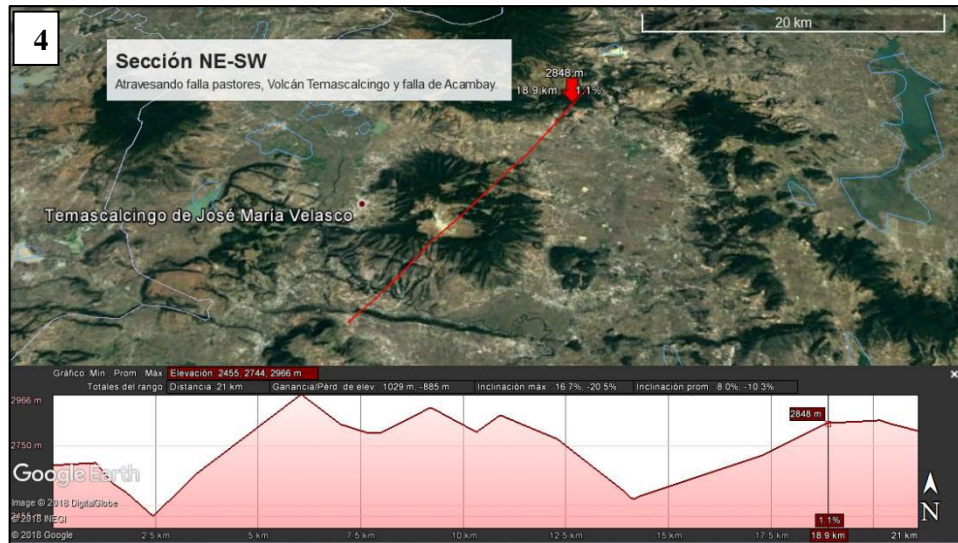


Figura 4. Sección transversal con dirección NE-SW de 21 km de longitud, que atraviesa el Graben de Acambay, tocando la falla Pastores, Volcán Temascalcingo y la falla de Acambay.

## CAPÍTULO II

### GEOLOGÍA Y DIGITALIZACIÓN DEL MAPA DEL GRABEN DE ACAMBAY

El graben de Acambay es una estructura formada por extensión intra-arco, orientada E-W, que se localiza en la porción central del Cinturón Volcánico Mexicano. Está limitado al norte por las fallas de Acambay-Tixmadejé y Epitacio Huerta y al sur por las de Pastores y Venta de Bravo (Suter et al., 1995.2001). Las fallas mencionadas son símicamente activas.

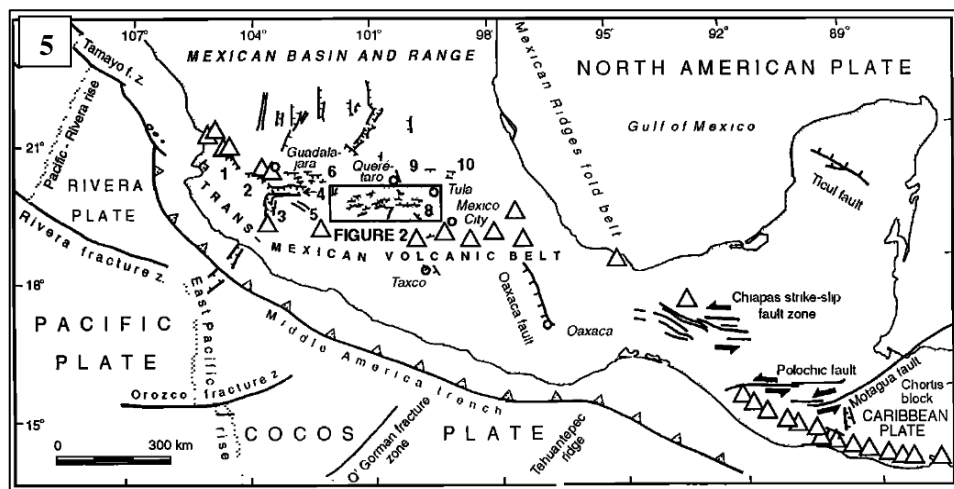


Figura 5. Mapa de contorno neotectónico del centro y sur de México y el oeste de América Central. Se muestran las principales fallas de la faja volcánica transmexicana. En donde en el recuadro interno con el número 8, se resalta el graben de Acambay (Tomado de Suter et al., 1995).

El graben de Acambay tiene una anchura de 15 km, haciéndose más amplio (18 km) hacia el oeste en el estado de Michoacán hasta una longitud de 80 km (figura 5; Suter et al., 1995; Aguirre-Díaz et al., 2000). La secuencia estratigráfica del graben fue descrita y medida en la pared sur del mismo en la región de Venta de Bravo-Tlalpujahua que se localiza a 25 km al SW del volcán de Temascalcingo (Aguirre-Díaz et al., 2000). Se midió una sección de aproximadamente 60 m, compuesta en la base por rocas metasedimentarias y diques, y cubierta por depósitos piroclásticos, a su vez cubiertos por la Toba Amealco (4.7 Ma), que está cubierta por depósitos

lacustres y lavas andesíticas-basálticas (Aguirre-Díaz, 1995, 1996). Es sugestivo observar que las ignimbritas de la caldera de Amealco se han identificado en ambas periferias del graben de Acambay por lo que sirven como horizontes índices (Aguirre-Díaz et al., 2000).

Dentro del Graben de Acambay, en su porción oriental, se han identificado dos estructuras volcánicas de dimensiones importantes: el volcán Temascalcingo y el volcán Altamirano (Aguirre-Díaz, 1996). El primero se localiza en la vecindad del poblado del mismo nombre en el sector más oriental del graben, mientras que el volcán El Altamirano, que está aproximadamente a 20 km al oeste de Temascalcingo, es de composición dacítica-andesítica y se encuentra localizado en los límites de los estados de México y Michoacán, justo al sur de la caldera de Amealco.

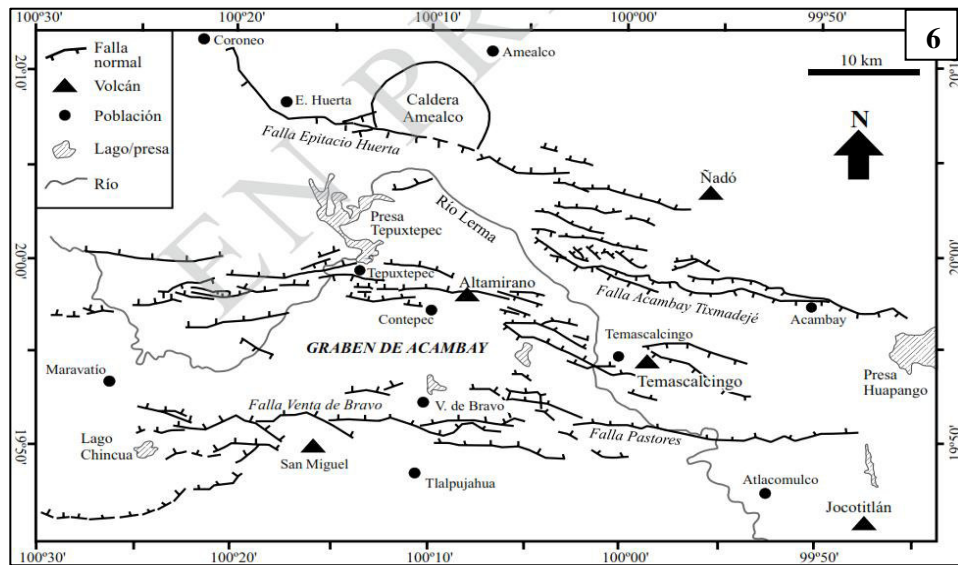


Figura 6. Mapa estructural del graben de Acambay mostrando fallas principales y localización de los volcanes de la zona, como el Altamirano, Temascalcingo, Nado y Jocotitlán, además de la caldera de Amealco (tomado de Suter et al., 1995).

La caldera de Amealco se encuentra formada por la toba Amealco, la cual es correlacionable con la formación las américas a través del graben de Acambay como se muestra en la figura 6. Lo que cabe resaltar es que ambas formaciones corresponden a una misma (Aguirre-Díaz 1995), y esta

se encuentra en los bordes periféricos de las fallas principales del graben de Acambay.

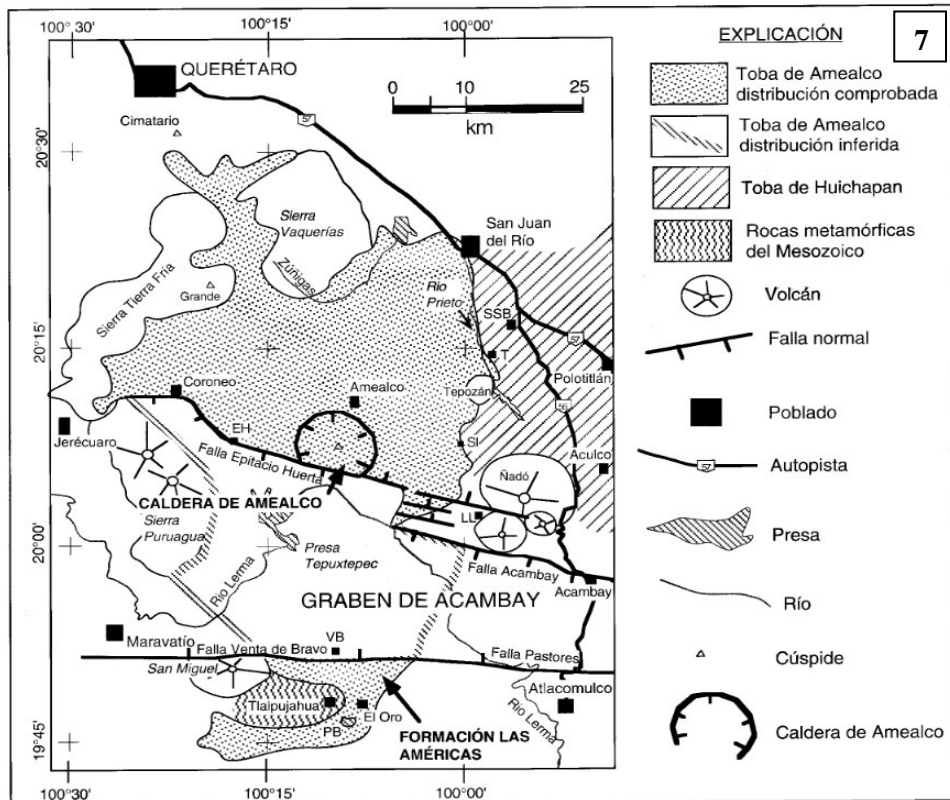
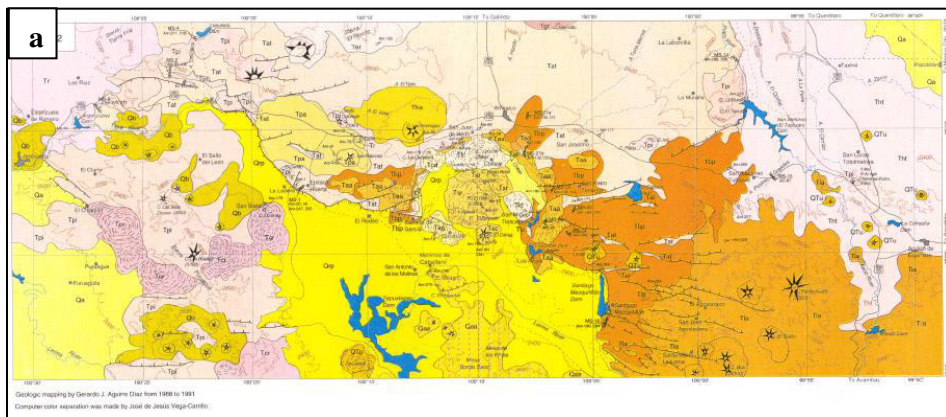


Figura 7. Mapa de distribución de la Toba Amealco. (Tomada de Aguirre-Díaz 1995).

El primer mapa geológico del graben de Acambay (Figura 8) lo realizó (Aguirre-Díaz 1996) como resultado de su tesis de doctorado (Figura 8; Aguirre-Díaz, 1993).



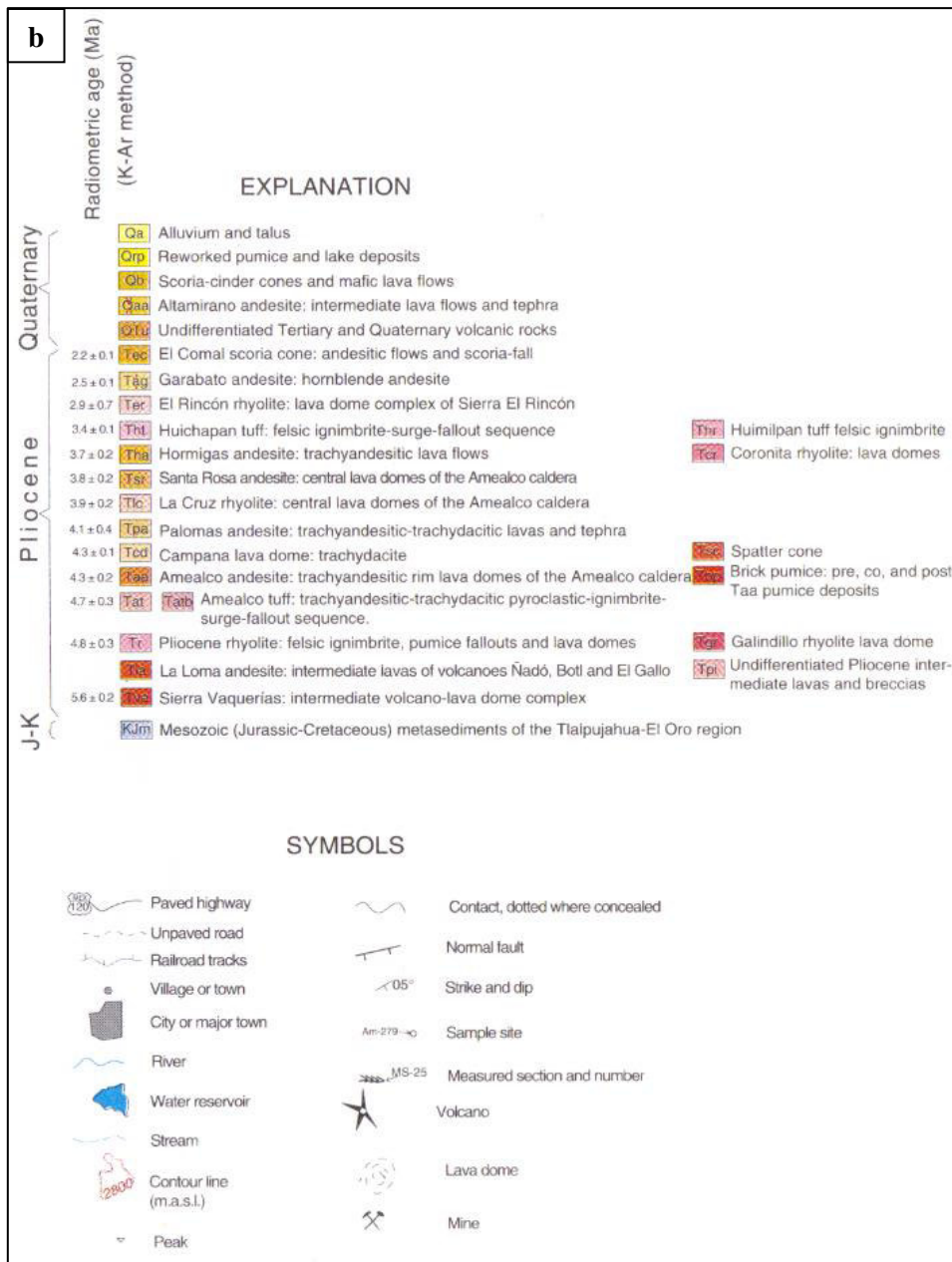


Figura 8. Primer mapa geológico del graben de Acambay realizado por Aguirre Díaz de 1988 a 1991. a) Mapa geológico del graben de Acambay. b) Leyenda del primer mapa geológico del graben de Acambay. (Tomadas de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol.13, num.1).

Durante esta tesis se realizó la versión digital del mapa geológico de Aguirre-Díaz de 1996 y subsecuentes modificaciones que él mismo ha venido realizando a través de los años, terminando con un mapa geológico actualizado escala 1:100 000 que será publicado en los próximos meses por Aguirre-Díaz. En esta tesis se muestra una versión preliminar de este mapa, aclarando que el autor del mismo es Gerardo J. Aguirre-Díaz. La autora de la presente tesis se limitó a digitalizar las unidades estratigráficas, fallas y demás componentes del mapa utilizando el Sistema de Información Geográfico ArcMap en su versión 10.3.1. El mapa ha sido titulado *Mapa Geológico del Graben de Acambay* (figura 10), el cual se presenta en dos versiones, uno como mapa de unidades litoestratigráficas (figura 10) y otro como mapa de unidades cronoestratigráficas (figura 11).



Figura 9. Área correspondiente al Mapa Geológico del Graben de Acambay, sombreada en el polígono en rojo.



De acuerdo a un cálculo hecho en Google Earth, el mapa digitalizado del graben de Acambay, cuenta con un perímetro de 249 km y un área de 3 463 km<sup>2</sup>, equivalente a 346 300 hectáreas (Figura 9). El mapa se presenta en dos sistemas de coordenadas, la Universal Transversal de Mercator (UTM) y en Coordenadas Geográficas. La escala ha sido establecida en 1:100 000.

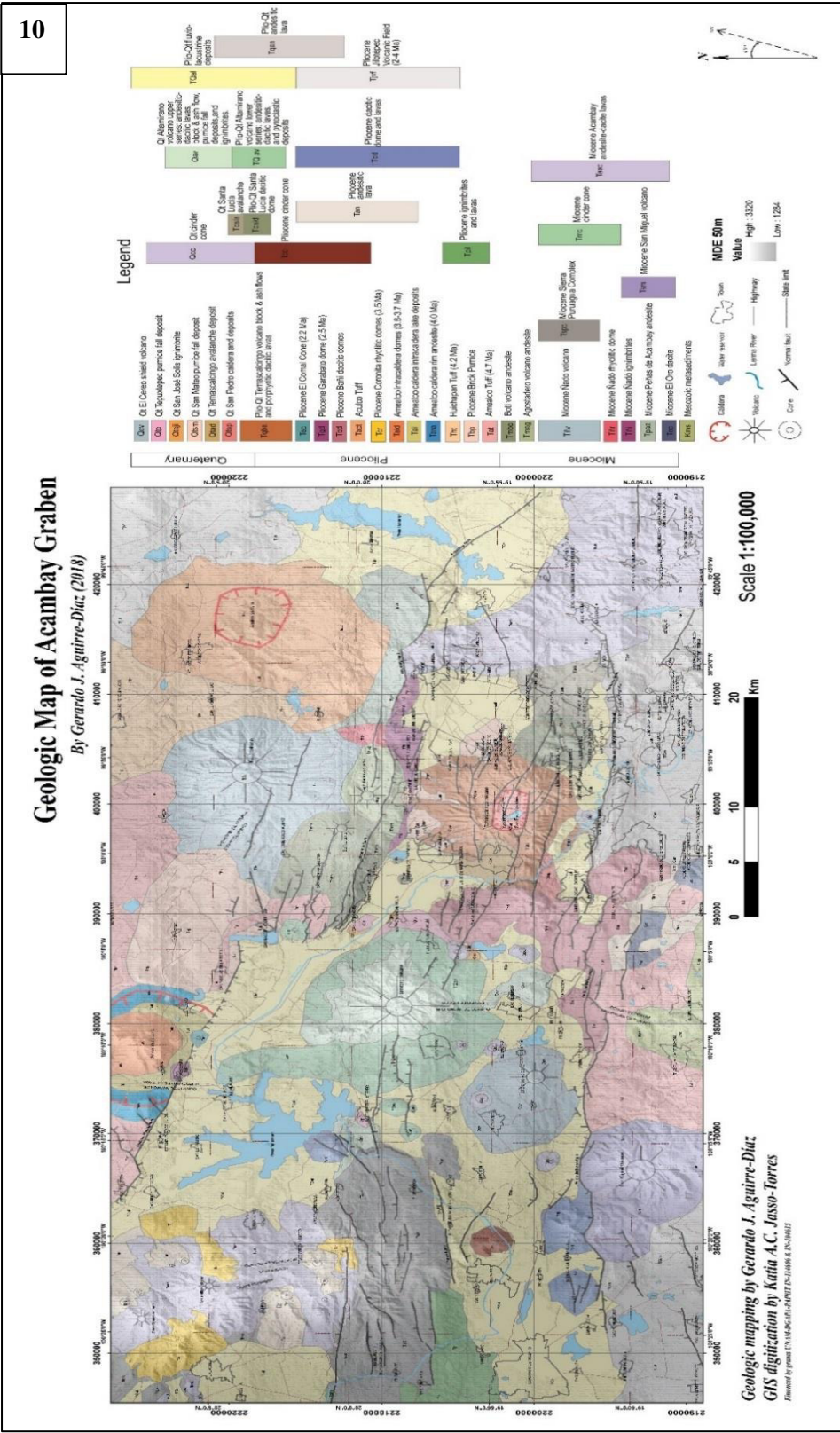


Figura 10. Mapa Geológico del Graben de Acambay.

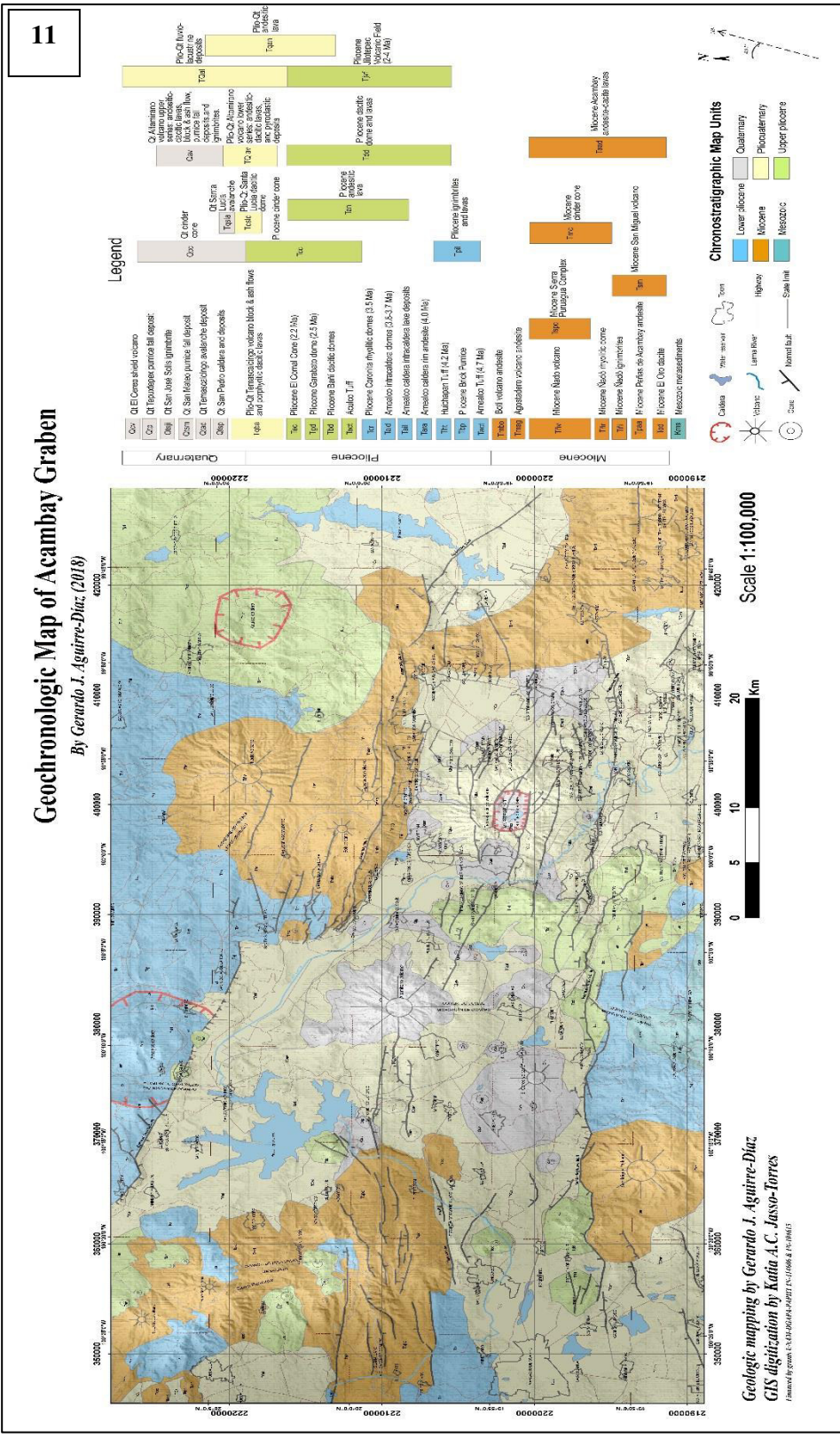


Figura 11. Mapa Geocronológico del Graben de Acambay.

### **CAPÍTULO III**

#### **MUESTREO EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

Durante la ejecución de este proyecto de tesis, se realizaron dos campañas a campo para recolección de muestras, la primera en junio 2017 y el segunda en noviembre de 2017. Las muestras colectadas se usaron para análisis petrográficos y geoquímicos, tema central de esta tesis. En la primera campaña se colectaron 15 muestras en el sector oriental del graben, las cuales se seleccionaron de acuerdo a su calidad de roca, y en la segunda campaña se colectaron 17 muestras en la zona occidental del graben.

Como trabajo previo a las salidas a campo, se hizo un inventario de las muestras existentes del graben de Acambay, así como determinar las muestras que ya fueron procesadas para análisis químico y para fechamiento. Toda esta información se compiló en una base de datos con formato de tabla Excel. De esta manera, se establecieron objetivos concretos para la recolección de muestras. Todas las muestras ahora se encuentran en la litoteca del Centro de Geociencias (CGEO) y el inventario lanzó un total de 408 muestras de roca.

Las claves correspondientes a todo el muestreo del graben de Acambay son las siguientes: GAC, TEMAS, TEMAX, ACU, ACA y VHuer.

De las muestras existentes, en la litoteca de CGEO se seleccionaron 19 muestras las cuales tienen las claves: GAC-2B, GAC-5B, GAC-6, GAC8-I, GAC8-II, GAC-38D, Temas-A, Temas-B, Temas-3, Temax-6, Temax-12, Temax-18, Temax-21B, Temax-24C, Temax-26A, Temax-28C Blanco, Temax-28C Negro, Temax-29 y Temax-33, de cada una se realizó una lámina delgada para su análisis petrográfico y una inspección de viabilidad para análisis químico (que no sea una muestra alterada o intemperizada), de las cuales se seleccionaron 10 muestras la: Temax-6, Temax-12, Temax-

18, Temax-21B, Temax-24C, Temax-26A, Temax-28C Blanco, Temax-28C Negro, Temax-29 y Temax-33 .

De la campaña de campo realizada en junio de 2017 se tomaron las 15 muestras colectadas, con las claves: Temax-35, Temax-36, Temax-37, Temax-38, Temax-39, Temax-40, Temax-41, Temax-42, Temax-43, Temax-44A, Temax-44B, Temax-45, Temax-46, Temax-47 y Temax-48, se les realizó lámina delgada y se seleccionaron 13 muestras con clave: Temax-35, Temax-36, Temax-37, Temax-38, Temax-39, Temax-40, Temax-43, Temax-44A, Temax-44B, Temax-45, Temax-46, Temax-47 y Temax-48, para su análisis químico.

Las claves de los 17 puntos de verificación correspondientes a la campaña de noviembre de 2017 son las siguientes: Acu-1x, Acu-2x, Acu-3x, Aca-1, Aca-2, NA, Aca-3, Aca-4, Aca-5, Aca-6, Aca-7, Aca-8, Aca-9, Aca-10, Aca-11, Aca-12 y Aca-13. A estas muestras no se les realizó ningún proceso.

A continuación, se muestran figuras de algunos sitios en los que se muestreo, en la figura 12 se puede observar la pared de la caldera San Pedro, que muestra bloques y cenizas del flujo piroclástico de una erupción muy violenta del volcán Temascalcingo, de aquí se tomó la muestra Temax-36.



Figura 12. Pared de la caldera San Pedro, de aquí se tomó la muestra Temax-36.

En la figura 13 se puede observar una estructura en rampa de un derrame de lava con foliación de flujo, que se emplazó sobre depósitos lacustres, que muestran exfoliación concéntrica, en esa zona se recolectaron las muestras Temax-37 y Temax-38.





Figura 13. a) Foliación concéntrica, b) Estructura en rampa y sitios en donde se recolectaron las muestras c) Temax-37 y d) Temax-38.

La figura 14 es del sitio en el cual se tomó la muestra Temax-39, la cual es un depósito de bloques y arenas compuesto de lava riodacítica, con bandeamiento de flujo y con estructura de rompecabezas que se formó por una avalancha de escombros en el flanco E del domo Santa Lucía.



Figura 14. Sitio donde se recolectó la muestra Temax-39.

En la figura 15 se pueden observar los sitios en los que se colectaron las muestras Temax-40 y Temax-41, la primera corresponde a lavas riolíticas, que se presentan muy oxidadas y con alto grado de silicificación, en la población de Venta del aire. La segunda, corresponde a una dacita bandeada que fue muy difícil de romper, esta se tomó de la localidad de mesa del aire.

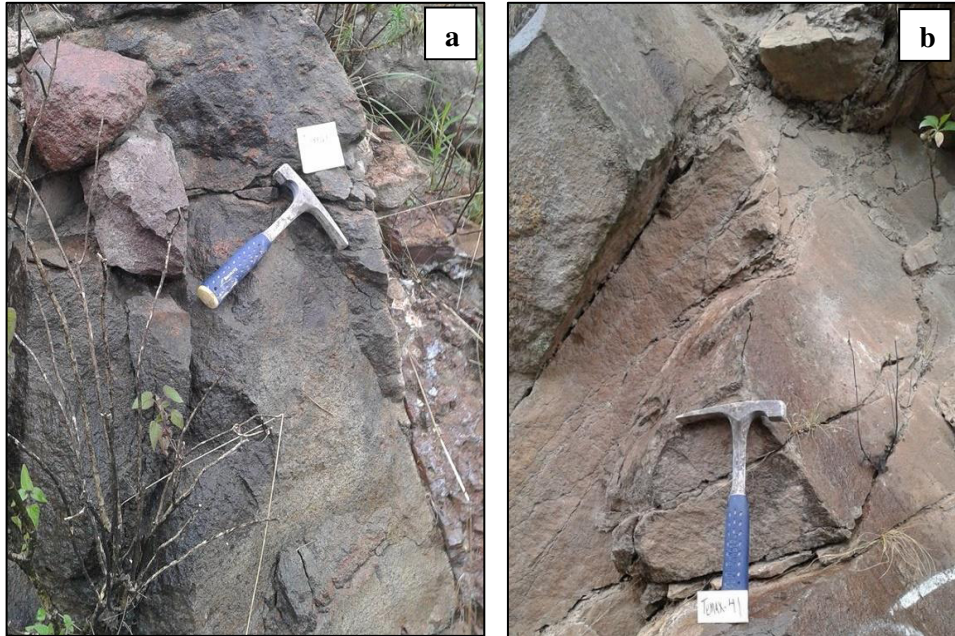


Figura 15. a) Sitio en donde se colecto la muestra Temax-40 y b) sitio de la muestra Temax-41.

La figura 16 muestra un cono cinerítico de escoria vítrea, junto al río Lerma y al pie de la falla pastores, en ese sitio ubicado en la localidad de Pastores, se colectaron las muestras Temax-44A y Temax-44B, las cuales corresponden a una andesita vítrea.



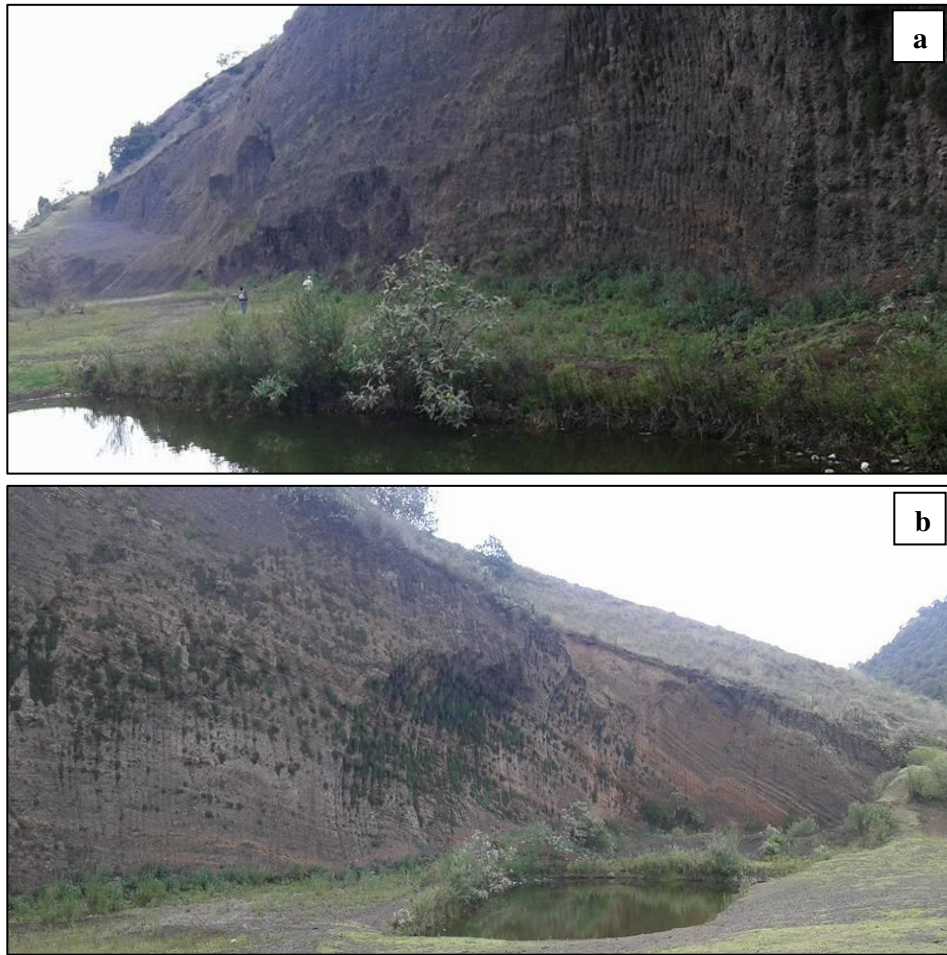


Figura 16. Cono cinerítico de donde se tomaron las muestras a) Temax-44A y b) Temax-44B.

En la figura 17 se puede observar el sitio en el que se tomó la muestra Temax-46, correspondiente a un depósito piroclástico de bloques y cenizas, distales con más matriz que bloques, se encuentran rellenos de arcillas, el dique clástico de lodo es una sismita, producto de la licuefacción a causa de grandes terremotos. La imagen a) muestra la intrusión de la sismita en los depósitos piroclásticos de bloques y cenizas correspondientes a una riolita y la b) el contacto entre la sismita y la riolita.

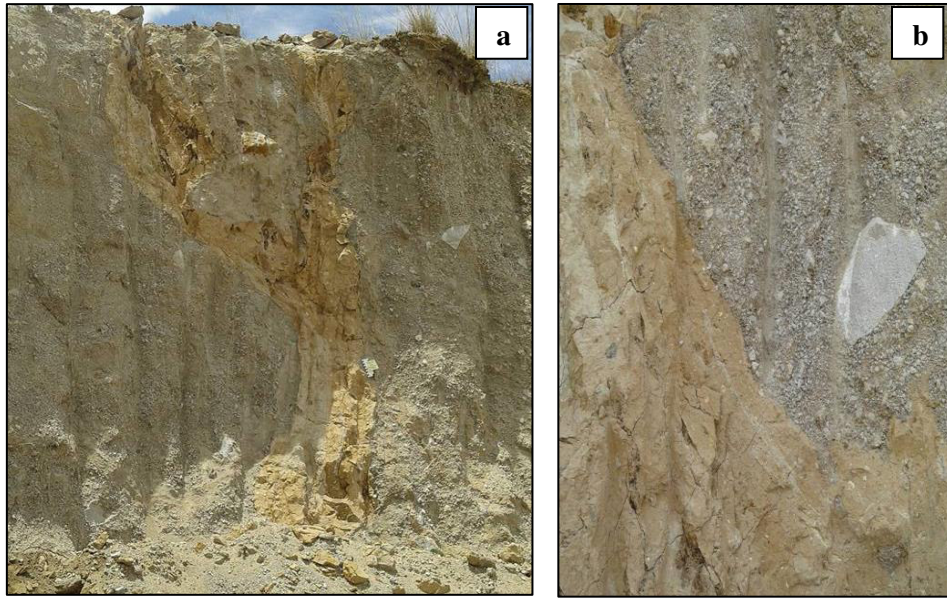


Figura 17. Sitio en donde se tomó la muestra Temax-46.

La figura 18, muestra el sitio en donde se tomó la muestra Temax-47B, esta corresponde a un depósito de caída de pómez y lapilli, provenientes del volcán Temascalcingo, previo a los bloques y cenizas, se presenta pseudoestratificado pulsante, índice que incrementaba y disminuía, además de encontrarse depositados sobre un paleosuelo.

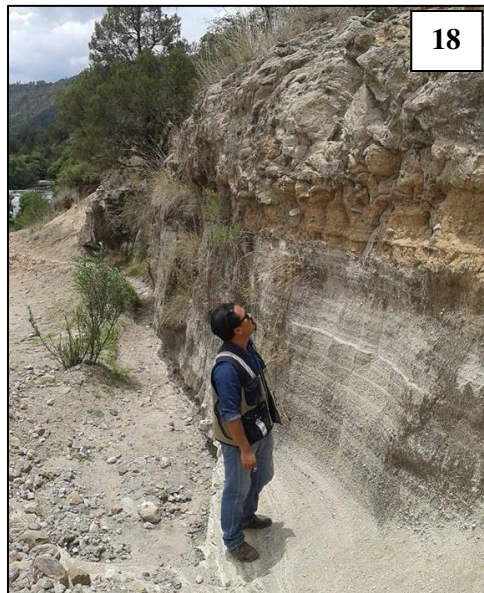


Figura 18. Sitio en el que se tomó la muestra Temax-47B.

En la figura 19, se puede observar el sitio cercano a donde se tomó la muestra Temax-48, esta corresponde a andesitas negras porosas, y se tomó en la bajada del camino junto a una cascada del río Lerma, frente a la falla pastores.

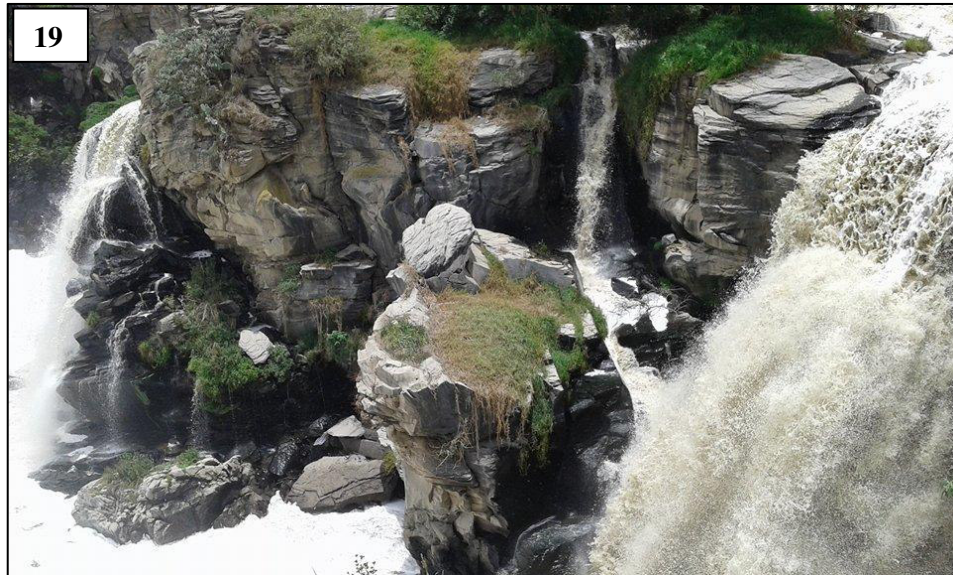


Figura 19. Sitio en el que se tomó la muestra Temax-47B.

En la figura 20, se presenta una vista panorámica al sur, del volcán San Miguel, desde el interior del graben de Acambay.



Figura 20. Vista panorámica del volcán San Miguel.

En la figura 21, se puede apreciar uno de los conos de escoria, visto hacia el este, desde el interior del graben de Acambay.



Figura 21. Cono de escoria.

La figura 22 corresponde al sitio de verificación, en donde se colectó la muestra Aca-2, junto a la presa Chincua, son lavas del flanco SE del volcán San Miguel, presenta bandeamiento de flujo de composición máfica a intermedia, con fenocristales de olivino, piroxeno y plagioclasa, está intemperizada, y el volcán está muy erosionado, debido a su drenaje radial.



Figura 22. Sitio del punto de verificación de la muestra Aca-2.

En la carretera con salida a Tepetongo se encuentra el escarpe de la falla Pastores, de ahí se tomó la muestra Aca-5, la cual se puede observar en la figura 23, la imagen fue tomada con vista al sur de la falla, desde el interior del graben de Acambay, la muestra corresponde a una andesita gris claro, alterada y muy intemperizada, con textura sacarosa, fenocristales de ferromagnesianos y capas masivas con zonas de lajeamiento.



Figura 23. Escarpe de la falla Pastores de donde se colectó la muestra Aca-5.

Todos los sitios muestreados fueron ubicados en el GMAG como se muestra en la figura 24, en este mapa se han separado las muestras por colores, en 3 distintas etapas de muestreo. La primera, realizada por el Dr. Aguirre Díaz y se muestran en puntos color rojo. La segunda, realizada de igual manera por el Dr. Aguirre Díaz, pero en compañía del estudiante Ricardo Molina, resaltada en puntos color azul y la tercera, la cual es a la que se le debe dar mayor atención, ya que es la correspondiente a este trabajo de tesis, fue realizada por el Dr. Aguirre Díaz en compañía mía, los puntos correspondientes a este muestreo fueron resaltados en color blanco.

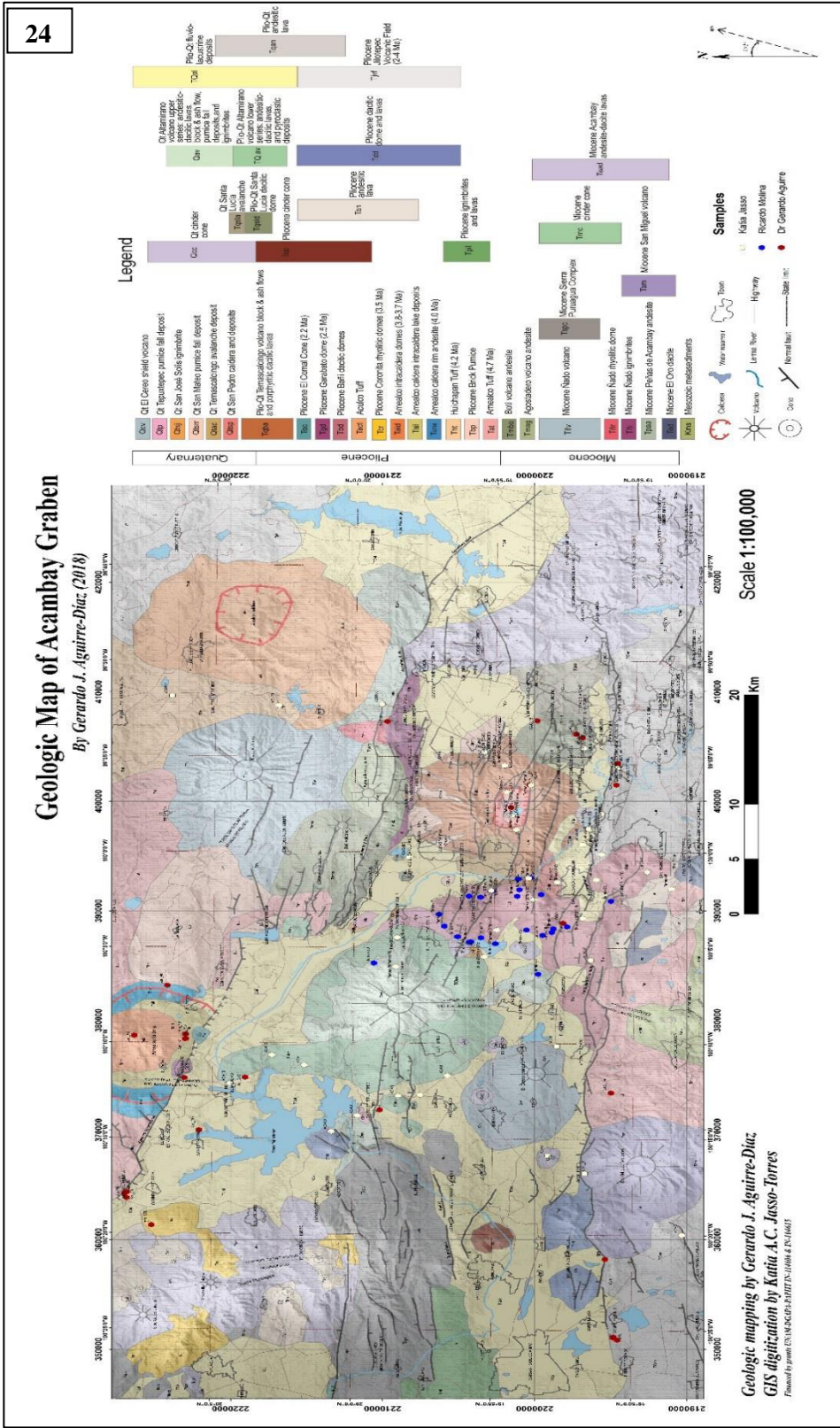


Figura 24. Mapa que muestra la ubicación exacta del muestreo realizado.

## **CAPÍTULO IV**

### **MÉTODO DE TRITURACIÓN PARA PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS QUÍMICO**

La Geoquímica se encarga del estudio de la distribución, proporción y asociación de los elementos químicos de la corteza terrestre y de las leyes que las condicionan. Las 29 muestras seleccionadas (especificadas en las páginas 17 y 18) para el análisis petrográfico, 23 fueron preparadas para análisis químico, para lo cual se requiere de un proceso cuidadoso que incluye trituración, pulverizado y homogenización en los talleres de molienda y pulverizado del Centro de Geociencias (CGEO). Para esto se aplicó la metodología convencional, que consiste en los pasos descritos a continuación.

1. De las muestras colectadas se seleccionaron 23.
2. Para comenzar hay que colocarse guantes y gafas de seguridad, posteriormente limpiar cada una las muestras, de modo que queden libres de cualquier tipo de alteración o intemperismo.
3. Una vez que se ha limpiado la muestra, se coloca en una bolsa y se cierra para evitar el riesgo de contaminarse con partículas o residuos de roca de otras muestras.
4. Ya que todas las muestras están limpias y guardadas en sus respectivas bolsas, se procede a limpiar con agua, jabón analítico de alta pureza y aplicando etanol o acetona para el secado del instrumental y área de trabajo, así como las charolas que se utilizaran, para posteriormente verter en ellas las muestras y secarlas en el horno eléctrico a no más de 100°C durante 24 horas para quitar la humedad ambiental que contengan las muestras.

- Para secar cada muestra, se toma una charola limpia y seca (Figura.25), la cual es marcada con la clave correspondiente a la de la muestra, sobre una superficie visible con pincel permanente.



Figura 25. Refractario en el que se coloca la muestra, para ser introducida en el horno de secado.

- Enseguida la muestra se coloca en la charola o refractario (figura 26-a) y se recubre con papel aluminio (figura 26-b), al cual se hacen pequeñas perforaciones para que la humedad que desprenda la roca no quede almacenada en la muestra después de evaporarse.

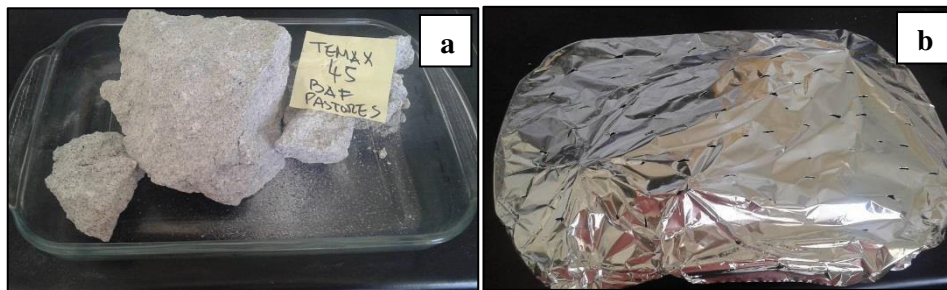


Figura 26. a) Muestra dentro del refractario y b) muestra recubierta con papel aluminio perforado.

- Una vez que la muestra ha sido recubierta, se introduce en una de las parrillas metálicas del horno (figura 27), cuidando que previamente se encuentre a  $90^{\circ}\text{C}$ .





Figura 27. Muestras dentro del horno, para ser deshidratadas en su totalidad a 90°C.

8. Se realiza el mismo procedimiento con todas las muestras a analizar, trabajando siempre de una en una, limpiando superficies, charolas y guantes entre un cambio y otro.
9. Ya que han transcurrido 24hrs, se sacan las muestras del horno y se dejan enfriar durante 3 horas (figura 28), ya que la roca se calienta y no es posible manipularla de ese modo.



Figura 28. Muestras durante el proceso de enfriamiento.

10. Durante la espera de enfriamiento, en el área de trituración se limpia todo el equipo con el que se trabajara, así como el pistón de

trituration, el que es recubierto además con papel de estraza limpio por debajo de la placa inferior; el papel se desecha en cada cambio de muestra, para evitar contaminación con otras muestras.

11. Una vez que las muestras se han enfriado se procede a tomar una de ellas y se lleva al cuarto de trituration.
12. Ya que se define la porción de muestra a triturar, se realiza la disminución de tamaño de la roca con ayuda del pistón triturador. Para esto se enciende el extractor de aire, el cual recaudara partículas de polvo que se generen durante la trituration, enseguida se realiza una precontaminación, que consiste en colocar una porción pequeña de la muestra sobre la platina metálica inferior de la prensa, se rodea la muestra con un cartón limpio y seco, el cual evita que los fragmentos de roca salgan disparados durante la trituration. Se enciende la trituradora aplicando una presión de 75 a 100 kg/cm<sup>2</sup>, una vez alcanzada esa presión la muestra de roca se habrá triturado.



Figura 29. Muestra de roca triturada bajo el pistón compresor.

13. Se retira la muestra de la precontaminación de la platina con ayuda de una brocha limpia y un cucharón metálico, para ser colocada sobre un trozo de papel revolución y posteriormente ser desechada en un contenedor de basura.
14. A continuación, se realiza el mismo procedimiento con la misma muestra, pero en lugar de desechar la muestra recién triturada, se coloca sobre el papel revolución y se realiza un cuarteo (figura 30-b), del que se apartaran los trozos de muestra más gruesos y se trituraran nuevamente hasta obtener un tamaño de partícula con tamaños menores a los 5mm.
15. Una vez que se ha triturado toda la muestra y se ha realizado el cuarteo en el que se recupera la muestra que contiene los tamaños menores a 5mm (figura 30), se coloca en una bolsa, se cierra, etiqueta y se retira del cuarto de trituración.

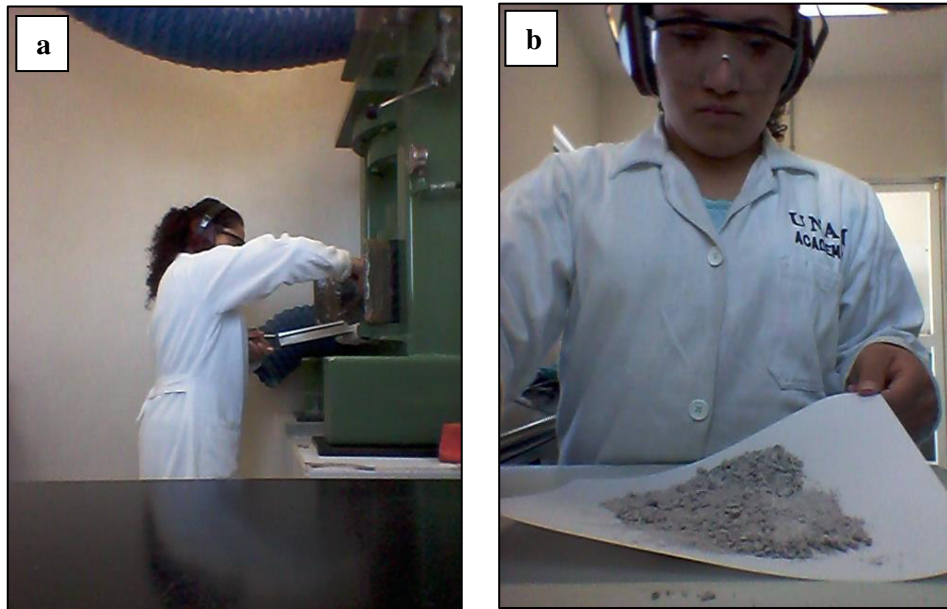


Figura 30. a) Recolección de la muestra triturada sobre el cucharón metálico y b) El cuarteo de la muestra triturada.

16. A continuación, se procede a limpiar todo el material y equipo utilizado, con ayuda de toallas de papel, etanol, aire comprimido y taladro con cepillo acoplado. Para limpiar las platinas superior e inferior del compresor, se deben retirar con suma precaución y finalmente se barre y aspira el polvo acumulado en el taller de trituración.

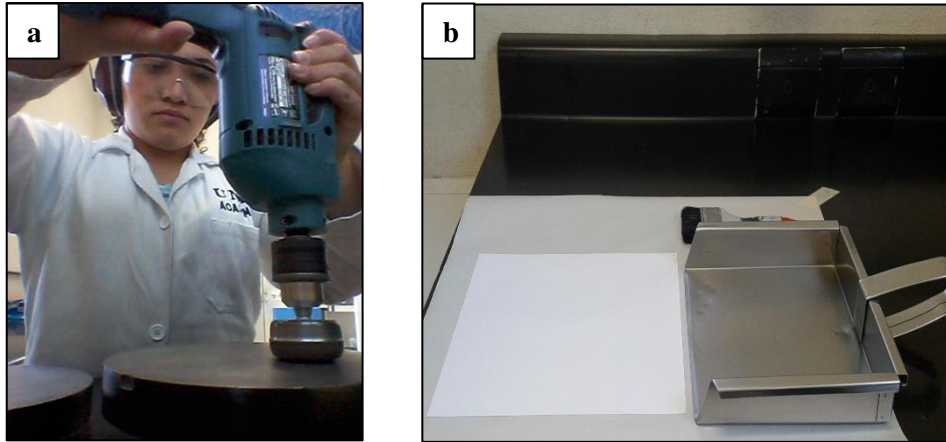


Figura 31. a) Limpieza de las platinas con el cepillo metálico y el taladro. b). Charola, papel revolución y brocha, sobre la mesa de trabajo, en perfecto orden y limpieza.

17. Una vez que estamos 100% seguros que se ha realizado la correcta limpieza del área y equipo de trabajo (Figura 31), será posible triturar una nueva muestra, sin olvidar que siempre entre cada muestra que sea trabajada, se debe realizar la precontaminación de los instrumentos y una limpieza profunda del material y equipo, al inicio y termino del proceso de trituración.

## **CAPÍTULO V**

### **MÉTODO DE PULVERIZADO EN SHATTERBOX PARA ANÁLISIS QUÍMICOS**

Para poder ingresar la muestra a los equipos de análisis química, ésta debe ser pulverizada hasta obtener un tamaño de partícula menor a 75 micras o que el polvo pase la malla -200. Una vez que se realizó la trituración de la muestra (Capítulo anterior), se selecciona una porción de la muestra mediante la técnica de cuarteo (quarter and pound) para obtener una parte representativa evitando el fraccionamiento de los componentes.

El pulverizado se realizó en el taller de molienda del Centro de Geociencias con ayuda de un molino que contiene una placa de cerámica que se coloca en un Shatterbox marca Spex, este permite procesar de 2 a 100gr de muestra y reduce el tamaño de partícula a 200 mallas o 75  $\mu\text{m}$ . Para utilizar el Shatterbox es necesario limpiar muy bien con toallas de papel ya que se deben desechar, agua y alcohol todas las áreas y equipo a utilizar en el área de molienda.

- ◆ Se lleva una muestra que ya ha sido triturada, al cuarto de molienda.
- ◆ Se cierra la puerta del cuarto de molienda.
- ◆ Se enciende el extractor de aire.
- ◆ Previo a moler las muestras seleccionadas se debe pulverizar arena sílica, con la finalidad de limpiar el molino y no haya riesgo de contaminar ninguna muestra.
- ◆ Se toma el plato del molino y se coloca sobre el shatterbox.
- ◆ Enseguida se coloca la placa del molino, en el interior del plato, cuidando que este toque una de sus paredes.
- ◆ Se colocan aproximadamente 5 gr de arena sílica.

- ◆ Colocar la tapa del molino y asegurarla con su sujetador.
- ◆ Se procede a realizar el pulverizado de arena sílica y se desecha (ver figura 32).



Figura 32. Molino con pulverizado de arena sílica ( $\text{SiO}_2$ ).

- ◆ Enseguida se lava con agua y jabón el plato de cerámica, así como su tapadera, el empaque de la tapa y el molino. Una vez limpios se colocan en la campana extractora y se les rocía alcohol o acetona con una bureta, para eliminar cualquier partícula de carbonatos que pueda contaminar la muestra a trabajar, al ser molida.



Figura 33. Plato, tapadera y molino de cerámica, secándose bajo la campana extractora.

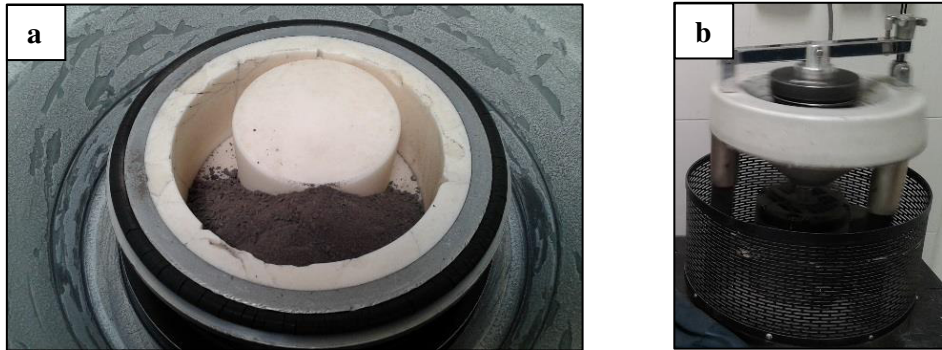


Figura 34. a) Molino con muestra y b) Máquina Shatterbox trabajando.

- ◆ Se toma la muestra que será pulverizada y se homogeniza dentro de la bolsa.
- ◆ Una vez que se ha secado el equipo de cerámica, se procede a realizar un pre contaminado con la muestra que será molida, para esto se coloca el plato sobre el Shatterbox, enseguida se le introduce el molino de tal modo que toque una de las paredes del plato y sobre el borde del plato se coloca el empaque.
- ◆ Enseguida se agregan aproximadamente 100gr de la muestra, sin que esta quede sobre el molino.
- ◆ Se cubre el plato con su tapadera y se sujeta con la palanca del Shatterbox, está tiene un anillo que embona con la tapa del plato el cual asegura el molino durante las vibraciones del Shatterbox.
- ◆ Se enciende la máquina y se deja trabajar durante 3 minutos, durante el pulverizado se coloca un plástico sobre la mesa de trabajo, encima de este una hoja de máquina y un cuarto de hoja de papel de china, doblado por la mitad.
- ◆ Una vez que transcurrieron los 3 minutos de pulverizado, se apaga el Shatterbox y se retira el plato de pulverizado para verter la muestra sobre la hoja de papel de china.



Figura 35. Plástico adherible, hoja de máquina, papel de china, pincel para retirar los residuos de muestra pulverizada, frascos en los que se colocó cada muestra y muestra pulverizada a 200 mallas, sobre papel de china.

- ◆ El contenido de la muestra se desecha ya que aquí finaliza el pre contaminado y ahora se puede realizar la molienda de la muestra que será colocada en los frascos que serán enviados al laboratorio de fluorescencia de rayos X para su análisis químico.



Figura 36. Frascos que contienen la muestra pulverizada.



- ◆ Se tapan los frascos y se etiquetan con su clave y número correspondiente.



Figura 37. Etiquetación de los frascos con las muestras a analizar.

- ◆ Se colocan los frascos dentro de una bolsa que se pueda cerrar y así evitar cualquier tipo de contaminación que pueda llegar a alterar la muestra.
- ◆ Para finalizar el método, se procede a lavar todo el equipo como en un inicio y pulverizando entre cada muestra con un poco de arena sílica.

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, del Instituto de Geología de la UNAM, para su estudio químico, el cual se realizó por medio de un espectrómetro secuencial de Fluorescencia de rayos-X.

## CAPÍTULO VI

### MÉTODO DE LAMINACIÓN

Las láminas delgadas o secciones delgadas son láminas de roca de 30  $\mu\text{m}$  de espesor, que permiten realizar un estudio sobre el contenido mineralógico de una roca a través de un análisis detallado con ayuda de un microscopio petrográfico. La técnica empleada se describe a continuación.

1. La muestra debe ser limpiada de la costra de intemperismo o cualquier tipo de alteración.
2. Posteriormente en el área de cortes del taller de laminación se corta la roca con la sierra cortadora de disco de 12 in con filo de diamante (figura 38), para formar prismas rectangulares, con las siguientes medidas aproximadas: 4.2 cm de largo x 2.3 cm de ancho y .9 cm de alto.



Figura 38. Corte inicial de la roca, en la sierra con disco de 12in.

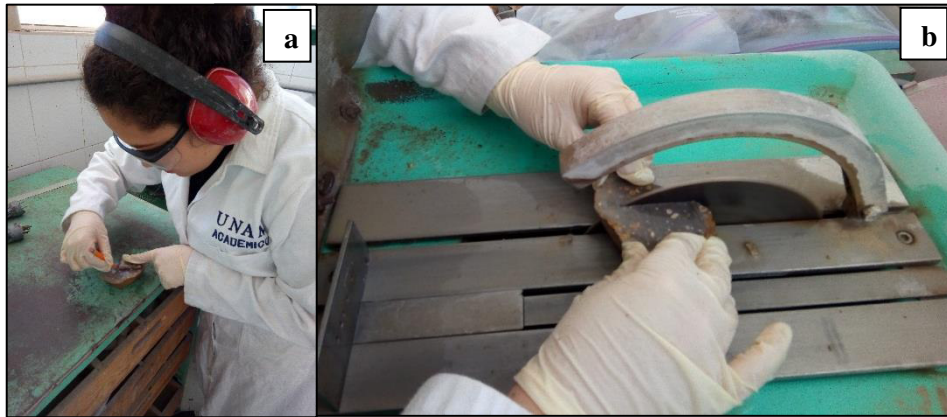


Figura 39. a) Marcación del límite sobre la muestra, previo a cortar el prisma y b) Corte del prisma en la sierra cortadora de disco de diamante de 10 in.

3. A continuación, una de las caras del prisma se pule uniformemente sobre una lapeadora, de disco giratorio de hierro de 12 in de diámetro (figura 40-a), para lo cual se utiliza abrasivo de carburo de silicio y agua (figura 40-b), comenzando del abrasivo más grueso al más fino y lavando muy bien la muestra y el disco en cada cambio, ya que de lo contrario se puede rayar la muestra. Al desbastar las muestras se utilizaron los abrasivos: 240, 320 y 400. Al termino se debe enjuagar y secar el disco, ya que al quedar húmedo se oxida.

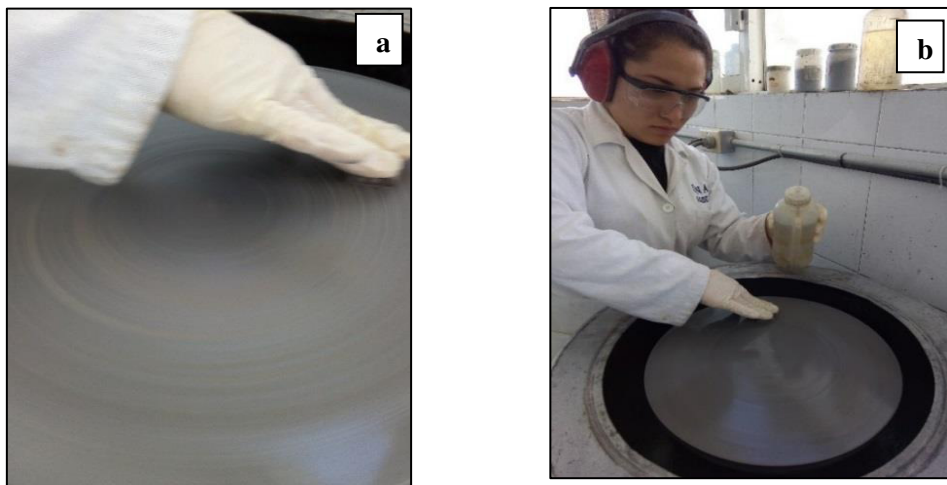


Figura 40. a) Lapeadora funcionando y b) Devaste del prisma sobre la lapeadora.

4. Enseguida se pule nuevamente la misma cara del prisma, pero sobre un vidrio grueso, con agua y carburo de silicio, primero con carburo de 600 y finalmente de 1000.
5. Se enjuaga el prisma y se talla con un cepillo para que quede libre de carburo de silicio y enseguida se coloca sobre una parrilla eléctrica para secarlo.
6. Durante el secado del prisma, se debe preparar un portaobjetos de vidrio, el cual se pule con abrasivo de carburo de silicio del número 400 en vidrio, sobre la cara en la cual se pegará la del prisma de la roca que se preparó anteriormente. Ya desbastado se pule, se lava y se seca para ser marcado con la misma clave correspondiente a la de la muestra, con ayuda de una punta metálica o rayador, sobre la cara lisa del portaobjetos.
7. Una vez que estos se secan se quitan de la parrilla y se dejan enfriar, ya que están fríos se limpian con una navaja y con aire comprimido, para que queden libres de partículas de polvo o pelusas y poder ser adheridos con pegamento transparente UV 300.
8. Para pegar se debe trabajar sobre una superficie que se pueda mover y que este recubierta por un plástico, también es necesario nivelar la muestra si esta chueca, ya que primero se coloca la muestra con la cara pulida hacia arriba, se le agrega el adhesivo UV 300 (figura 41-a) y sobre este el portaobjetos el cual se deja caer con mucho cuidado (figura 41-b) y enseguida se trabaja en círculos, haciendo un poco de presión con los dedos índice y medio, para sacar las burbujas y adherir el portaobjetos a la muestra.

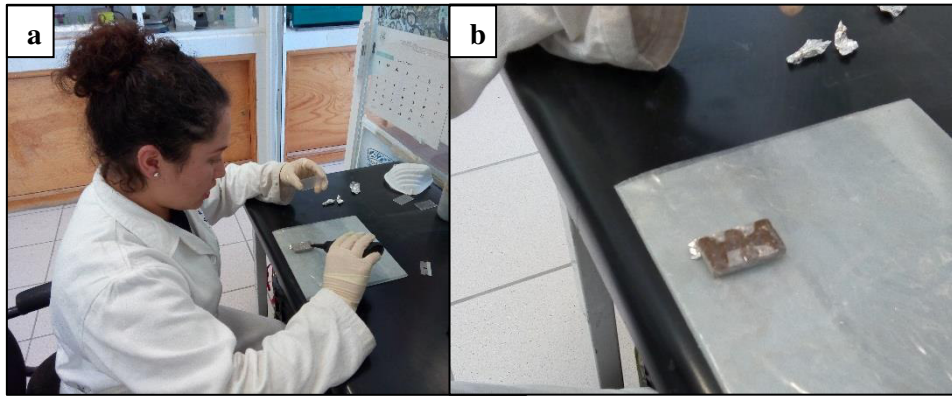


Figura 41. a) Muestra con cara pulida hacia arriba y pegamento UV, b) Pegado del portaobjetos sobre el prisma de roca.

9. Una vez hecho lo anterior se exponen la muestra con el cubreobjetos a los rayos UV del sol e instantáneamente quedara fijo el portaobjetos a la muestra, se dejan fijar a la luz del sol durante 10 o 15 minutos.
10. Ya que han transcurrido los 15 min se procede a cortar la muestra en una cortadora seccionadora con disco de 8in, en la que se podrá obtener un corte de aproximadamente  $600\mu\text{m}$ .
11. Posteriormente se realiza un desbaste en la maquina desbastadora con disco de 8in, hasta obtener un grosor de  $30\mu\text{m}$ .

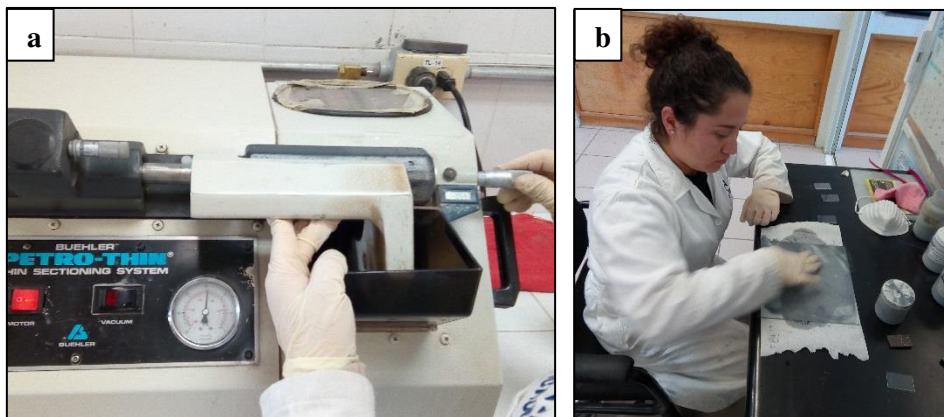
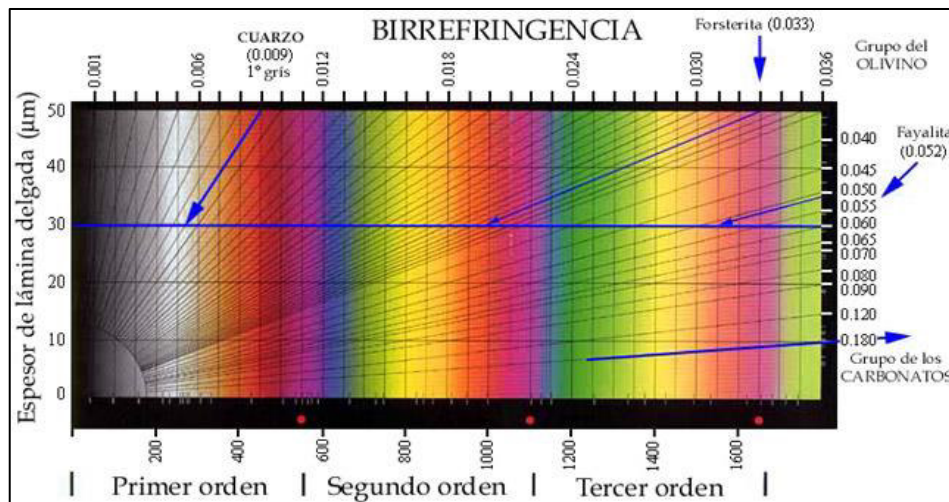


Figura 42. a) Desbaste de lámina en desbastadora automática, hasta  $30\mu\text{m}$ . y b) Indica el desbaste manual de la lámina delgada, sobre vidrio y carburo de silicio.

12. Al adquirir ese grosor, la muestra ya se puede observar en el microscopio petrográfico y es como sabremos si ya está lista, para saberlo hay que guiarse con ayuda de la tabla de colores de Michel Levy (tabla A), ya que ésta muestra los colores de interferencia y así se comparan los colores que presentan los minerales. Uno de los minerales indicadores que más ayuda a reconocer cuando ya está lista la lámina, es el cuarzo, ya que éste pasa por toda la gama de colores, primero se torna en verde intenso y al ir adelgazando la muestra sobre el vidrio con agua y carburo de silicio del 600 y después 1000 (figura 41-b), los colores cambian de azul a fucsia, luego a naranja, después a amarillo y finalmente a gris. Para un mejor resultado se debe desbastar uniformemente toda la lámina delgada, realizando movimientos en forma de 8.

Tabla A. Tabla de birrefringencia de Michel Levy



13. Finalmente, cuando ya está lista la lámina, se recubre la superficie de roca que queda al descubierto con un cubreobjetos. Para esto se limpian y soplean ambas

superficies a pegar para evitar impurezas y polvo en la superficie de la lámina delgada. Enseguida se agrega adhesivo UV 300 sobre la superficie de la lámina y se coloca el cubreobjetos. Se deja expuesta al sol durante 5 minutos para que termine de fraguar el adhesivo.

14. Para quitar el exceso de adhesivo seco, se coloca la lámina dentro de acetona durante 5 minutos (figura 43-a), después con una navaja se retira la película despegada de adhesivo (figura 43-b), se limpia con una estopa y un poco de alcohol para finalmente obtener la lámina delgada.

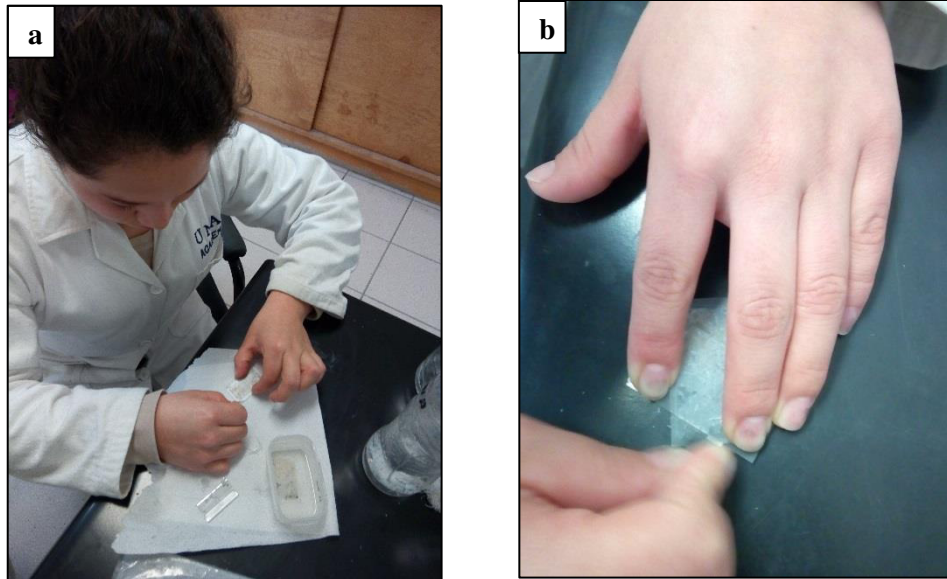


Figura 43. a) Se observa la lámina delgada después de ser sumergida en acetona y b) Limpieza de lámina delgada con navaja metálica y estopa con alcohol.

NOTA: Se debe tener en cuenta que, si la muestra de roca que se va a trabajar es muy porosa o no está lo suficientemente litificada para ser procesada, con el método anterior, se debe realizar un proceso adicional con las siguientes indicaciones.

- I. **Si la muestra es muy porosa o es una muestra de suelo:** Se realiza el mismo procedimiento anterior hasta el paso 2, de ahí

en lugar de desbastar una de las caras del prisma para ser pegada, se debe sumergir en una resina acrílica transparente, la cual solo un experto en laminación puede realizar. El preparado se hace bajo una vitrina que se encuentra conectada a una campana de extracción de vapores y gases nocivos para la salud. Se debe utilizar cubrebocas, guantes y gafas. La resina se prepara con los siguientes aditivos:

73 gr de resina acrílica + 17gr de monómero de metil  
metacrilato + 17 gotas de catalizador

Se disuelve muy bien la mezcla para homogenizarla (figura 44-a) y enseguida sobre un recipiente pequeño se coloca el prisma al que se le agrega la mezcla, esta es más densa que la roca, por tanto, es muy recomendable colocar algún objeto pesado sobre el prisma para que este no flote y la resina pueda recubrirlo por completo. Se dejan secar durante 3hrs y se obtendrá la muestra encapsulada en el acrílico (figura 44-b). A continuación, se puede retomar el paso 6 del método hasta finalizar la lámina (no secar en la parrilla, se seca a la luz del sol o con una secadora eléctrica).

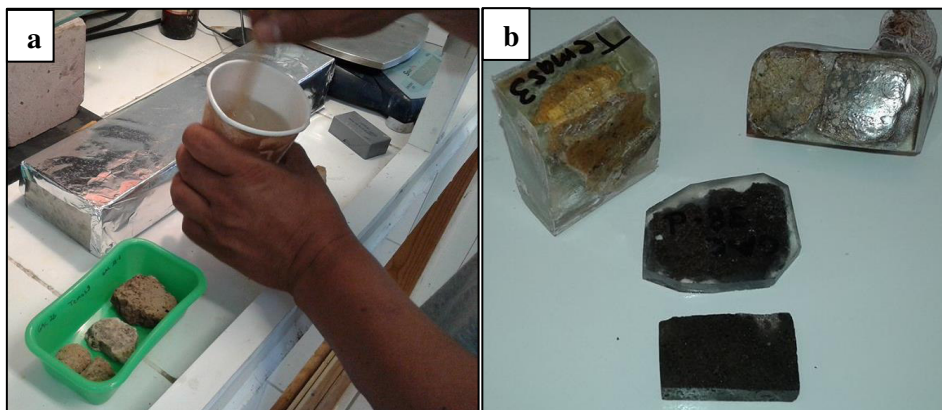


Figura 44. a) Homogenización de la resina acrílica y b) Muestras encapsuladas en la resina acrílica.



II. **Si la muestra es muy deleznable o frágil:** Se debe trabajar en seco, se sigue paso a paso el método de laminación hasta el punto 2, a partir de aquí se pone a secar la muestra en la parrilla eléctrica. Una vez que esta se seca se retoma el paso 3, pero en lugar de pulir sobre la lapeadora, la muestra se pule sobre lijas de los números 240, 320, 400, 600 y 1000. Ya que se realizan los pasos del 3 al 12 omitiendo el 6, se procederá a desbastar la muestra sobre el vidrio, con carburo de silicio y en lugar de agua se utiliza aceite lubricante WD40, conocido como afloja todo. Enseguida se realizan los puntos 13 y 14.

III. **Si la muestra presenta fracturas:** Antes de comenzar con el método de laminación, debe ser recubierta, la muestra a trabajar con pegamento koLA LOKA, esta ayudara a rellenar las fracturas y evitara que se desprenda la muestra. Ya que seca el pegamento se puede comenzar a trabajar con el método normal de laminación, es decir realizar los anteriores puntos del 1 al 14.

15. Obtención de lámina delgada final (figura 45), la cual debe estar limpia y seca.

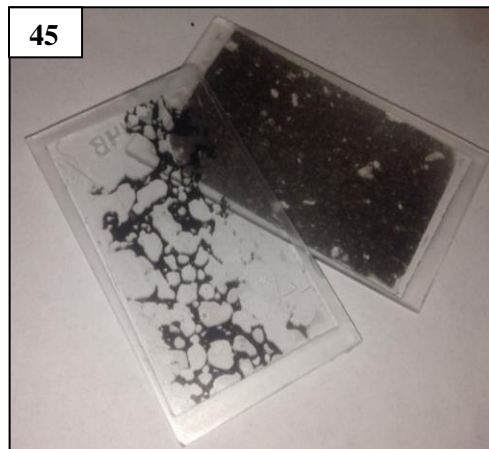


Figura 45. Muestra dos laminas delgadas finales, correspondientes a las muestras Temax-44B y Temax-48.

## CAPÍTULO VII

### FOTOMICROGRAFÍA

La fotomicrografía es la obtención de fotografías de un objeto que no se puede observar a simple vista, en este trabajo, en particular fue el de obtener imágenes de las láminas delgadas, que se realizaron de las muestras de roca colectadas en el graben de Acambay.

Las fotomicrografías se obtuvieron a través de un software que fue adaptado a un equipo de cómputo y este a su vez a una cámara conectada a un microscopio petrográfico (Figura 46).



Figura 46. Microscopio de la marca ZEISS junto con la cámara y equipo de cómputo, adaptado para poder adquirir fotomicrografías.

Previo a realizar la descripción petrográfica de las 29 muestras de lámina delgada (figura 47) realizadas durante este proyecto, se adquirió su fotomicrografía (figura 48).

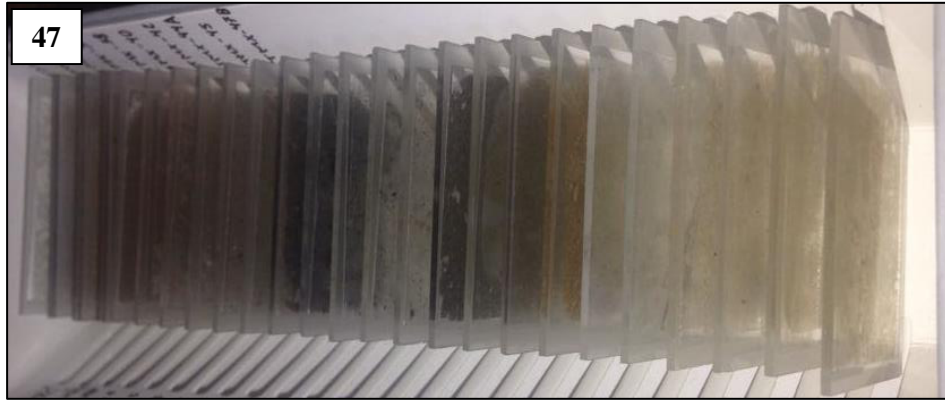


Figura 47. Muestra las 29 láminas delgadas, realizadas en este proyecto.

Al colocar la lámina delgada en la platina giratoria del microscopio petrográfico, se seleccionó el objetivo de 5X para observar y seleccionar el punto de la lámina a ser fotografiado. Contemplando que en la imagen fuera posible apreciar las características más representativas de la muestra, como son: minerales, textura, matriz y cristalinidad. Se obtuvieron 3 pares de imágenes, con nicóles cruzados y luz paralela de cada lámina delgada, obteniendo un total de 174 imágenes, de las cuales se seleccionaron 29 pares para realizar las tablas correspondientes a los resultados de la descripción petrográfica (ver tablas de la B a la DD) de este trabajo de tesis.



Figura 48. Se puede observar la toma de la fotomicrografía.

## **RESULTADOS**

### **DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LAS MUESTRAS**

A continuación, se puede observar el mapa del Graben de Acambay que muestra la ubicación de las 29 muestras (figura 49) que fueron laminadas durante la realización de este proyecto las cuales son: GAC-2B, GAC-5B, GAC-6, GAC 8-I, GAC 8-II, GAC 38D, Temas-A, Temas-B, Temas-3, Temax-21B, Temax-24C, Temax-26<sup>a</sup>, Temax-28 C Blanco y Temax-28C Negro (Son una misma lámina, salvo que esta presenta los dos colores debido a la alteración de la muestra), Temax-29, Temax-35, Temax-36, Temax-37, Temax-38, Temax-39, Temax-40, Temax-41, Temax-42, Temax-43, Temax-44 A, Temax-44 B, Temax-45, Temax-46, Temax-47B y Temax-48. En la tabla se puede observar, la descripción petrográfica de cada una de las láminas delgadas ya que han sido organizadas a modo que muestren la respectiva unidad litológica dentro del Graben de Acambay a la que corresponden, su coordenada en el sistema de coordenadas UTM WGS84, la clave con la que la muestra fue nombrada en campo, la respectiva fotomicrografía tomada con el objetivo 5x10X; tanto en nicoles cruzados como luz paralela y su escala de 0.2mm, también se presenta la clasificación de la roca en donde se caracteriza por nombre, origen y ubicación. Enseguida en la misma tabla se puede consultar la composición de la roca, su textura megascópica, los minerales primarios y secundarios, su descripción microscópica en donde se resalta el color, textura, cristalinidad y forma de los cristales, así como el porcentaje de cristales y matriz, para finalmente consultar una pequeña observación de la muestra.

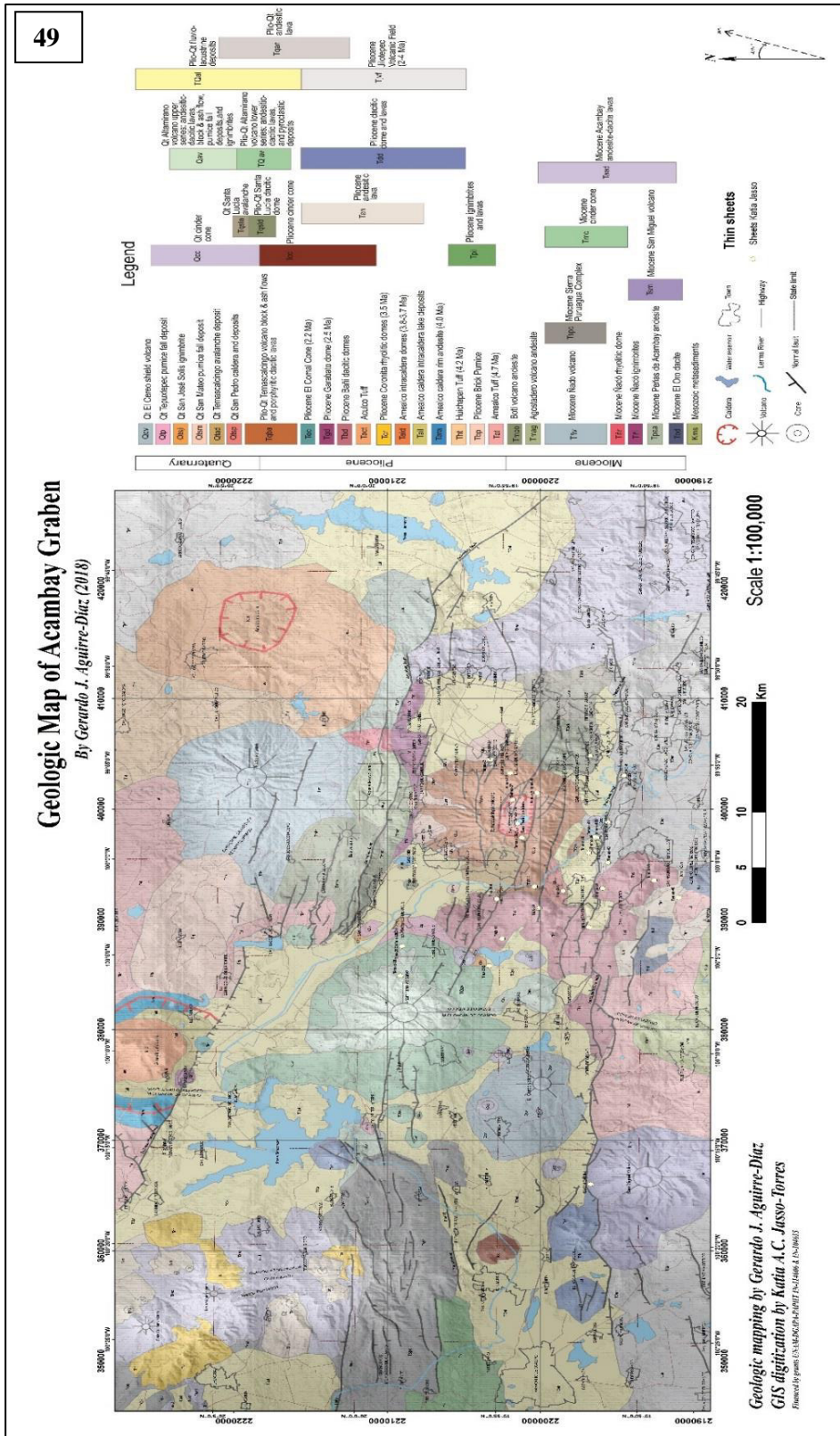


Figura 49. Mapa que muestra la ubicación de todas las láminas realizadas.

Tabla B. Muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra GAC-2B.

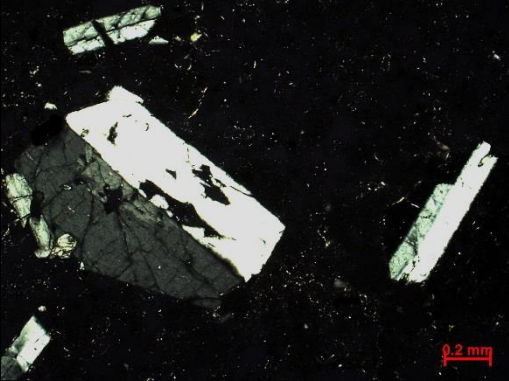
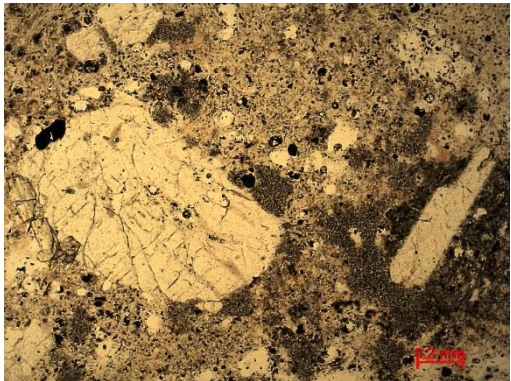
<p><b>Unidad litológica:</b> Depósitos de oleada piroclástica del Volcán Jocotitlán.  <b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 427443 m Y= 2185311m</p>	
<p><b>No Sección delgada:</b> GAC-2B</p>	
<p><b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X</p>	
	
<p>Nicoles cruzados</p>	<p>Luz paralela</p>
<p style="text-align: center;"><b>Clasificación</b></p> <p><b>Nombre de la roca:</b> Depósitos de oleada piroclástica.  <b>Origen:</b> Ígneo extrusivo (Volcánica).  <b>Ubicación:</b> Volcán Jocotitlán.</p>	
<p style="text-align: center;"><b>Composición</b></p> <p style="text-align: center;">Feldespato, plagioclasa con biotita, hornblenda y piroxeno.</p>	
<p><b>Textura megascópica:</b> Afanítica.</p>	
<p style="text-align: center;"><b>Minerales</b></p>	
<p><b>Primarios:</b> Cuarzo y plagioclasa.  <b>Secundarios:</b> Feldespato, biotita, hornblenda y piroxeno.</p>	
<p style="text-align: center;"><b>Descripción microscópica</b></p> <p><b>Color:</b> Gris, negro y blanco.  <b>Textura:</b> Porfídica, inequigranular subhedral, con habito cristalino e hipidiomórfica.  <b>Cristalinidad:</b> Fenocristales.  <b>Forma del cristal:</b> Subhedral.</p>	
<p><b>Porcentaje de cristales:</b> 35%</p>	<p><b>Porcentaje de Matriz:</b> 65%</p>
<p><b>Observaciones:</b> Camino en ladera NE del volcán Jocotitlán, SE de Temascalcingo, de 9 600 años. No se encuentra dentro del Graben de Acambay sino en una zona muy cercana en sus límites del SE.</p>	

Tabla C. Muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra GAC-5B.

<b>Unidad litológica:</b> Lava andesítica Plio-Qt (TQan)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 403039 m Y= 2194546 m	
<b>No Sección delgada:</b> GAC-5B	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Lava andesítica.	
<b>Origen:</b> Ígneo extrusivo (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Manto del Río.	
<b>Composición</b>	
Cuarzo, plagioclasa zoneada y piroxenos.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa y cuarzo.	
<b>Secundarios:</b> Matriz de plagioclasa y piroxenos.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris y blanco.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Fenocristales.	
<b>Forma del cristal:</b> Euhedral (idiomórfica).	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 30%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 70%
<b>Observaciones:</b> Cono de escoria – flujo de lava en Manto del Río cortado por falla pastores en el sitio.	

Tabla D. Muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra GAC-6.

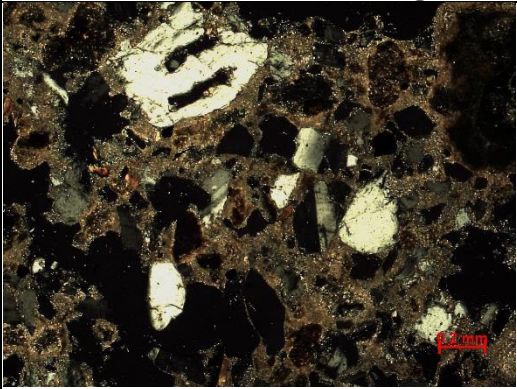
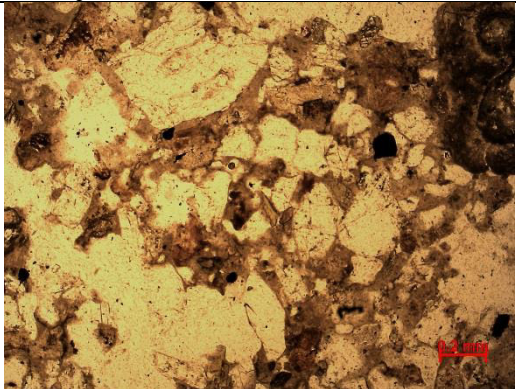
<b>Unidad litológica:</b> Lava andesítica Plio-Qt (TQan)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 403039 m Y= 2194546 m	
<b>No Sección delgada:</b> GAC-6	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Ignimbrita andesítica.	
<b>Origen:</b> Ígneo extrusivo, piroclástico (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> zanja en Manto del Rio.	
<b>Composición</b>	
Cuarzo, plagioclasa, biotita y piroxeno.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Cuarzo y plagioclasa.	
<b>Secundarios:</b> Biotita y piroxeno.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Gris, blanco, negro y marrón.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Anhedral (alotromórfica).	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 50%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 50%
<b>Observaciones:</b> Ignimbrita en bloque a la baja en la falla de Pastores en el sitio de zanja.	



Tabla E. Muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra GAC 8-I.


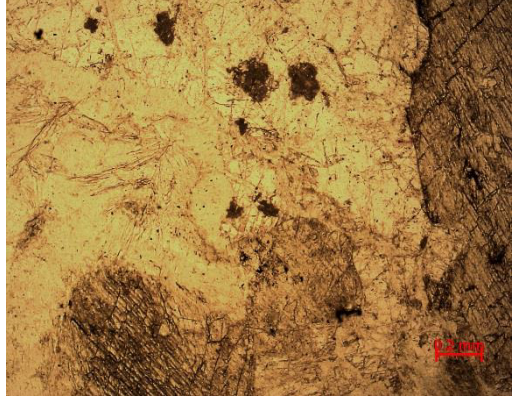
<b>Unidad litológica:</b> En Volcán San Miguel del Mioceno (Tsm)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 366031 m Y= 2196737 m	
<b>No Sección delgada:</b> GAC 8-I	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Granodiorita.	
<b>Origen:</b> Ígneo plutónico o intrusivo.	
<b>Ubicación:</b> La Huerta.	
<b>Composición</b>	
Cuarzo, feldespato, plagioclasa, biotita fibrosa, hornblenda, piroxeno y clorita.	
<b>Textura megascópica:</b> Fanerítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Cuarzo, feldespato y plagioclasa.	
<b>Secundarios:</b> Biotita, hornblenda, piroxeno y clorita.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, marrón y verde.	
<b>Textura:</b> Hipidiomórfica equigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Holocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 90%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 5%
<b>Observaciones:</b> Granito de anfíbol verde de grano grueso asociado a vetas de cuarzo con sulfuros. Junto al escarpe de la falla venta de Bravo, La Huerta entre Maravatío y Santa Ana, son rodados no se encontró el afloramiento.	

Tabla F. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra GAC 8-II.


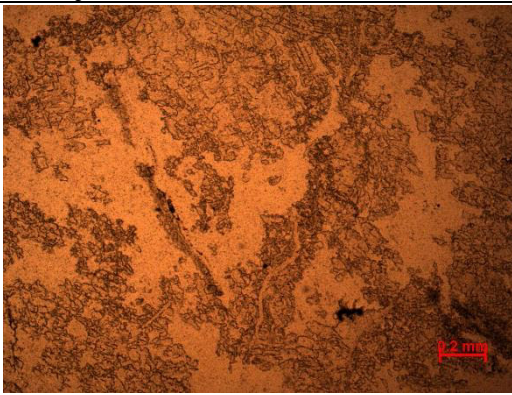
<b>Unidad litológica:</b> Volcán San Miguel del Mioceno (Tsm)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 366031 m Y= 2196737 m	
<b>No Sección delgada:</b> GAC 8-II	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Granodiorita.	
<b>Origen:</b> Ígneo plutónico o intrusivo.	
<b>Ubicación:</b> La Huerta.	
<b>Composición</b>	
Plagioclasa, feldespato y hornblenda.	
<b>Textura megascópica:</b> Fanerítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa y feldespato.	
<b>Secundarios:</b> Hornblenda.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Gris, blanco, negro y azul.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Holocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 90%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 10%
<b>Observaciones:</b> Junto al escarpe de la falla venta de Bravo, La Huerta entre Maravatío y Santa Ana, son rodados de los que no se encontró el afloramiento. Presenta rellenos intergranulares por cristalización de fusión parcial debido a cambios de presión y temperatura.	

Tabla G. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra GAC 38-D.

<b>Unidad litológica:</b> En depósitos fluvio lacustres del Pliocuatnario (TQal).	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 394900 m Y= 2208230 m	
<b>No Sección delgada:</b> GAC-38D	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Ignimbrita andesítica.	
<b>Origen:</b> Ígneo extrusivo (Volcánica), piroclástico.	
<b>Ubicación:</b> Junto a presa San Fernando.	
<b>Composición</b>	
Plagioclasa, cuarzo, biotita y vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa y cuarzo.	
<b>Secundarios:</b> Biotita y vidrio en la matriz.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, blanco, gris y amarillo.	
<b>Textura:</b> Inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Anhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 40%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 60%
<b>Observaciones:</b> Fase ignimbrítica pumítica con bloques junto a Presa San Fernando.	

Tabla H. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temas A.


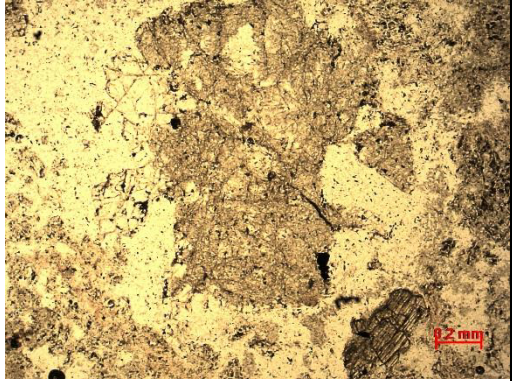
<p><b>Unidad litológica:</b> Plio-Qt Bloques del volcán Temascalcingo, flujos de ceniza y lavas dacíticas porfídicas (TQba)</p> <p><b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 401470 m Y= 2200230 m</p>	
<p><b>No Sección delgada:</b> Temas A</p>	
<p><b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X</p>	
	
<p>Nicoles cruzados</p>	<p>Luz paralela</p>
<p><b>Clasificación</b></p> <p><b>Nombre de la roca:</b> Bombas y escoria.</p> <p><b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).</p> <p><b>Ubicación:</b> Flanco sureste del volcán Temascalcingo.</p>	
<p><b>Composición</b></p> <p>Plagioclasa, cuarzo, biotita, hornblenda y vidrio.</p>	
<p><b>Textura megascópica:</b> Afanítica.</p>	
<p><b>Minerales</b></p>	
<p><b>Primarios:</b> Plagioclasa y cuarzo.</p> <p><b>Secundarios:</b> Biotita, hornblenda y vidrio en la matriz.</p>	
<p><b>Descripción microscópica</b></p> <p><b>Color:</b> Negro, blanco, gris y marrón.</p> <p><b>Textura:</b> Porfídica, cumulofírica, maclada y poikilitica.</p> <p><b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.</p> <p><b>Forma del cristal:</b> Subhedral.</p>	
<p><b>Porcentaje de cristales:</b> 40%</p>	<p><b>Porcentaje de Matriz:</b> 60%</p>
<p><b>Observaciones:</b> Depósitos de ceniza.</p>	

Tabla I. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temas B.

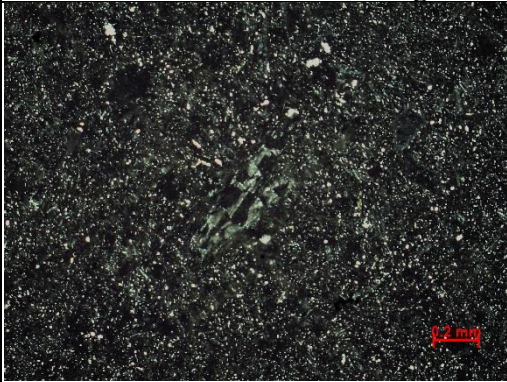
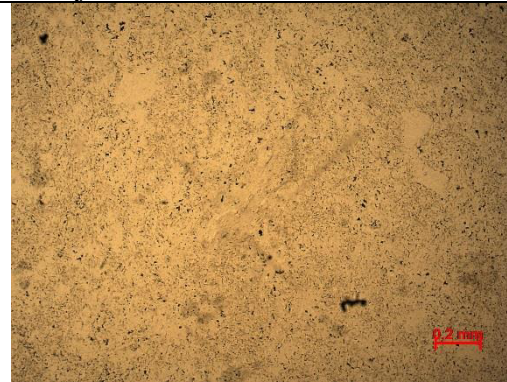
<p><b>Unidad litológica:</b> Plio-Qt Bloques del volcán Temascalcingo, flujos de ceniza y lavas dacíticas porfídicas (TQba)</p> <p><b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 401470 m Y= 2200230 m</p>	
<p><b>No Sección delgada:</b> Temas B</p>	
<p style="text-align: center;"><b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X</p>	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<p><b>Clasificación</b></p> <p><b>Nombre de la roca:</b> Bombas y escoria.</p> <p><b>Origen:</b> Ígneo extrusivo (Volcánica), piroclástico.</p> <p><b>Ubicación:</b> Flanco sureste del volcán Temascalcingo.</p>	
<p><b>Composición</b></p> <p>Plagioclasa y vidrio.</p>	
<p><b>Textura megascópica:</b> Afanítica.</p>	
<p><b>Minerales</b></p>	
<p><b>Primarios:</b> Plagioclasa.</p> <p><b>Secundarios:</b> Vidrio como matriz.</p>	
<p><b>Descripción microscópica</b></p> <p><b>Color:</b> Negro, blanco y gris.</p> <p><b>Textura:</b> Fanerítica y equigranular.</p> <p><b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.</p> <p><b>Forma del cristal:</b> Subhedral.</p>	
<p><b>Porcentaje de cristales:</b> 50%</p>	<p><b>Porcentaje de Matriz:</b> 50%</p>
<p><b>Observaciones:</b> Bloques de domo juvenil.</p>	

Tabla J. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temas 3.


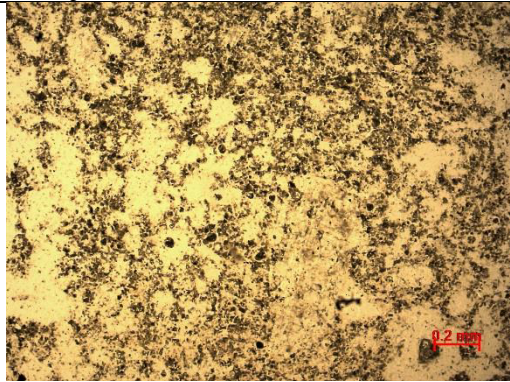
<b>Unidad litológica:</b> Qt Depósito de pómez de San Mateo (Qtsm)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 404503 m Y= 2203292 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temas 3	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Pómez San Mateo.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> San Mateo el viejo.	
<b>Composición</b>	
Plagioclasa, cuarzo, feldespato y vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa, cuarzo y feldespato.	
<b>Secundarios:</b> Vidrio.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco y verde.	
<b>Textura:</b> Porfídica criptocristalina.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 10%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 90%
<b>Observaciones:</b> Se encuentra en la base del flanco Este del volcán Temascalcingo entre San José Boctó y Pueblo nuevo.	

Tabla K. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-21B.

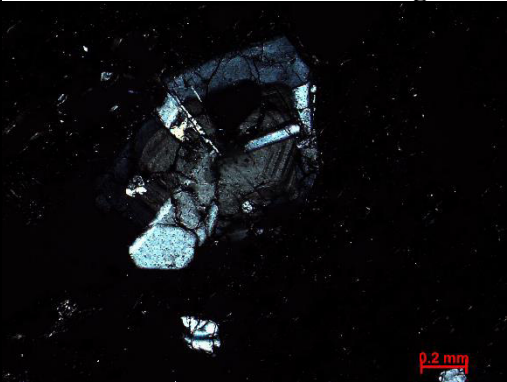
<b>Unidad litológica:</b> Plio-Qt Serie inferior del volcán Altamirano: lavas andesíticas-dacíticas y depósitos piroclásticos (TQav)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 385814 m Y= 2203341 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-21B	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita.	
<b>Origen:</b> Ígneo extrusivo (Volcánica), piroclástica.	
<b>Ubicación:</b> Base del flanco Sureste del Volcán Altamirano.	
<b>Composición</b>	
Plagioclasa, feldespato, cuarzo y vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica muy porosa.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa, feldespato y cuarzo.	
<b>Secundarios:</b> vidrio como matriz.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, Blanco, gris.	
<b>Textura:</b> Porfídica e inequi granular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 5%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 95%
<b>Observaciones:</b> Ubicado al W del lago Juanic, se observa el depósito de pómez de color gris con tonalidades rojizas o marrones a causa de las arcillas, en este punto se observan dos eventos que se distinguen por granulometría y ligero cambio de coloración con el contacto visible.	

Tabla L. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-24C.

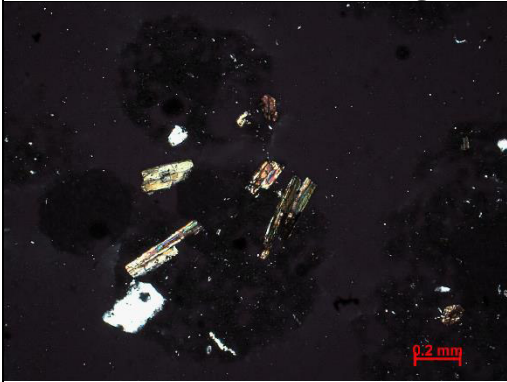
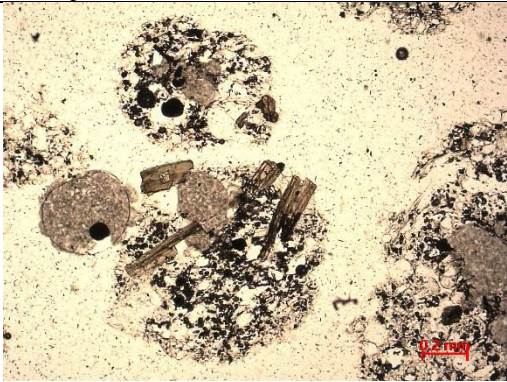
<b>Unidad litológica:</b> Qt Depósitos de la Caldera de San Pedro(Qtsp)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 392594 m Y= 2198517 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-24C	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva, piroclástica.	
<b>Ubicación:</b> Base del flanco Suroeste del volcán Temascalcingo.	
<b>Composición</b>	
Cuarzo, biotita y vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica muy porosa.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Cuarzo y biotita.	
<b>Secundarios:</b> vidrio como matriz.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco, marrón y amarillo.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular y poikilitica.	
<b>Cristalinidad:</b> De hipocristalina a criptocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 3%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 97%
<b>Observaciones:</b> La muestra se tomó en muy cerca del poblado de Santiago Coachochitlán. Se encuentra un banco de materiales profundo dejando al descubierto un depósito de bloques y ceniza donde se recolectó la muestra.	



Tabla M. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-26A.

<b>Unidad litológica:</b> Domos dacíticos de Bañi del Plioceno (Tbd)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 391860 m Y= 2202856 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-26 A	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Riolita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (volcánica).	
<b>Ubicación:</b> La Huerta.	
<b>Composición</b>	
Plagioclasa, cuarzo y vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa y cuarzo.	
<b>Secundarios:</b> Vidrio como matriz.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, blanco y gris.	
<b>Textura:</b> Porfídica e inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 3%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 97%
<b>Observaciones:</b> Banco de materiales la huerta en un depósito de pómez sobre el domo la huerta.	

Tabla N. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-28C Blanco.

<b>Unidad litológica:</b> Plio-Qt Serie inferior del volcán Altamirano: lavas andesítico-dacíticas y depósitos piroclásticos (TQav)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 387586 m Y= 2209044 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-28C Blanco	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva o volcánica.	
<b>Ubicación:</b> Ex hacienda de Solís.	
<b>Composición</b>	
Feldespato, plagioclasa con biotita, hornblenda y piroxeno (augita o enstatita).	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa, cuarzo, biotita.	
<b>Secundarios:</b> Vidrio como matriz.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco y amarillo.	
<b>Textura:</b> Porfídica, cumuloefírica y glomeroporfídica.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 5%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 95%
<b>Observaciones:</b> Rocas que afloran en la base del flanco Este del volcán Altamirano.	

Tabla Ñ. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-28C Negro.

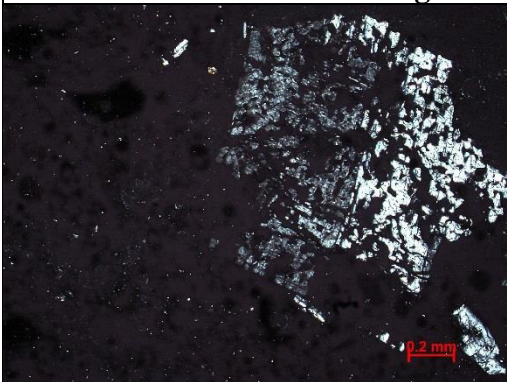
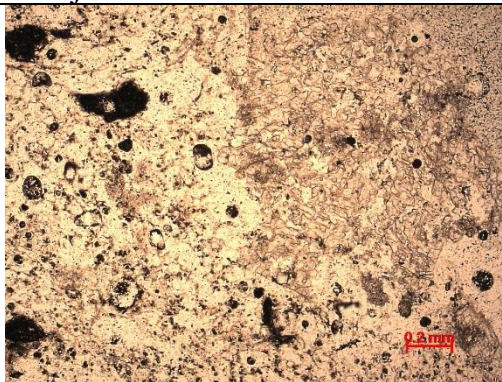
<p><b>Unidad litológica:</b> Plio-Qt Serie inferior del volcán Altamirano: lavas andesítico-dacíticas y depósitos piroclásticos (TQav).  <b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 387586 m Y= 2209044 m</p>	
<p><b>No Sección delgada:</b> Temax-28C Negro</p>	
<p><b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X</p>	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<p><b>Clasificación</b></p>	
<p><b>Nombre de la roca:</b> Dacita.  <b>Origen:</b> Ígnea extrusiva o volcánica.  <b>Ubicación:</b> Ex hacienda de Solís.</p>	
<p><b>Composición</b></p>	
<p>Feldespatos, plagioclasa con biotita, hornblenda y piroxeno (augita o enstatita).</p>	
<p><b>Textura megascópica:</b> Afanítica.</p>	
<p><b>Minerales</b></p>	
<p><b>Primarios:</b> Plagioclasa, cuarzo, biotita.  <b>Secundarios:</b> Vidrio como matriz.</p>	
<p><b>Descripción microscópica</b></p>	
<p><b>Color:</b> Negro, gris, blanco y amarillo.  <b>Textura:</b> Porfídica, cumuloefírica y glomeroporfídica.  <b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.  <b>Forma del cristal:</b> Subhedral.</p>	
<p><b>Porcentaje de cristales:</b> 5%</p>	<p><b>Porcentaje de Matriz:</b> 95%</p>
<p><b>Observaciones:</b> Rocas que afloran en la base del flanco Este del volcán Altamirano.</p>	

Tabla O. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-29.

<p><b>Unidad litológica:</b> Qt Serie superior del volcán Altamirano, bloques de lavas andesíticas-dacíticas y flujo de ceniza, depósitos de caída de pómez e ignimbritas (Qav)</p> <p><b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 384911m Y= 2209134m</p>	
<p><b>No Sección delgada:</b> Temax-29</p>	
<p><b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10XA</p>	
	
<p>Nicoles cruzados</p>	<p>Luz paralela</p>
<p><b>Clasificación</b></p> <p><b>Nombre de la roca:</b> Andesita.  <b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).  <b>Ubicación:</b> Volcán Altamirano.</p>	
<p><b>Composición</b></p> <p>Plagioclasa, piroxeno, biotita, hornblenda y cuarzo.</p>	
<p><b>Textura megascópica:</b> Porfídica.</p>	
<p><b>Minerales</b></p> <p><b>Primarios:</b> Plagioclasa, piroxeno, hornblenda y cuarzo.  <b>Secundarios:</b> Matriz de plagioclasa y vidrio.</p>	
<p><b>Descripción microscópica</b></p> <p><b>Color:</b> Negro, gris, blanco, marrón y amarillo.  <b>Textura:</b> Porfídica, inequigranular.  <b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.  <b>Forma del cristal:</b> Subhedral.</p>	
<p><b>Porcentaje de cristales:</b> 40%</p>	<p><b>Porcentaje de Matriz:</b> 60%</p>
<p><b>Observaciones:</b> Volcán Altamirano de un bloque alterado, con matriz gris oscura a negra y cristales no mayores a .5 cm aprox.</p>	

Tabla P. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-35.


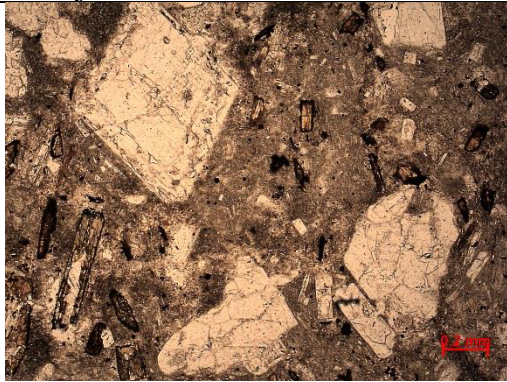
<b>Unidad litológica:</b> Plio-QT Bloques del volcán Temascalcingo, flujos de cenizas y lavas dacíticas porfídicas (TQba)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 397413m Y= 2201210m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-35	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Volcán Temascalcingo.	
<b>Composición</b>	
Grandes maclas de plagioclasas zoneadas, abundante hornblenda, feldespato y biotita.	
<b>Textura megascópica:</b> Porfídica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa, feldespato, biotita, hornblenda y piroxeno.	
<b>Secundarios:</b> Plagioclasa en la matriz y biotita.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco, verde, marrón y amarillo.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 40%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 60%
<b>Observaciones:</b> En curva del flanco Oeste del volcán Temascalcingo subiendo hacia la localidad de San Pedro, junto a caseta meteorológica. Las lavas se observan en tonalidad rosa y presentan fracturas.	

Tabla Q. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-36.

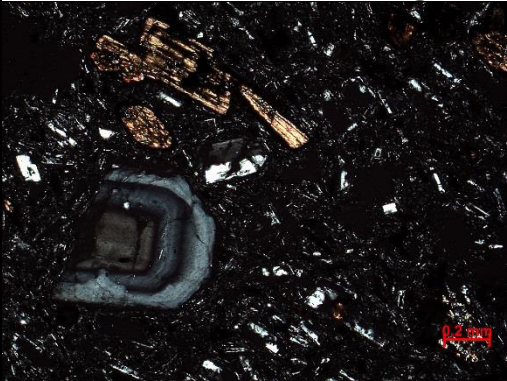
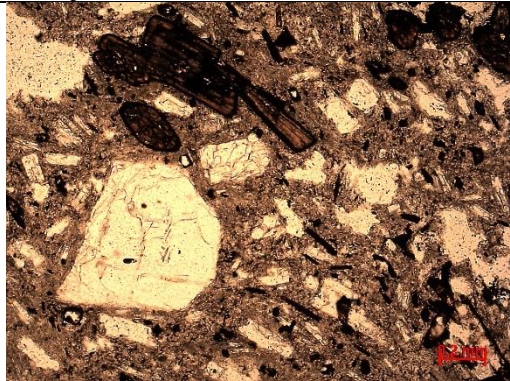
<b>Unidad litológica:</b> Qt Depósitos de la Caldera de San Pedro (Qtsp)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 398695 m Y= 2201494 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-36	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Caldera de San Pedro en volcán Temascalcingo.	
<b>Composición</b>	
Bloques y cenizas de flujo piroclástico con ceniza de vidrio. Plagioclasa, hornblenda, piroxeno y biotita.	
<b>Textura megascópica:</b> Porfídica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa zoneada, hornblenda y biotita.	
<b>Secundarios:</b> Matriz de plagioclasa y vidrio.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco, verde, marrón y amarillo.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 30%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 70%
<b>Observaciones:</b> En pared rosa fracturada del flanco Oeste de la caldera de San Pedro. Se observan bloques y cenizas de flujo piroclástico con ceniza de vidrio debido a una erupción muy violenta en el colapso del domo.	

Tabla R. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-37.


<b>Unidad litológica:</b> Qt Depósitos de la Caldera de San Pedro (Qtsp)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 400850m Y= 2201804m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-37	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Caldera de San Pedro en volcán Temascalcingo.	
<b>Composición</b>	
Lavas oscuras con microlitos de plagioclasa, malas de plagioclasa, matriz de vidrio café y ortopiroxeno.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Maclas de plagioclasa.	
<b>Secundarios:</b> Matriz de plagioclasa y vidrio.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris y blanco.	
<b>Textura:</b> Porfídica, inequigranular y panidiomórfica.	
<b>Cristalinidad:</b> Holocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Euhedral (idiomórfica).	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 20%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 80%
<b>Observaciones:</b> Bloques alterados de lavas negras lajeadas en el cráter de San Pedro, en el flanco derecho de la caldera de San Pedro. Presentan foliación de flujo y exfoliación concéntrica, están en contacto con depósitos lacustres del paleo lago.	

Tabla S. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-38.

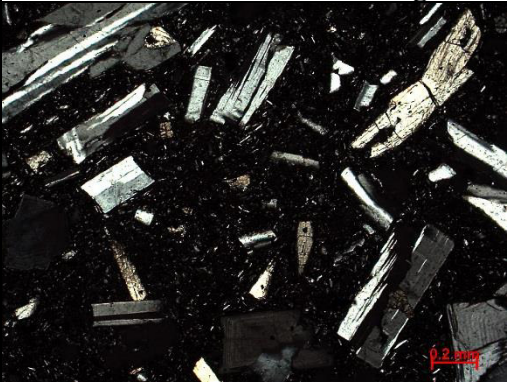

<b>Unidad litológica:</b> Plio-QT Bloques del volcán Temascalcingo, flujos de cenizas y lavas dacíticas porfídicas (TQba)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 403265 m Y= 2201967 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-38	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Flanco Este del volcán Temascalcingo.	
<b>Composición</b>	
Feldespatos, plagioclasa con biotita, hornblenda y piroxeno (augita o enstatita).	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa zoneada, biotita, hornblenda y piroxeno.	
<b>Secundarios:</b> Matriz de microlitos de plagioclasa y vidrio.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco, marrón, fucsia y amarillo.	
<b>Textura:</b> Porfídica, inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 40%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 60%
<b>Observaciones:</b> Lavas lajeadas de capas finas a gruesas, Bandeamiento de flujo e intercaladas con auto brechas, en el flanco oriental del volcán Temascalcingo sobre la bajada a San Mateo.	



Tabla T. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-39.

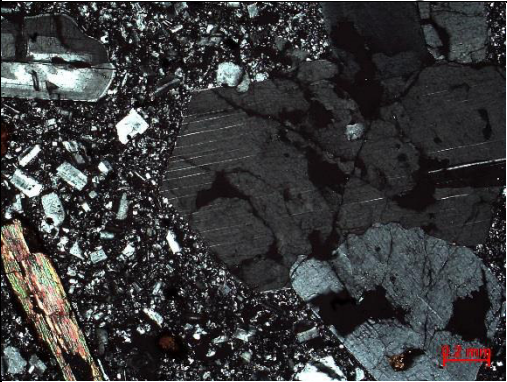
<b>Unidad litológica:</b> Plio-Qt Domo dacítico Santa Lucia (TQsld)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 404824 m Y= 2196761 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-39	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Riolita-Dacita (Riodacita).	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Venta del Aire.	
<b>Composición</b>	
Cuarzo, plagioclasa, hornblenda y biotita.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Cuarzo, maclas de plagioclasa zoneada, hornblenda y biotita.	
<b>Secundarios:</b> Matriz con microlitos de cuarzo y plagioclasa.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco, marrón, fucsia y amarillo.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 30%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 70%
<b>Observaciones:</b> Avalancha de escombros y cenizas por el colapso del domo Santa Lucia al Sureste del volcán Temascalcingo.	

Tabla U. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-40.

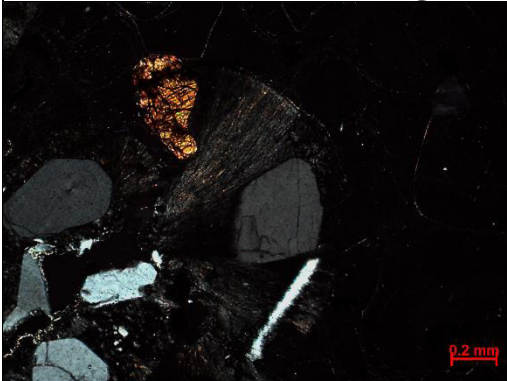
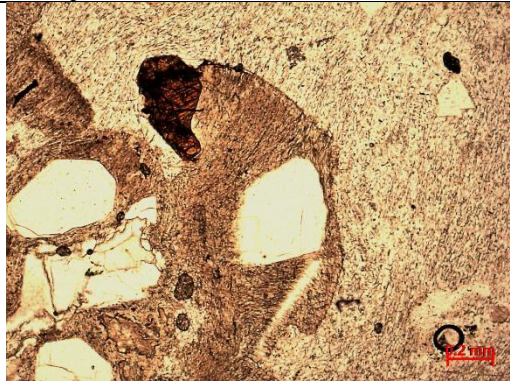
<b>Unidad litológica:</b> Lava andesítica del Plioceno (Tan)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 391988 m Y= 2190992 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-40	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Riolita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Venta del aire.	
<b>Composición</b>	
Cuarzo, biotita, sanidina y vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica porfídica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Cuarzo, sanidina, biotita y vidrio.	
<b>Secundarios:</b> biotita y matriz vítrea.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco, amarillo y marrón.	
<b>Textura:</b> Porfídica, esferulítica, perlítica, glomeroporfídica y poikilítica.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Anhedral (alotromórfica).	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 25%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 75%
<b>Observaciones:</b> Roca rica en sílice compuesta por fenocristales de cuarzo, sanidino y feldespato, con cantidades menores de plagioclasa y biotita, contenidos en una matriz vítrea o microcristalina. Su composición química es la del granito. Se muestra en algunas partes devitrificada, fractura concoidal. El vidrio isotrópico se pone negro. Muestra alteración con óxidos de Fe y Ti.	

Tabla V. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-41.


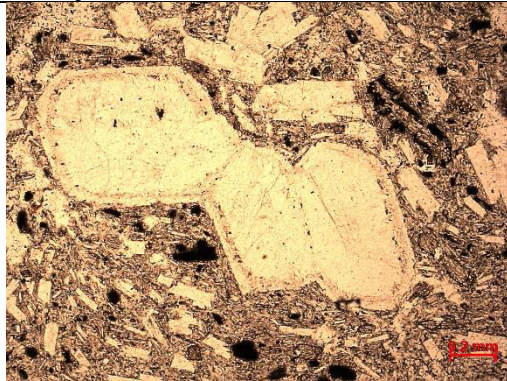
<b>Unidad litológica:</b> Domos dacíticos de Bañí del Plioceno (Tbd)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 393539 m Y= 2192574 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-41	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Mesa del aire.	
<b>Composición</b>	
Maclas de plagioclasa zoneada, cuarzo, biotita, hornblenda, olivino, piroxeno y matriz vítrea con abundante plagioclasa.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica-porfídica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa zoneada, cuarzo, biotita, olivino y piroxeno.	
<b>Secundarios:</b> Matriz vítrea con abundante plagioclasa.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, blanco, gris, marrón, amarillo y fucsia.	
<b>Textura:</b> Porfídica con microfenocristales.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Euhedral (idiomórfica).	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 60%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 40%
<b>Observaciones:</b> Lavas dacíticas, máficas y bandeadas que son cortadas por la falla Venta de Bravo. Proveniente de domos, con plagioclasas zoneadas y fritas, hornblenda oxidada. Muestra con historia compleja en la cámara magmática.	

Tabla W. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-42.


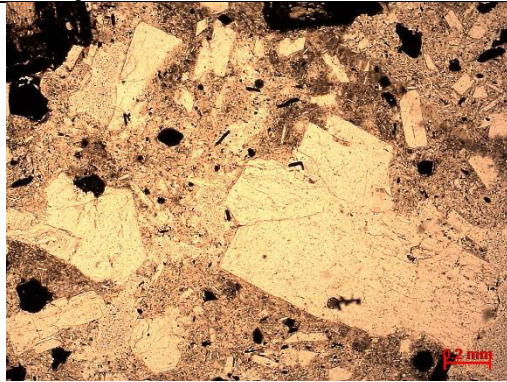
<b>Unidad litológica:</b> Lava andesítica del Plio-Qt (TQan)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 395146 m Y= 2195598 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-42	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Andesita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Localidad de Pastores.	
<b>Composición</b>	
Maclas de plagioclasa zoneada, hornblenda y piroxeno.	
<b>Textura megascópica:</b> Fanerítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Maclas de plagioclasa zoneada, hornblenda y piroxeno.	
<b>Secundarios:</b> Plagioclasas y vidrio volcánico como matriz.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris y blanco.	
<b>Textura:</b> Porfídica con microfenocristales en la matriz.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Euhedral (idiomórfica).	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 45%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 55%
<b>Observaciones:</b> Domo andesítico sobre la falla pastores en la bajada de la autopista.	

Tabla X. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-43.


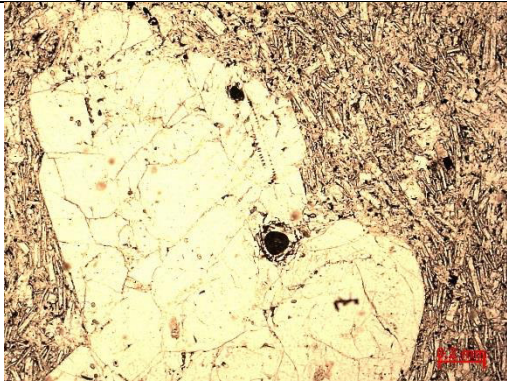
<b>Unidad litológica:</b> Domos Dacíticos de Bañí del Plioceno (Tbd)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X=392820 m Y= 2195948 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-43	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Dacita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva (Volcánica).	
<b>Ubicación:</b> Falla Pastores.	
<b>Composición</b>	
Lavas dacíticas con fenocristales de plagioclasa y glomerocristales, hornblenda oxidada, matriz de plagioclasa y vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa.	
<b>Secundarios:</b> Plagioclasas y vidrio volcánico como matriz.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris y blanco.	
<b>Textura:</b> Porfídica con microfenocristales en la matriz.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Euhedral (idiomórfica).	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 40%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 60%
<b>Observaciones:</b> Domo dacítico en falla Pastores, sobre la bajada de la autopista.	

Tabla Y. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-44 A.

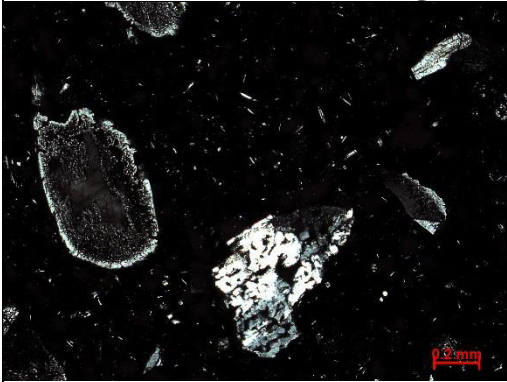
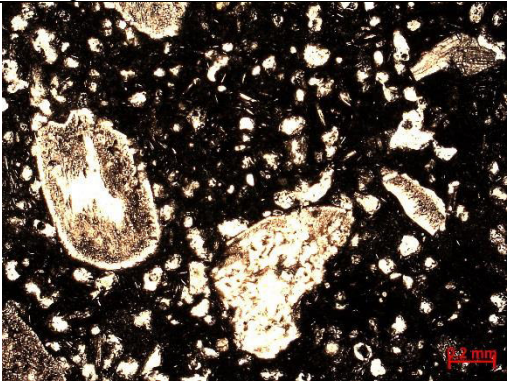
<b>Unidad litológica:</b> Lava andesítica del Plio-Qt (TQan)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 398845 m Y= 2195607 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-44 A	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Andesita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva o volcánica.	
<b>Ubicación:</b> Localidad de Pastores.	
<b>Composición</b>	
Plagioclasa, biotita, hornblenda y cuarzo.	
<b>Textura megascópica:</b> Porfídica, escoriácea.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa, biotita, hornblenda y cuarzo.	
<b>Secundarios:</b> Matriz de plagioclasa y vidrio.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco y amarillo.	
<b>Textura:</b> Porfídica equigranular y glomeroporfídica.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 30%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 70%
<b>Observaciones:</b> Escoria, andesita vítrea, cono cinerítico junto al río Lerma y al pie de la falla pastores.	

Tabla Z. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-44 B.

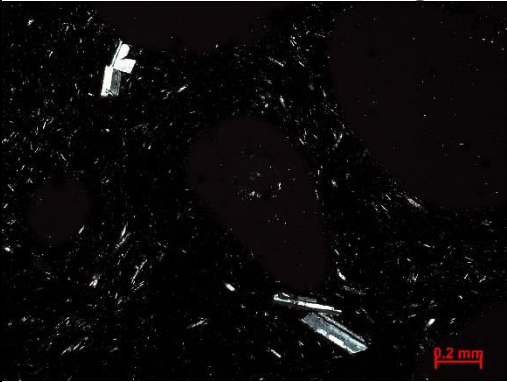
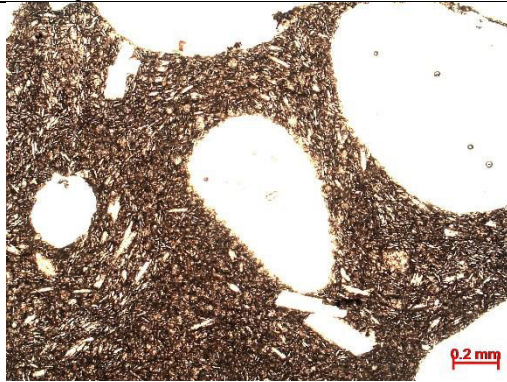
<b>Unidad litológica:</b> Lava andesítica del Plio-Qt (TQan)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 398845 m Y= 2195607 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-44B	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Andesita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva o volcánica.	
<b>Ubicación:</b> Localidad de Pastores.	
<b>Composición</b>	
Puentes con plagioclasa y matriz de microlitos de plagioclasa y vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Porosa, vesicular afanítica, escoriácea.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Maclas de plagioclasa.	
<b>Secundarios:</b> Microlitos de plagioclasa y vidrio en la matriz.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris y blanco.	
<b>Textura:</b> Porfídica equigranular y glomeroporfídica.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 20%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 80%
<b>Observaciones:</b> Cono cinerítico junto al río Lerma y al pie de la falla pastores.	

Tabla AA. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-45.



<b>Unidad litológica:</b> Depósitos fluvio-lacustres del Plio-Qt (TQal)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 396046 m Y= 2196865 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-45	
<b>Fotomicrografía:</b> Con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Riolita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva o volcánica.	
<b>Ubicación:</b> Localidad de Pastores.	
<b>Composición</b>	
Cuarzo, plagioclasa, biotita y matriz de vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Flujo de bloques y cenizas, piroclástica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Cuarzo y plagioclasa.	
<b>Secundarios:</b> Biotita y matriz de vidrio.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco y ocre.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular y poikilítica.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 25%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 75%
<b>Observaciones:</b> Flujo de bloques y cenizas con biotitas (hexagonal) y hornblendas, cuarzo proveniente probablemente del volcán Temascalcingo.	



Tabla BB. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-46.

<b>Unidad litológica:</b> Lava andesítica del Plio-Qt (TQan)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 397403m Y= 2196310m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-46	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Riolita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva o volcánica.	
<b>Ubicación:</b> Pastores.	
<b>Composición</b>	
Cuarzo, plagioclasa, biotita y matriz de vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Flujo de bloques y cenizas, piroclástica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Cuarzo y plagioclasa.	
<b>Secundarios:</b> Biotita y matriz de vidrio.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco y ocre.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 30%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 70%
<b>Observaciones:</b> Bloques y cenizas más distales con más matriz que bloques, se encuentran rellenos de arcillas, dique clástico, de lodo con clastos. Sismita, producto de la licuefacción a causa de grandes terremotos.	

Tabla CC. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-47B.

<b>Unidad litológica:</b> Lava andesítica Plio-Qt (TQan)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X= 397427m Y= 2196369 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-47B	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Riolita-Dacita (Riodacita).	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva o volcánica.	
<b>Ubicación:</b> Localidad de Pastores.	
<b>Composición</b>	
Plagioclasa, cuarzo, biotita y hornblenda.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa, cuarzo y biotita.	
<b>Secundarios:</b> Hornblenda.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris, blanco y ocre.	
<b>Textura:</b> Porfídica.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 60%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 40%
<b>Observaciones:</b> Sobre paleosuelo tefra depósito de pómez con líticos de andesita, pómez con biotita y plagioclasa.	

Tabla DD. Que muestra la unidad litológica, ubicación, descripción petrográfica y observaciones de la muestra Temax-48.

<b>Unidad litológica:</b> Lava andesita del Plio-Qt (TQan)	
<b>Coordenadas UTM WGS84:</b> X=397486 m Y=2196469 m	
<b>No Sección delgada:</b> Temax-48	
<b>Fotomicrografía:</b> con objetivo 5x10X	
	
Nicoles cruzados	Luz paralela
<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre de la roca:</b> Andesita.	
<b>Origen:</b> Ígnea extrusiva o volcánica.	
<b>Ubicación:</b> Localidad de Pastores.	
<b>Composición</b>	
Plagioclasa, matriz con microlitos de plagioclasa y vidrio.	
<b>Textura megascópica:</b> Afanítica.	
<b>Minerales</b>	
<b>Primarios:</b> Plagioclasa.	
<b>Secundarios:</b> Matriz con microlitos de plagioclasa y vidrio.	
<b>Descripción microscópica</b>	
<b>Color:</b> Negro, gris y blanco.	
<b>Textura:</b> Porfídica inequigranular.	
<b>Cristalinidad:</b> Hipocristalina.	
<b>Forma del cristal:</b> Subhedral.	
<b>Porcentaje de cristales:</b> 10%	<b>Porcentaje de Matriz:</b> 90%
<b>Observaciones:</b> En la bajada junto a la cascada del río Lerma.	

## RESULTADOS QUÍMICOS

23 muestras se analizaron en el Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología de la UNAM mediante la técnica de Fluorescencia de rayos X para la obtención de elementos mayores y un paquete de elementos traza.

Se empleó un espectrómetro secuencial de fluorescencia de rayos X RIGAKU ZSX Primus II, calibrado con muestras internacionales de referencia geoquímica, cuyas características y técnica analítica se explican en (*Aguirre-Díaz y Morton-Bermea 2018*).

El análisis reporta los resultados en pesos por ciento con el formato clásico de componentes de óxidos para los elementos mayores, dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de hierro III ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), óxido de manganeso II ( $\text{MnO}$ ), óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ), óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), y pentóxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). La diferencia respecto al 100% en el total, se considera como Pérdida por Calcinación (P x C) y representa los componentes volátiles, como el  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  y el  $\text{CO}_2$ . Los elementos se reportan en partes por millón (ppm), de cada elemento traza, analizándose Rubidio (Rb), estroncio (Sr), bario (Ba), Itrio (Y), circonio (Zr), niobio (Nb), vanadio (V), cromo (Cr), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), torio (Th) y plomo (Pb). A continuación, se muestran y describen los resultados obtenidos.

Tabla EE-1. Resultados químicos del primer análisis químico.

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> t	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P x C	Suma
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
TEMAX-6 GAD	66.88	0.6	16.035	4.006	0.072	1.746	3.872	4.283	2.305	0.145	0.2	100.144
TEMAX-12 GAD	66.348	0.641	15.538	3.956	0.075	1.341	3.534	3.767	3.287	0.156	1.49	100.133
TEMAX-18 GAD	69.24	0.539	15.358	3.503	0.063	0.632	2.294	3.926	3.529	0.121	0.97	100.175
TEMAX-33 GAD	66.106	0.745	16.024	4.384	0.076	1.532	3.711	4.063	2.836	0.13	0.62	100.227
TEMAX-35	64.503	0.635	17.38	4.261	0.063	0.806	3.688	3.952	2.164	0.069	2.66	100.181
TEMAX-36	62.963	0.709	19.544	4.454	0.077	0.501	3.01	3.774	1.289	0.147	3.76	100.228
TEMAX-37	65.408	0.688	16.118	4.234	0.08	1.969	4.279	4.165	2.355	0.162	0.58	100.038
TEMAX-38	64.095	0.692	17.281	4.313	0.074	2.181	4.564	4.338	1.812	0.128	0.8	100.278
TEMAX-39	69.999	0.433	15.158	2.769	0.069	1.141	3.105	4.11	3.034	0.123	0.24	100.181
TEMAX-40	74.414	0.16	11.548	2.009	0.031	0.062	0.548	2.41	6.037	0.029	2.97	100.218
TEMAX-43	65.057	0.686	16.997	4.289	0.081	1.923	4.649	4.11	1.929	0.166	0.34	100.227
TEMAX-44a	57.521	1.206	16.557	7.009	0.122	4.373	6.445	3.605	1.678	0.31	1.43	100.256
TEMAX-44b	59.527	1.159	15.645	6.573	0.132	4.238	6.273	3.551	1.822	0.374	0.92	100.214
TEMAX-45	70.35	0.308	14.433	2.176	0.053	0.66	1.961	3.648	4.038	0.091	2.5	100.218
TEMAX-46	70.639	0.304	14.506	2.115	0.053	0.652	2.073	3.452	4.103	0.093	2.11	100.10
TEMAX-47b	66.875	0.402	16.113	3.029	0.064	0.72	2.403	3.213	3.097	0.099	4.13	100.145
TEMAX-48	58.903	1.142	15.977	6.727	0.112	4.043	6.106	3.373	2.286	0.309	1.28	100.258

Dr. Gerardo Aguirre  
Centro de Geociencias, Juriquilla. UNAM  
Presente.

A continuación me permito presentarle los resultados del análisis químico Cuantitativo por Fluorescencia de rayos X de elementos mayores y traza de 16 muestras enviadas para su estudio:

Las muestras se prepararon en base seca y se fundieron con Borato-Tetraborato de Litio (8 g. de fundente y 0.4 g de muestra). La Pérdida por Calcinación (P x C) se determina calcinando la muestra a 950°C durante 1 hora

Tabla EE-2. Resultados químicos del primer análisis químico.


	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TEMAX-6 GAD	58	417	585	18	149	4	49	26	8	11	9	54	7	10
TEMAX-12 GAD	84	348	705	28	251	9	64	<3	8	9	7	65	11	12
TEMAX-18 GAD	99	262	772	30	245	10	45	7	7	10	8	58	13	14
TEMAX-33 GAD	74	369	725	28	242	9	81	19	9	9	12	81	12	12
TEMAX-35	48	483	594	17	151	3	61	46	10	12	10	77	6	9
TEMAX-36	9	485	862	10	197	3	50	28	7	11	10	88	7	12
TEMAX-37	64	402	631	23	182	6	70	92	9	19	13	59	8	12
TEMAX-38	28	459	611	14	164	4	70	41	9	16	11	54	7	9
TEMAX-39	78	559	557	20	129	3	43	52	7	11	9	37	10	12
TEMAX-40	305	42	368	64	260	20	<5	4	3	18	8	81	21	20
TEMAX-43	32	559	511	15	158	3	62	48	9	12	7	61	6	8
TEMAX-44a	41	406	611	25	274	13	134	245	21	28	17	84	8	10
TEMAX-44b	44	390	634	26	263	13	126	172	21	25	13	81	7	10
TEMAX-45	117	256	689	24	128	8	28	23	5	10	4	45	14	17
TEMAX-46	113	268	736	22	125	7	29	103	5	10	4	42	11	18
TEMAX-47b	98	307	610	23	141	7	43	27	6	12	7	54	12	16
TEMAX-48	50	401	629	27	267	13	125	139	21	24	14	82	9	11

En el caso del análisis de elementos traza, se preparó una tableta con 5 g de muestra y 1.6 g de cera-C en micropolvo

El análisis fue realizado en un espectrómetro secuencial de Fluorescencia de Rayos X RIGAKU ZSX Primus II, calibrado con muestras Internacionales de Referencia Geoquímica.

Sin más por el momento quedo de usted,

Atentamente



Q. Patricia Girón García  
Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X

Ccp. Dr. José Luis Arce Saldaña. Jefe del Departamento de Geoquímica.

Tabla FF-1. Resultados químicos del segundo análisis químico.


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	INSTITUTO DE GEOLOGIA APARTADO PO-AL 70-296 CIUDAD UNIVERSITARIA 04510 MEXICO, D. F.													
	Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía Fluorescencia de rayos-X 5 de Octubre de 2017 LFRX16717													
Dr. Gerardo Aguirre Centro de Geociencias, Juriquilla. UNAM Presente.														
A continuación me permito presentarle los resultados del análisis químico Cuantitativo por Fluorescencia de rayos X de elementos mayores y traza de 6 muestras enviadas para su estudio:														
	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>	P x C	Suma		
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
TEMAX 21-B	57.88	0.573	20.318	4.516	0.051	0.846	2.42	2.049	1.968	0.093	9.4	100.114		
TEMAX-24-C	62.208	0.567	18.027	3.807	0.071	1.858	5.405	4.447	1.632	0.12	1.97	100.112		
TEMAX-26-A	67.214	0.348	15.624	2.76	0.044	0.433	1.788	2.723	3.93	0.094	5.26	100.218		
TEMAX 28-C BLANCO	64.448	0.781	15.682	4.338	0.078	1.793	4.073	3.537	3.227	0.211	1.98	100.148		
TEMAX-28-C NEGRO	64.05	0.781	16.165	4.552	0.083	1.907	4.371	3.687	2.937	0.205	1.53	100.268		
TEMAX-29	61.834	0.862	18.142	5.072	0.099	2.176	4.964	3.938	1.912	0.225	0.93	100.154		
Las muestras se prepararon en base seca y se fundieron con Borato- Tetraborato de Litio (8 g. de fundente y 0.4 g de muestra). La Pérdida por Calcinación (P x C) se determina calcinando la muestra a 950°C durante 1 hora														
	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TEMAX 21-B	66	263	1071	40	232	10	47	13	7	16	17	64	10	13
TEMAX-24-C	34	697	572	13	126	<1	57	77	8	12	5	50	3	10
TEMAX-26-A	115	205	745	34	261	11	24	<3	5	8	6	55	17	17
TEMAX 28-C BLANCO	76	355	839	24	224	8	49	18	8	9	6	50	12	10
TEMAX-28-C NEGRO	70	396	798	23	221	8	65	86	10	11	8	58	10	9
TEMAX-29	27	459	904	19	232	8	75	47	10	11	9	65	11	12

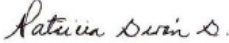
Tabla FF-2. Resultados químicos del segundo análisis químico.

En el caso del análisis de elementos traza, se preparó una tableta con 5 g de muestra y 1.6 g de cera-C en micropolvo

El análisis fue realizado en un espectrómetro secuencial de Fluorescencia de Rayos X *RIGAKU ZSX Primus II*, calibrado con muestras Internacionales de Referencia Geoquímica.

Sin más por el momento quedo de usted,

A t e n t a m e n t e



---

Q. Patricia Girón García  
Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X

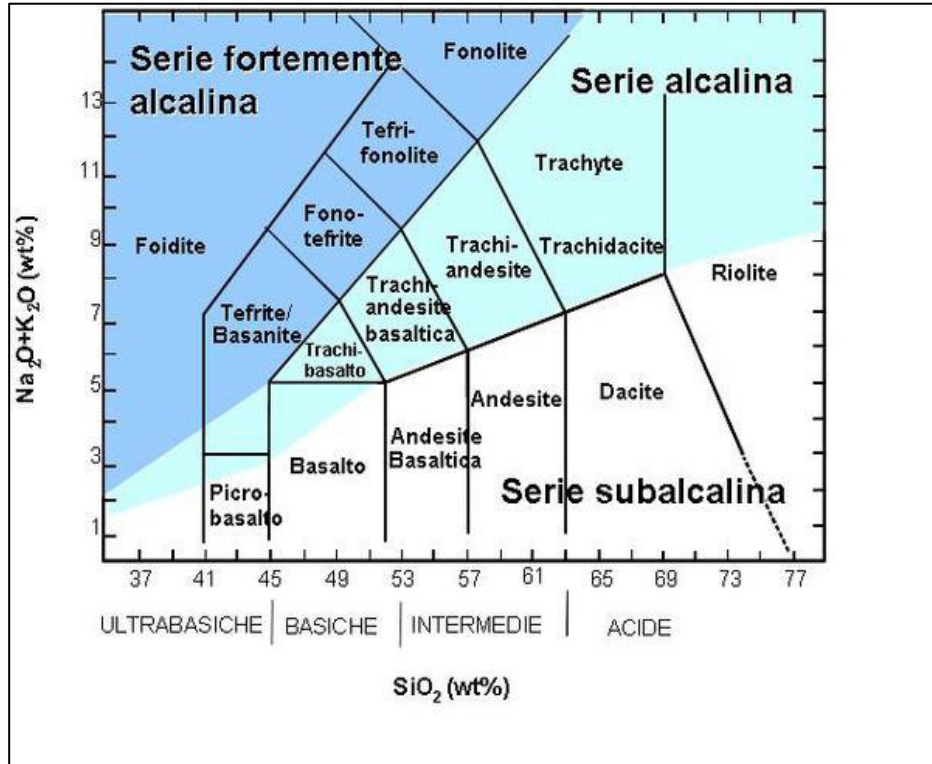
Ccp. Dr. José Luis Arce Saldaña. Jefe del Departamento de Geoquímica.

Con los resultados de los análisis químicos, se hacen las siguientes descripciones:

1) La clasificación de las rocas utilizando el diagrama Total Álcalis Silica (TAS) en donde se analiza la cantidad de silicatos ( $\text{SiO}_2$ ) en proporción a la suma de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) y sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) de (*Le Bas et al 1986*), para determinar qué tipo de roca es en base a su composición química, tales como basalto, andesita, dacita, riolita.



Diagrama I. Diagrama TAS.



Mediante este método se puede establecer la composición mineral con mayor precisión y determinar mejor su procedencia, pudiendo ser muy alcalina, alcalina o subalcalina. No obstante, para poder ser utilizado correctamente se deben eliminar antes los volátiles que corresponden principalmente a los contenidos de H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

Para comprender el diagrama TAS (Total Alkali Silica), con la clasificación química de (*Le Bas et al. 1986*) para las rocas volcánicas, se deben observar las separaciones coloreadas, que corresponden a las series alcalinas o muy alcalinas (rocas sálicas, ricas en SiO<sub>2</sub>) o no coloreadas, que pertenecen a las series toleíticas y a las calcoalcalinas. Esto permite discernir y catalogar el volcán o volcanes que se esté analizando y poder entender su ambiente de formación, qué grado de mezcolanza padeció (si la hubo) entre el fundido juvenil y las rocas antiguas de todo tipo o la

profundidad de origen y hasta la velocidad de ascenso. Está basado en valores químicos.

Algunos matices de los tipos de volcanes son los siguientes:

1) Serie fuertemente alcalina;

Se les denomina también ultramáficos o ultrabásicos y proceden de grandes profundidades, generalmente situados encima de "puntos calientes", como es el caso de Canarias, Reunión o Hawaii. Pero no todos esos "puntos calientes" son iguales, lo que hace que sus compuestos difieran.

2) Serie alcalina;

Proviene de ambientes de menor profundidad en los que la alcalinidad, aun siendo importante, no es tan acusada. Algunos volcanes isleños, de sectores de rift o incluso intraplaca pertenecen a este grupo. Calatrava, Girona (España), Eifel (Alemania) o Auvergne (Francia), son algunas zonas volcánicas de rift con estas características en Europa, aunque los hay por todo el mundo derivados de fisuras que se llevan a cabo de forma circunstancial por fracturas ocasionales.

3) Serie toleítica;

Suelen darse en las dorsales oceánicas, donde la resistencia es escasa y debido a ello los magmas proceden de lugares poco profundos, con fundidos ricos en hierro y magnesio (sobre todo) y pobres en elementos alcalinos. No obstante, pueden producirse también en las plataformas continentales, aunque es raro, como su nombre bien indica (procede de la zona alemana de Tholey).

4) Series Calcoalcalinas;

Es la serie más compleja de todas y produce los volcanes de mayor explosividad que hay en el planeta (Vesubio, St. Helens, Centroamérica y

Sudamérica, etc.). Se ocasionan en lugares de subducción entre placas (oceánica y continental), donde los magmas proceden tanto de la astenósfera más superficial (alcalinos), como por la formación de fundidos en el interior del macizo rocoso antiguo. En este caso los magmas son mixtos con una variedad notable entre unos u otros volcanes, dependen del entorno o ambiente rocoso del que derivan. Este tipo de volcanes suelen estar muy hidratados por las aguas marinas, lo que implica un mayor porcentaje de gases en disolución, que ocasionan enormes columnas eruptivas por desgasificación inicial del recinto en su 1ª fase de actividad y, al mismo tiempo, una mayor potencialidad explosiva derivada de la presión que los gases ejercen en el interior de la corteza.

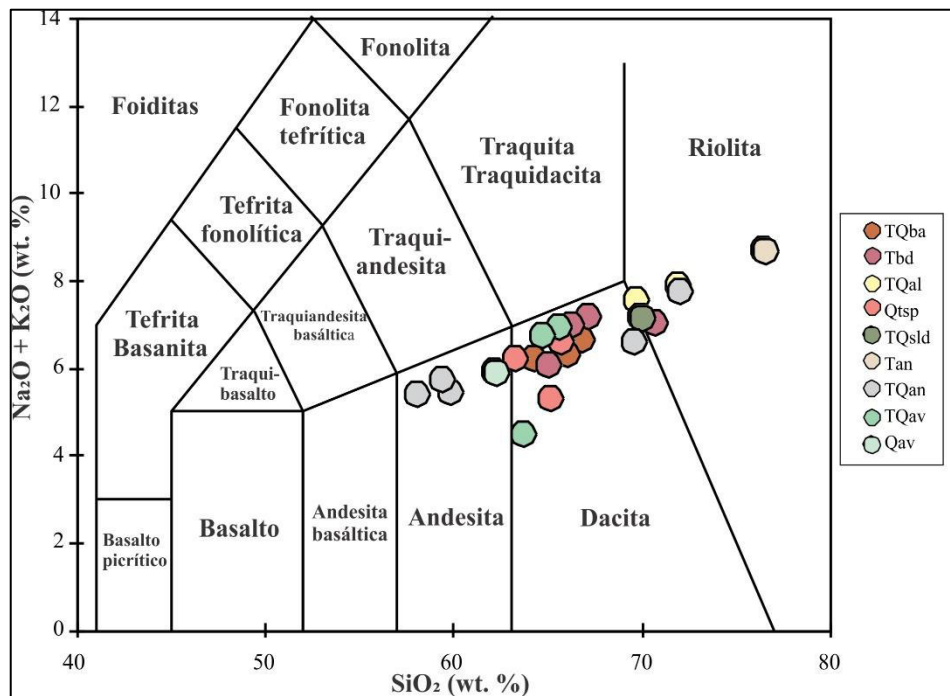
En la tabla GG, se pueden observar los datos que fueron utilizados para realizar el diagrama TAS, de las 23 muestras correspondientes a; Temax-6, Temax-12, Temax-18, Temax-33, Temax -21B, Temax-24C, Temax-26A, Temax-28C B, Temax-28C N, Temax-29, Temax-35, Temax-36, Temax-37, Temax-38, Temax-39, Temax-40, Temax-43, Temax-44A, Temax-44B, Temax-45, Temax-46, Temax-47B y Temax-48, su porcentaje de SiO<sub>2</sub>, porcentaje de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O, la unidad geológica a la que corresponden y el tipo de roca, de acuerdo a la clasificación TAS.

Tabla GG. Resultados al utilizar el método TAS.

<b>Total Alkali Silica (TAS)</b>					
<b>Unidad</b>	<b>Muestra</b>	<b>SiO<sub>2</sub> (wt %)</b>	<b>Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (wt %)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Roca</b>
TQba	TEMAX-6	67	7	Shiño	DACITA
Tbd	TEMAX-12	67	7	Domo palo ancho	DACITA
TQal	TEMAX-18	70	8	Mesa grande	RIOLITA
Tbd	TEMAX-33	66	7	Domo central	DACITA
TQba	TEMAX-35	66	6	Temascalcingo	DACITA
Qtsp	TEMAX-36	65	5	Temascalcingo	DACITA
Qtsp	TEMAX-37	66	7	Temascalcingo	DACITA
TQba	TEMAX-38	64	6	Temascalcingo	DACITA
TQsl	TEMAX-39	70	7	Santa Lucia	RIODACITA
Tan	TEMAX-40	77	9	Venta del aire	RIOLITA
Tbd	TEMAX-43	65	6	Falla Pastores	DACITA
TQan	TEMAX-44a	58	5	Pastores	ANDESITA
TQan	TEMAX-44b	60	5	Pastores	ANDESITA
TQal	TEMAX-45	72	8	Pastores	RIOLITA
TQan	TEMAX-46	72	8	Pastores	RIOLITA
TQan	TEMAX-47b	70	7	Pastores	RIODACITA
TQan	TEMAX-48	60	6	Pastores	ANDESITA
TQav	TEMAX 21-B	64	4	W del lago Juanic	DACITA
Qtsp	TEMAX-24-C	63	6	El rincón	DACITA
Tbd	TEMAX-26-A	71	7	Domo la huerta	RIOLITA
TQav	TEMAX 28-C B	66	7	Solis	DACITA
TQav	TEMAX-28-C N	65	7	Solis	DACITA
Qav	TEMAX-29	62	6	Volcán Altamirano	ANDESITA

El diagrama de clasificación TAS compara la cantidad de dióxido de sodio Na<sub>2</sub>O más óxido de potasio K<sub>2</sub>O, contra la cantidad de dióxido de sílice SiO<sub>2</sub> de cada muestra analizada. Con los resultados químicos se pueden observar los siguientes resultados en el diagrama II.

Diagrama II. Diagrama de clasificación TAS para muestras del graben de Acambay. La leyenda corresponde con las unidades del mapa geológico.



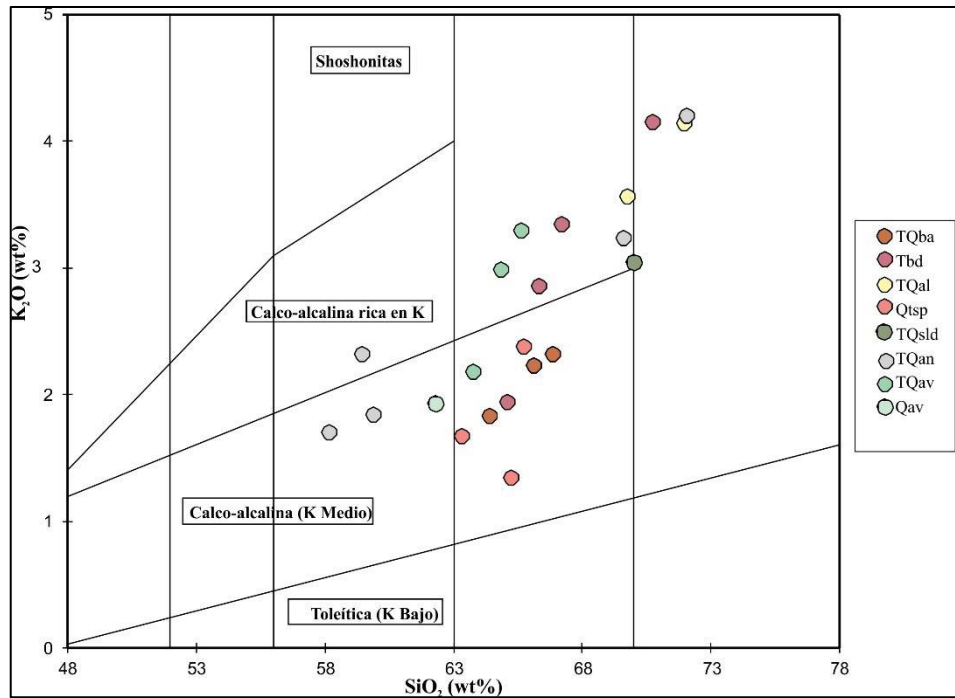
En el diagrama anterior, se puede observar que las rocas dominantes del graben de Acambay corresponden a andesitas, dacitas y riolitas, que se encuentran en la zona de la serie subcalcina, de rocas intermedias a ácidas, con un origen calcoalcalino. Es decir, tiene origen en zonas de subducción entre placas (oceánica y continental), donde los magmas proceden tanto de la astenósfera más superficial (alcalinos), como por la formación de fundidos en el interior del macizo rocoso antiguo (Gill, 1981; Wilson, 1989).

La clasificación de las rocas en base a su contenido de potasio, utilizando la clasificación de (Peccerillo y Taylor 1976) y el diagrama  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  se muestra en la Tabla HH y Diagrama III.

Tabla HH. Resultados del método Peccerillo y Taylor.

<b>Datos del diagrama Peccerillo and Taylor</b>					
<b>Unidad</b>	<b>Muestra</b>	<b>SiO2 (wt. %)</b>	<b>K2O (wt. %)</b>	<b>Serie</b>	<b>Potasio (K)</b>
TQba	TEMAX-6	66.9	2.31	Calcoalcalina	Medio
Tbd	TEMAX-12	67.3	3.33	Calcoalina rica en K	Alto
TQal	TEMAX-18	69.8	3.56	Calcoalina rica en K	Alto
Tbd	TEMAX-33	66.4	2.85	Calcoalina rica en K	Alto
TQba	TEMAX-35	66.1	2.22	Calcoalcalina	Medio
Qtsp	TEMAX-36	65.3	1.34	Calcoalcalina	Medio
Qtsp	TEMAX-37	65.8	2.37	Calcoalcalina	Medio
TQba	TEMAX-38	64.4	1.82	Calcoalcalina	Medio
TQsld	TEMAX-39	70.0	3.04	Calcoalina rica en K	Alto
Tan	TEMAX-40	76.5	6.21	Shoshonítica	No
Tbd	TEMAX-43	65.1	1.93	Calcoalcalina	Medio
TQan	TEMAX-44a	58.2	1.70	Calcoalcalina	Medio
TQan	TEMAX-44b	60.0	1.83	Calcoalcalina	Medio
TQal	TEMAX-45	72.0	4.13	Calcoalina rica en K	Alto
TQan	TEMAX-46	72.1	4.19	Calcoalina rica en K	Alto
TQan	TEMAX-47b	69.7	3.23	Calcoalina rica en K	Alto
TQan	TEMAX-48	59.5	2.31	Calcoalina rica en K	Alto
TQav	TEMAX 21-B	63.8	2.17	Calcoalcalina	Medio
Qtsp	TEMAX-24-C	63.4	1.66	Calcoalcalina	Medio
Tbd	TEMAX-26-A	70.8	4.14	Calcoalina rica en K	Alto
TQav	TEMAX 28-C B	65.7	3.29	Calcoalina rica en K	Alto
TQav	TEMAX-28-C N	64.9	2.97	Calcoalina rica en K	Alto
Qav	TEMAX-29	62.3	1.93	Calcoalcalina	Medio

Diagrama III. Clasificación de (Peccerillo y Taylor 1976) para muestras del graben de Acambay. La Leyenda corresponde con las unidades del mapa geológico.



3) Los patrones geoquímicos que se pueden deducir de diagramas tipo Harker ( $SiO_2$ -componente) son útiles para definir similitudes o diferencias entre grupos de roca, así como tendencias evolutivas de los magmas que formaron estas rocas (Wilson, 1979). En los diagramas IV, V y VI se muestran estas variaciones de componentes respecto a sílica para las rocas del área de estudio.

Diagrama IV. Diagramas Harker para  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

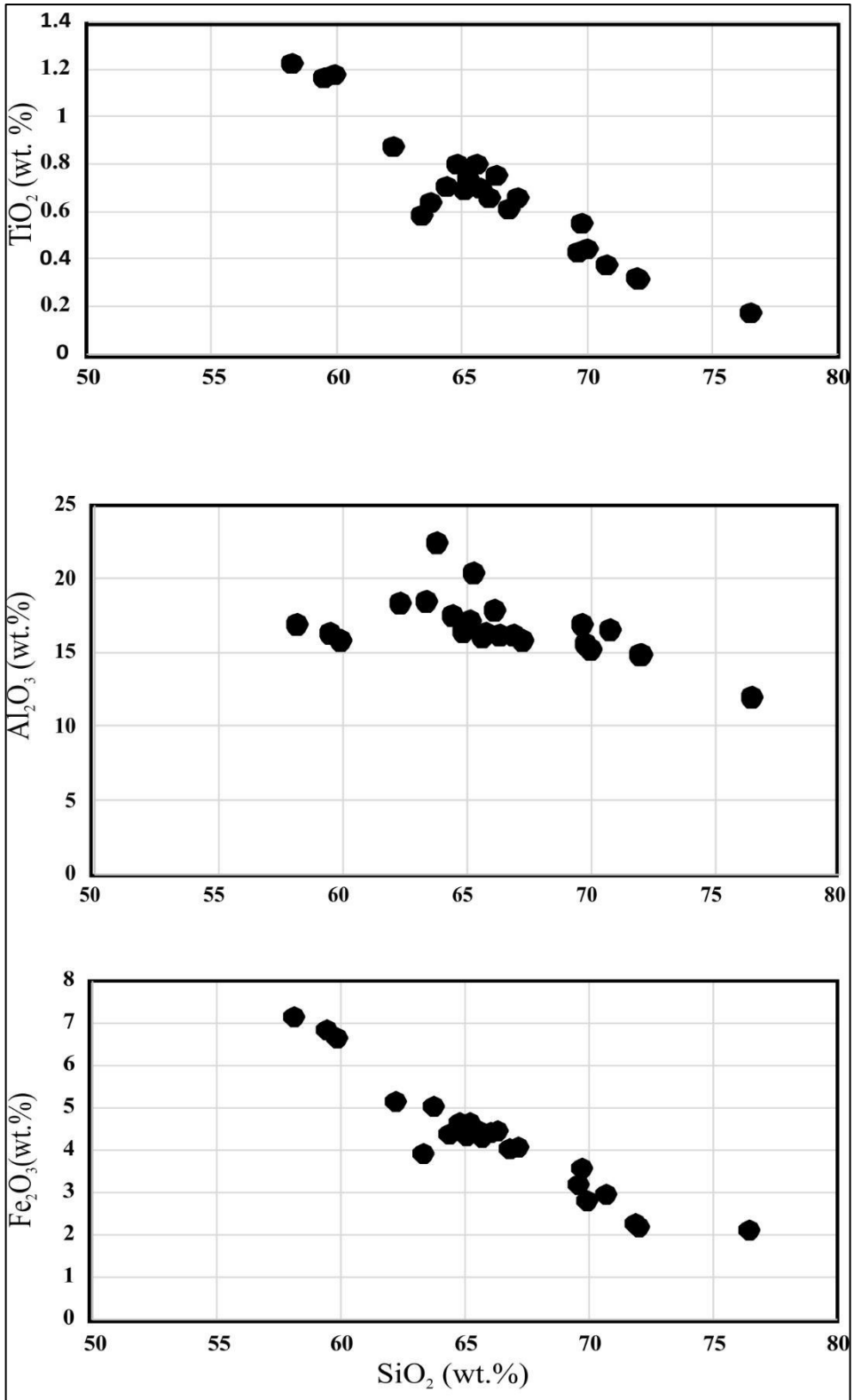




Diagrama V. Diagramas Harker para MnO, MgO y CaO.

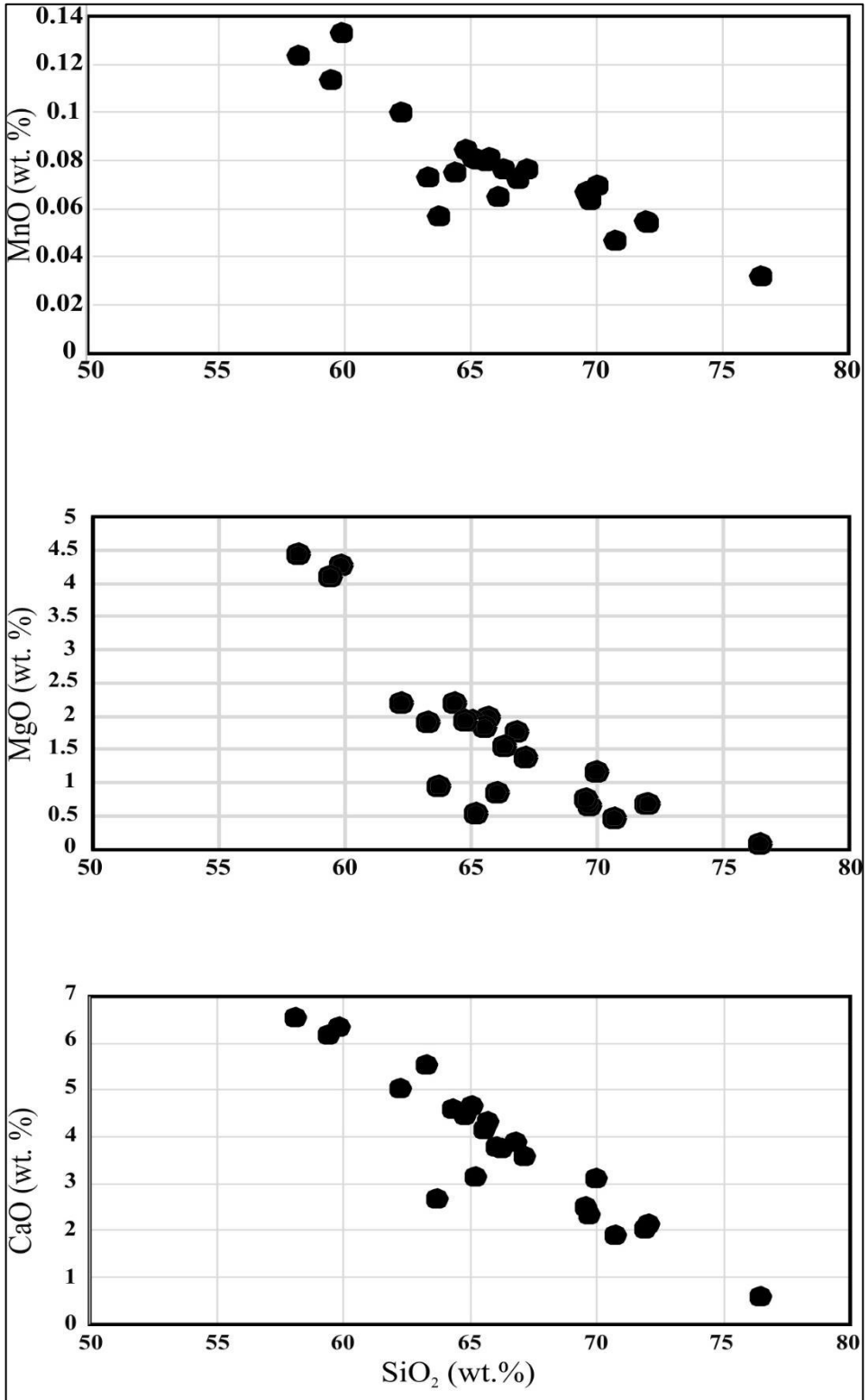
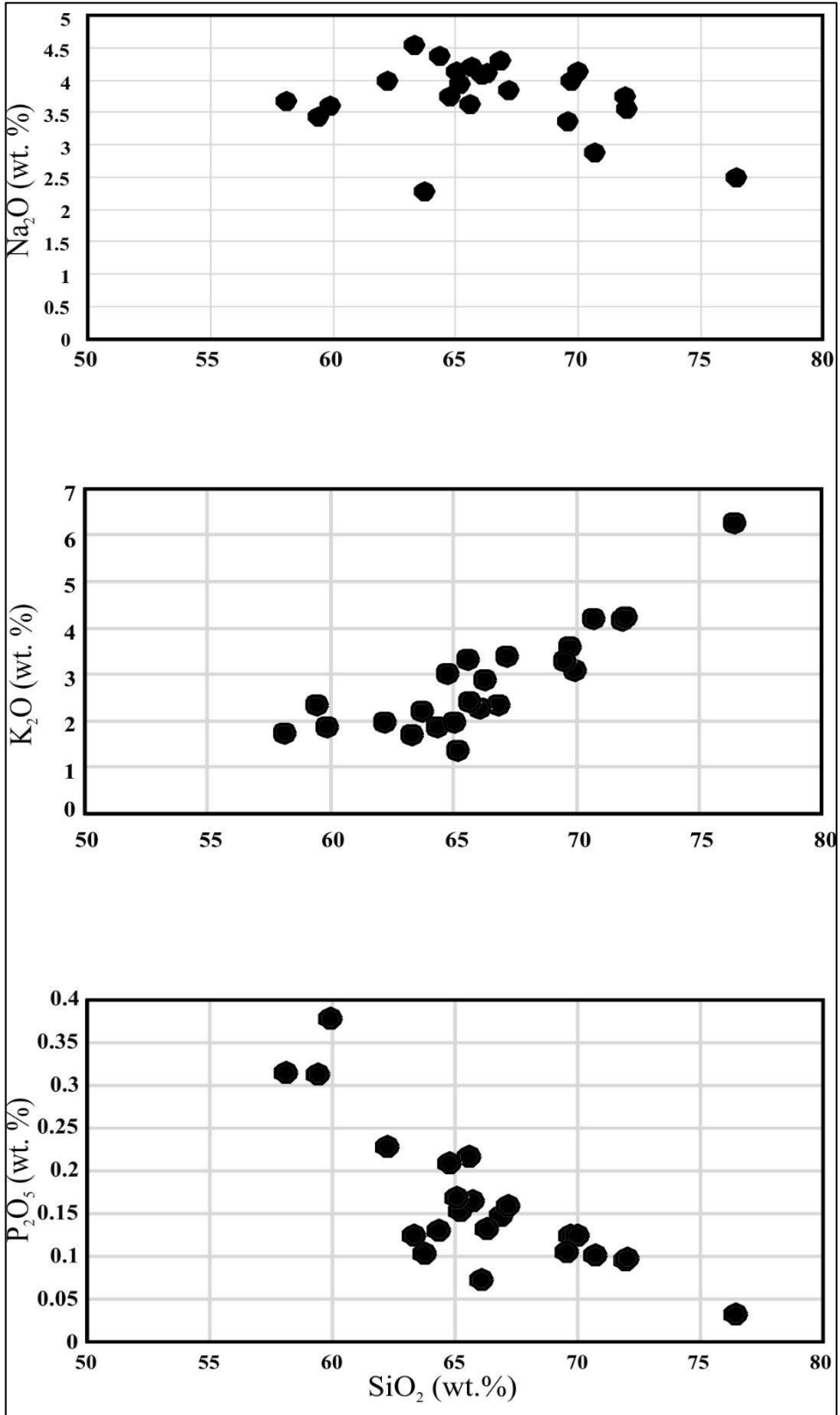


Diagrama VI. Diagramas Harker para  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$



Para  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{CaO}$  se observa una tendencia negativa con respecto al  $\text{SiO}_2$ , mientras que en  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , y  $\text{P}_2\text{O}_5$  sucede lo opuesto, es decir, un incremento con  $\text{SiO}_2$ . Por otro lado,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no muestra una tendencia bien definida hacia incrementarse o empobrecerse, y más bien se mantiene constante con el aumento de  $\text{SiO}_2$ . Estas tendencias son típicas para suites de rocas de una zona volcánica de margen continental con zona de subducción, como sucede es el caso de las rocas volcánicas del graben de Acambay, las cuales pertenecen al Cinturón Volcánico Mexicano (Aguirre-Díaz, 1996; Aguirre-Díaz et al., 1998; Aguirre-Díaz et al., 2004). En particular, el decremento de  $\text{P}_2\text{O}_5$  con el aumento de sílice podría significar la cristalización fraccionada de apatito, removiéndose así este componente del sistema magmático. Igualmente, el empobrecimiento de las fases máficas como el  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{CaO}$  con el aumento de  $\text{SiO}_2$  significaría la remoción paulatina por cristalización fraccionada de minerales máficos, como el olivino, piroxeno, anfíbol y plagioclasa cálcica, o simplemente el reemplazo de éstos durante las series continua y discontinua de evolución de Bowen (Wilson, 1989).

## COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LA PETROGRAFÍA Y LA QUÍMICA

En el diagrama VII, se puede observar la cantidad de rocas volcánicas obtenidas en este trabajo de tesis, en las cuales se observan: 13 dacitas, 5 riolitas, 6 andesitas, 2 riodacitas, 1 roca piroclástica del depósito de oleada del volcán Jocotitlán, 2 ignimbritas, 2 granodioritas, 2 bombas y fragmentos de escoria y pómez.

En la Tabla II, se pueden observar los resultados de la petrografía y la química de las rocas volcánicas del graben de Acambay que se trabajaron en este proyecto de tesis. En la tabla se presenta la unidad litológica según la leyenda del mapa geológico del graben de Acambay, la clave de la muestra, cantidad de láminas delgadas realizadas, las muestras con análisis químico, la roca correspondiente de acuerdo con los resultados de la petrografía, el tipo de roca según la clasificación TAS, y las coordenadas UTM WGS84 de cada muestra.

Diagrama VII. Rocas volcánicas obtenidas.

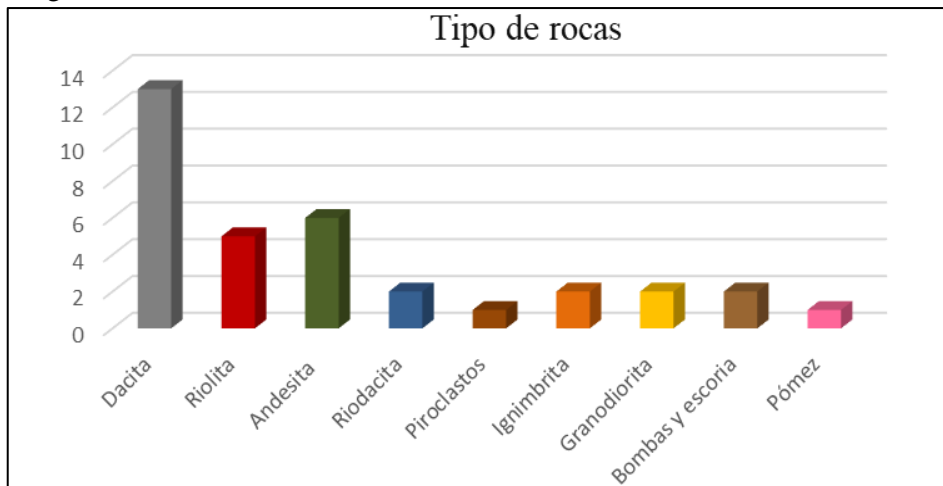


Tabla II. Resumen de la petrografía y la química de muestras analizadas.

Resultados de la petrografía y química de las rocas volcánicas del Graben de Acambay						
Unidad	Muestra	Lámina	Química	Roca	Coordenadas UTM	
					E	N
TQba	TEMAX-6	Ricardo	1	Dacita	392979	2200395
Tbd	TEMAX-12	Ricardo	1	Dacita	388269	2202510
TQal	TEMAX-18	Ricardo	1	Riolita	389297	2196842
Tbd	TEMAX-33	Ricardo	1	Dacita	391028	2200086
TQav	Temax 21B	1	1	Dacita	385814	2203341
Qtsp	Temax 24C	1	1	Dacita	392594	2198517
Tbd	Temax 26A	1	1	Riolita	391860	2202856
TQav	Temax 28C B	1	1	Dacita	387586	2209044
TQav	Temax 28C N		1	Dacita	387586	2209044
Qav	Temax 29	1	1	Andesita	384911	2209134
TQba	Temax 35	1	1	Dacita	397413	2201210
Qtsp	Temax 36	1	1	Dacita	398695	2201494
Qtsp	Temax 37	1	1	Dacita	400850	2201804
TQba	Temax 38	1	1	Dacita	403265	2201967
TQsld	Temax 39	1	1	Riodacita	404824	2196761
Tan	Temax 40	1	1	Riolita	391988	2190992
Tbd	Temax 41	1	0	Dacita bandeada	393539	2192574
TQan	Temax 42	1	0	Andesita	395146	2195598
Tbd	Temax 43	1	1	Dacita	392820	2195948
TQan	Temax 44A	1	1	Andesita	398845	2195607
TQan	Temax 44B	1	1	Andesita	398845	2195607
TQal	Temax 45	1	1	Riolita	396046	2196865
TQan	Temax 46	1	1	Riolita	397403	2196310
TQan	Temax 47B	1	1	Riodacita	397427	2196369
TQan	Temax 48	1	1	Andesita	397486	2196469
No	GAC 2B	1	0	Depósitos de oleda piroclástica del Volcán Jocotitlán.	427443	2185311
TQan	GAC 5B	1	0	Lava andesítica	403039	2194546
TQan	GAC 6	1	0	Ignimbrita	403039	2194546
Tsm	GAC 8-I	1	0	Granodiorita	366031	2196737
Tsm	GAC 8-II	1	0	Granodiorita	366031	2196737
TQal	GAC 38D	1	0	Ignimbrita	394900	2208230
TQba	Temas A	1	0	Bombas y escoria	401470	2200230
TQba	Temas B	1	0	Bombas y escoria	401470	2200230
Qtsm	Temas 3	1	0	Pómez	404503	2203292
34		29	23			

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La petrografía y la geoquímica de rocas seleccionadas del graben de Acambay muestran una geología compuesta de rocas volcánicas dacíticas, andesíticas y riolíticas, lo cual indica, que la zona de estudio es una zona volcánica con presencia de varios eventos de varias fuentes, incluyendo calderas, estratovolcanes, domos y conos de escoria.

Las muestras analizadas se encuentran en la zona de la serie subalcalina, de rocas intermedias a ácidas, con un origen calcoalcalino. Es decir, tiene una firma magmática típica de zonas de subducción de margen continental, confirmando su ubicación en la provincia volcánica del Cinturón Volcánico Mexicano.

Es indispensable tener en cuenta que la actividad volcánica y tectónica del graben de Acambay se encuentra activa y que esto representa un potencial riesgo de origen geológico en la zona.

Conocer la geología del graben de Acambay ayudará a estudios posteriores más detallados sobre paleosismicidad y vulcanología, así como otros de carácter ingenieril como la geotecnia.

El realizar un proyecto dentro de este rubro de la geología, me da la pauta para decir que no solo se trata de investigar y aportar datos para los futuros proyectos de investigación sobre el graben de Acambay, sino más

bien se adquiere el compromiso de difundir la información obtenida en esta tesis, principalmente a quienes no tienen acceso ni conocimiento sobre el área. Los más interesados pueden ser, los habitantes establecidos en el área del graben de Acambay, a quienes habría que dirigirse con vocabulario simple sobre los riesgos volcánicos y estructurales (fallas activas) en la zona.

Conocer un área de riesgo geológico como es el graben de Acambay, me permite concluir que es importante que la población de esta región es vulnerable a riesgos geológicos y debería ser informada y protegida. Por lo tanto, es muy recomendable realizar el estudio de la mecánica de rocas, para la petrología que se ha descrito en esta tesis, así como estudios de mecánica de suelos, y monitoreo geofísico por encontrarse en una zona sísmica y volcánicamente activa en el graben de Acambay. Lo que seguiría con una gestión de riesgo que indiquen las medidas preventivas y posibles puntos de reunión y rutas de evacuación.

## ANEXOS

Tabla JJ-1. Resultados de los análisis químicos realizados

Unidad	Muestra	Roca	Localización	UTM	
				Lat. N (Y)	Long. W (X)
				Metros (msnm)	
TQba	TEMAX-6	Dacita	Domo Shiño	2200395	392979
Tbd	TEMAX-12	Dacita	Domo palo ancho	2202510	388269
TQal	TEMAX-18	Riolita	Mesa grande	2196842	389297
Tbd	TEMAX-33	Dacita	Domo central	2200086	391028
TQba	TEMAX-35	Dacita	Volcan temascalcingo	2201210	397413
Qtsp	TEMAX-36	Dacita	C. Volcan temascalcingo	2201494	398695
Qtsp	TEMAX-37	Dacita	Temascalcingo	2201804	400850
TQba	TEMAX-38	Dacita	Temascalcingo	2201967	403265
TQsld	TEMAX-39	Riodacita	Domo Sta. Lucia	2196761	404824
Tan	TEMAX-40	Riolita	Venta del aire	2190992	391988
Tbd	TEMAX-43	Dacita	Falla Pastores	2195948	392820
TQan	TEMAX-44a	Andesita	Pastores	2195607	398845
TQan	TEMAX-44b	Andesita	Pastores	2195607	398845
TQal	TEMAX-45	Riolita	Pastores	2196865	396046
TQan	TEMAX-46	Riolita	Pastores	2196310	397403
TQan	TEMAX-47b	Riodacita	Pastores	2196369	397427
TQan	TEMAX-48	Andesita	Pastores	2196469	397486
TQav	TEMAX 21-B	Dacita	Al W del lago Juanic	2203341	385814
Qtsp	TEMAX-24-C	Dacita	Poblado El rincón	2198517	392594
Tbd	TEMAX-26-A	Riolita	Domo la huerta	2202856	391860
TQav	TEMAX 28-C B	Dacita	Solis	2209044	387586
TQav	TEMAX-28-C N	Dacita	Solis	2209044	387586
Qav	TEMAX-29	Andesita	Volcán Altamirano	2209134	384911



Tabla JJ-2. Resultados de los análisis químicos realizados.

Muestra	ELEMENTOS MAYORES												RESTA	
	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3T	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	PxC	SUMA	RESTA	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
TMX-6	66.88	0.6	16.035	4.006	0.072	1.746	3.872	4.283	2.305	0.145	0.2	100.144	99.944	
TMX-12	66.348	0.641	15.538	3.956	0.075	1.341	3.534	3.767	3.287	0.156	1.49	100.133	98.643	
TMX-18	69.24	0.539	15.358	3.503	0.063	0.632	2.294	3.926	3.529	0.121	0.97	100.175	99.205	
TMX-33	66.106	0.745	16.024	4.384	0.076	1.532	3.711	4.063	2.836	0.13	0.62	100.227	99.607	
TMX-35	64.503	0.635	17.38	4.261	0.063	0.806	3.688	3.952	2.164	0.069	2.66	100.181	97.521	
TMX-36	62.963	0.709	19.544	4.454	0.077	0.501	3.01	3.774	1.289	0.147	3.76	100.228	96.468	
TMX-37	65.408	0.688	16.118	4.234	0.08	1.969	4.279	4.165	2.355	0.162	0.58	100.038	99.458	
TMX-38	64.095	0.692	17.281	4.313	0.074	2.181	4.564	4.338	1.812	0.128	0.8	100.278	99.478	
TMX-39	69.999	0.433	15.158	2.769	0.069	1.141	3.105	4.11	3.034	0.123	0.24	100.181	99.941	
TMX-40	74.414	0.16	11.548	2.009	0.031	0.062	0.548	2.41	6.037	0.029	2.97	100.218	97.248	
TMX-43	65.057	0.686	16.997	4.289	0.081	1.923	4.649	4.11	1.929	0.166	0.34	100.227	99.887	
TMX-44a	57.521	1.206	16.557	7.009	0.122	4.373	6.445	3.605	1.678	0.31	1.43	100.256	98.826	
TMX-44b	59.527	1.159	15.645	6.573	0.132	4.238	6.273	3.551	1.822	0.374	0.92	100.214	99.294	
TMX-45	70.35	0.308	14.433	2.176	0.053	0.66	1.961	3.648	4.038	0.091	2.5	100.218	97.718	
TMX-46	70.639	0.304	14.506	2.115	0.053	0.652	2.073	3.452	4.103	0.093	2.11	100.1	97.99	
TMX-47b	66.875	0.402	16.113	3.029	0.064	0.72	2.403	3.213	3.097	0.099	4.13	100.145	96.015	
TMX-48	58.903	1.142	15.977	6.727	0.112	4.043	6.106	3.373	2.286	0.309	1.28	100.258	98.978	
TMX 21-B	57.88	0.573	20.318	4.516	0.051	0.846	2.42	2.049	1.968	0.093	9.4	100.114	90.714	
TMX-24-C	62.208	0.567	18.027	3.807	0.071	1.858	5.405	4.447	1.632	0.12	1.97	100.112	98.142	
TMX-26-A	67.214	0.348	15.624	2.76	0.044	0.433	1.788	2.723	3.93	0.094	5.26	100.218	94.958	
TMX 28-C B	64.448	0.781	15.682	4.338	0.078	1.793	4.073	3.537	3.227	0.211	1.98	100.148	98.168	
TMX-28-C N	64.05	0.781	16.165	4.552	0.083	1.907	4.371	3.687	2.937	0.205	1.53	100.268	98.738	
TMX-29	61.834	0.862	18.142	5.072	0.099	2.176	4.964	3.938	1.912	0.225	0.93	100.154	99.224	

Tabla JJ-3. Resultados de los análisis químicos realizados.

Muestra	Normalized data volatiles free												TAS			
	SiO2 %	TiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	MnO %	MgO %	CaO %	Na2O %	K2O %	P2O5 %	SUM %	SiO2 %	Na2O+K2O %	MgO %	SiO2 %	K2O %
TMX-6	66.92	0.60	16.04	4.01	0.07	1.75	3.87	4.29	2.31	0.15	100.00	67	7	2	67	2
TMX-12	67.26	0.65	15.75	4.01	0.08	1.36	3.58	3.82	3.33	0.16	100.00	67	7	1	67	3
TMX-18	69.79	0.54	15.48	3.53	0.06	0.64	2.31	3.96	3.56	0.12	100.00	70	8	1	70	4
TMX-33	66.37	0.75	16.09	4.40	0.08	1.54	3.73	4.08	2.85	0.13	100.00	66	7	2	66	3
TMX-35	66.14	0.65	17.82	4.37	0.06	0.83	3.78	4.05	2.22	0.07	100.00	66	6	1	66	2
TMX-36	65.27	0.73	20.26	4.62	0.08	0.52	3.12	3.91	1.34	0.15	100.00	65	5	1	65	1
TMX-37	65.76	0.69	16.21	4.26	0.08	1.98	4.30	4.19	2.37	0.16	100.00	66	7	2	66	2
TMX-38	64.43	0.70	17.37	4.34	0.07	2.19	4.59	4.36	1.82	0.13	100.00	64	6	2	64	2
TMX-39	70.04	0.43	15.17	2.77	0.07	1.14	3.11	4.11	3.04	0.12	100.00	70	7	1	70	3
TMX-40	76.52	0.16	11.87	2.07	0.03	0.06	0.56	2.48	6.21	0.03	100.00	77	9	0	77	6
TMX-43	65.13	0.69	17.02	4.29	0.08	1.93	4.65	4.11	1.93	0.17	100.00	65	6	2	65	2
TMX-44a	58.20	1.22	16.75	7.09	0.12	4.42	6.52	3.65	1.70	0.31	100.00	58	5	4	58	2
TMX-44b	59.95	1.17	15.76	6.62	0.13	4.27	6.32	3.58	1.83	0.38	100.00	60	5	4	60	2
TMX-45	71.99	0.32	14.77	2.23	0.05	0.68	2.01	3.73	4.13	0.09	100.00	72	8	1	72	4
TMX-46	72.09	0.31	14.80	2.16	0.05	0.67	2.12	3.52	4.19	0.09	100.00	72	8	1	72	4
TMX-47b	69.65	0.42	16.78	3.15	0.07	0.75	2.50	3.35	3.23	0.10	100.00	70	7	1	70	3
TMX-48	59.51	1.15	16.14	6.80	0.11	4.08	6.17	3.41	2.31	0.31	100.00	60	6	4	60	2
TMX 21-B	63.80	0.63	22.40	4.98	0.06	0.93	2.67	2.26	2.17	0.10	100.00	64	4	1	64	2
TMX-24-C	63.39	0.58	18.37	3.88	0.07	1.89	5.51	4.53	1.66	0.12	100.00	63	6	2	63	2
TMX-26-A	70.78	0.37	16.45	2.91	0.05	0.46	1.88	2.87	4.14	0.10	100.00	71	7	0	71	4
TMX 28-C B	65.65	0.80	15.97	4.42	0.08	1.83	4.15	3.60	3.29	0.21	100.00	66	7	2	66	3
TMX-28-C N	64.87	0.79	16.37	4.61	0.08	1.93	4.43	3.73	2.97	0.21	100.00	65	7	2	65	3
TMX-29	62.32	0.87	18.28	5.11	0.10	2.19	5.00	3.97	1.93	0.23	100.00	62	6	2	62	2

Tabla JJ-4. Resultados de los análisis químicos realizados.

Muestra	ELEMENTOS TRAZA													
	Rb ppm	Sr ppm	Ba ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	V ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Th ppm	Pb ppm
TMX-6	58	417	585	18	149	4	49	26	8	11	9	54	7	10
TMX-12	84	348	705	28	251	9	64	2	8	9	7	65	11	12
TMX-18	99	262	772	30	245	10	45	7	7	10	8	58	13	14
TMX-33	74	369	725	28	242	9	81	19	9	9	12	81	12	12
TMX-35	48	483	594	17	151	3	61	46	10	12	10	77	6	9
TMX-36	9	485	862	10	197	3	50	28	7	11	10	88	7	12
TMX-37	64	402	631	23	182	6	70	92	9	19	13	59	8	12
TMX-38	28	459	611	14	164	4	70	41	9	16	11	54	7	9
TMX-39	78	559	557	20	129	3	43	52	7	11	9	37	10	12
TMX-40	305	42	368	64	260	20	4	4	3	18	8	81	21	20
TMX-43	32	559	511	15	158	3	62	48	9	12	7	61	6	8
TMX-44a	41	406	611	25	274	13	134	245	21	28	17	84	8	10
TMX-44b	44	390	634	26	263	13	126	172	21	25	13	81	7	10
TMX-45	117	256	689	24	128	8	28	23	5	10	4	45	14	17
TMX-46	113	268	736	22	125	7	29	103	5	10	4	42	11	18
TMX-47b	98	307	610	23	141	7	43	27	6	12	7	54	12	16
TMX-48	50	401	629	27	267	13	125	139	21	24	14	82	9	11
TMX 21-B	66	263	1071	40	232	10	47	13	7	16	17	64	10	13
TMX-24-C	34	697	572	13	126	<1	57	77	8	12	5	50	3	10
TMX-26-A	115	205	745	34	261	11	24	<3	5	8	6	55	17	17
TMX 28-C B	76	355	839	24	224	8	49	18	8	9	6	50	12	10
TMX-28-C N	70	396	798	23	221	8	65	86	10	11	8	58	10	9
TMX-29	27	459	904	19	232	8	75	47	10	11	9	65	11	12

Tabla JJ-5. Resultados de los análisis químicos realizados.

MULTIELEMENTO (según Thompson et al., 1983, in H&N book). Ver Rock (1987)												
Muestra	K (ppm)	P (ppm)	Ti (ppm)	Ba	Rb	Th	K	Nb	Sr	P	Zr	
	(78.204/94.204)	(61.94/141.94)	-0.5995	6.900	0.350	0.042	120.000	0.350	11.800	46.000	6.840	
TMX-6	19144.526	633.135	3599.015	84.783	165.714	166.667	159.538	11.429	35.339	13.764	21.784	
TMX-12	27660.743	690.149	3895.659	102.174	240.000	261.905	230.506	25.714	29.492	15.003	36.696	
TMX-18	29528.984	532.276	3257.200	111.884	282.857	309.524	246.075	28.571	22.203	11.571	35.819	
TMX-33	23634.520	569.558	4483.897	105.072	211.429	285.714	196.954	25.714	31.271	12.382	35.380	
TMX-35	18419.996	308.770	3903.595	86.087	137.143	142.857	153.500	8.571	40.932	6.712	22.076	
TMX-36	11091.750	664.996	4406.078	124.928	25.714	166.667	92.431	8.571	41.102	14.456	28.801	
TMX-37	19655.387	710.821	4147.037	91.449	182.857	190.476	163.795	17.143	34.068	15.453	26.608	
TMX-38	15120.340	561.523	4170.309	88.551	80.000	166.667	126.003	11.429	38.898	12.207	23.977	
TMX-39	25200.102	537.089	2597.367	80.725	222.857	238.095	210.001	8.571	47.373	11.676	18.860	
TMX-40	51531.278	130.137	986.344	53.333	871.429	500.000	429.427	57.143	3.559	2.829	38.012	
TMX-43	16030.744	725.244	4117.222	74.058	91.429	142.857	133.590	8.571	47.373	15.766	23.099	
TMX-44a	14094.548	1368.911	7315.858	88.551	117.143	190.476	117.455	37.143	34.407	29.759	40.058	
TMX-44b	15231.960	1643.741	6997.608	91.884	125.714	166.667	126.933	37.143	33.051	35.733	38.450	
TMX-45	34302.215	406.398	1889.580	99.855	334.286	333.333	285.852	22.857	21.695	8.835	18.713	
TMX-46	34757.631	414.177	1859.863	106.667	322.857	261.905	289.647	20.000	22.712	9.004	18.275	
TMX-47b	26775.188	449.967	2510.014	88.406	280.000	285.714	223.127	20.000	26.017	9.782	20.614	
TMX-48	19172.024	1362.400	6916.982	91.159	142.857	214.286	159.767	37.143	33.983	29.617	39.035	
TMX 21-B	18008.651	447.397	3786.775	155.217	188.571	238.095	150.072	28.571	22.288	9.726	33.918	
TMX-24-C	13803.705	533.594	3463.517	82.899	97.143	71.429	115.031	#####	59.068	11.600	18.421	
TMX-26-A	34355.115	431.997	2197.034	107.971	328.571	404.762	286.293	31.429	17.373	9.391	38.158	
TMX 28-C	27287.229	937.988	4769.472	121.594	217.143	285.714	227.394	22.857	30.085	20.391	32.749	
TMX-28-C	24691.646	906.054	4741.938	115.652	200.000	238.095	205.764	22.857	33.559	19.697	32.310	
TMX-29	15995.638	989.579	5208.105	131.014	77.143	261.905	133.297	22.857	38.898	21.513	33.918	

Tabla JJ-6. Resultados de los análisis químicos realizados.

Muestra	MULTIELEMENTO (según Thompson et al., 1983, in H&N book). Ver Rock (1987)													
	Ti	Y	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Mol	Mol
	620.000	2.000	Mol	Mol	Mol	Mol	Mol	Mol	Mol	Mol	Mol	Mol	Mol	Mol
TMX-6	5.805	9.000	1.11	0.01	0.16	0.03	0.00	0.04	0.07	0.07	0.02	0.00	0.02	0.00
TMX-12	6.283	14.000	1.12	0.01	0.15	0.03	0.00	0.03	0.06	0.06	0.04	0.00	0.04	0.00
TMX-18	5.254	15.000	1.16	0.01	0.15	0.02	0.00	0.02	0.04	0.06	0.04	0.00	0.04	0.00
TMX-33	7.232	14.000	1.10	0.01	0.16	0.03	0.00	0.04	0.07	0.07	0.03	0.00	0.03	0.00
TMX-35	6.296	8.500	1.10	0.01	0.17	0.03	0.00	0.02	0.07	0.07	0.02	0.00	0.02	0.00
TMX-36	7.107	5.000	1.09	0.01	0.20	0.03	0.00	0.01	0.06	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00
TMX-37	6.689	11.500	1.09	0.01	0.16	0.03	0.00	0.05	0.08	0.07	0.03	0.00	0.03	0.00
TMX-38	6.726	7.000	1.07	0.01	0.17	0.03	0.00	0.05	0.08	0.07	0.02	0.00	0.02	0.00
TMX-39	4.189	10.000	1.17	0.01	0.15	0.02	0.00	0.03	0.06	0.07	0.03	0.00	0.03	0.00
TMX-40	1.591	32.000	1.27	0.00	0.12	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.07	0.00	0.07	0.00
TMX-43	6.641	7.500	1.08	0.01	0.17	0.03	0.00	0.05	0.08	0.07	0.02	0.00	0.02	0.00
TMX-44a	11.800	12.500	0.97	0.02	0.16	0.04	0.00	0.11	0.12	0.06	0.02	0.00	0.02	0.00
TMX-44b	11.286	13.000	1.00	0.01	0.15	0.04	0.00	0.11	0.11	0.06	0.02	0.00	0.02	0.00
TMX-45	3.048	12.000	1.20	0.00	0.14	0.01	0.00	0.02	0.04	0.06	0.04	0.00	0.04	0.00
TMX-46	3.000	11.000	1.20	0.00	0.15	0.01	0.00	0.02	0.04	0.06	0.04	0.00	0.04	0.00
TMX-47b	4.048	11.500	1.16	0.01	0.16	0.02	0.00	0.02	0.04	0.05	0.03	0.00	0.03	0.00
TMX-48	11.156	13.500	0.99	0.01	0.16	0.04	0.00	0.10	0.11	0.05	0.02	0.00	0.02	0.00
TMX 21-B	6.108	20.000	1.06	0.01	0.22	0.03	0.00	0.02	0.05	0.04	0.02	0.00	0.02	0.00
TMX-24-C	5.586	6.500	1.05	0.01	0.18	0.02	0.00	0.05	0.10	0.07	0.02	0.00	0.02	0.00
TMX-26-A	3.544	17.000	1.18	0.00	0.16	0.02	0.00	0.01	0.03	0.05	0.04	0.00	0.04	0.00
TMX 28-C B	7.693	12.000	1.09	0.01	0.16	0.03	0.00	0.05	0.07	0.06	0.03	0.00	0.03	0.00
TMX-28-C N	7.648	11.500	1.08	0.01	0.16	0.03	0.00	0.05	0.08	0.06	0.03	0.00	0.03	0.00
TMX-29	8.400	9.500	1.04	0.01	0.18	0.03	0.00	0.05	0.09	0.06	0.02	0.00	0.02	0.00

PDF DEL MAPA GEOLÓGICO DEL  
GRABEN DE ACAMBAY, QUE  
MUESTRA MEJOR Y MAYOR  
RESOLUCIÓN.

PDF DEL MAPA GEOCRONOLÓGICO  
DEL GRABEN DE ACAMBAY, QUE  
MUESTRA MEJOR Y MAYOR  
RESOLUCIÓN.

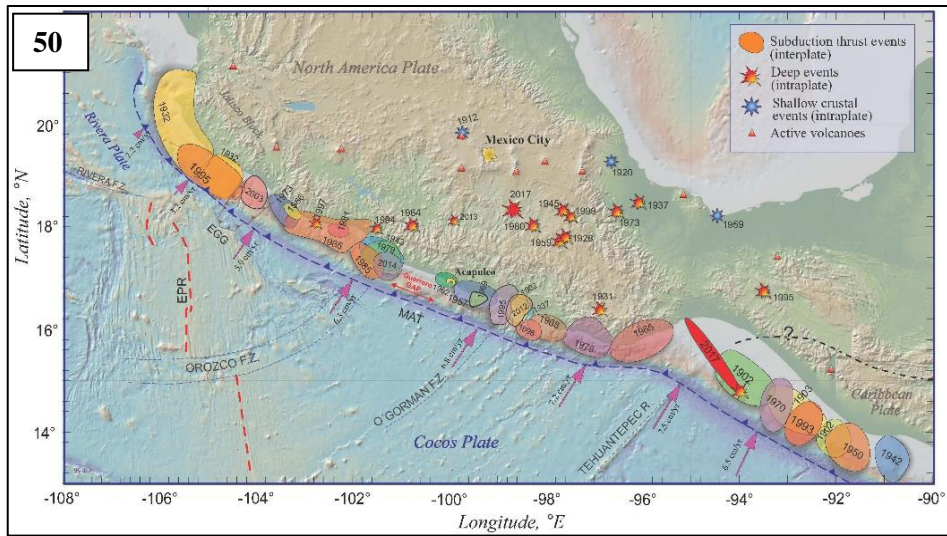


Figura 50. Mapa que muestra la ubicación de los sismos más importantes en México en los últimos 100 años de (*Dr. Vladimir Kostoglodov y Dr. Javier Francisco Pacheco*)



## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

*Tarbutck 2005*

*Wolfgang Griem, Copiapó 2005, 2009; actualizado: 29.8.2015*

*Suter et al 1991*

*Suter et al., 1992; Aguirre Diaz., 1995,1996; Ortuño et al., 2015; Lacan 2018*

*Pasquaré et al., 1988; Wallace and Charmichael, 1989; Allan et al., 1991; Aguirre-Díaz et al. 1998; Ferrari et al., 1999; 2012*

*Mooser, 1972; Álvarez, 1975; Urrutia-Fucugauchi y Pal, 1977; Hanus y Vanek, 1977-1978; Nixon, 1982; Suárez y Singh, 1986; Verma, 1996; Ferrari et al., 1999*

*Urrutia-Fucugauchi y Del Castillo, 1977; Delgado-Granados et al., Pardo y Suárez, 1995; Ferrari y Rosas-Elguera, 2000*

*De la fuente y Verma, 1993*

*Johnson y Harrison, 1990*

*Suter et al., 1991, 1995, 2000*

*Garduño-Monroy et al. 2009*

*Johnson y Harrison, 1990*

*Ferrari et al., 1994; Zúñiga et al., 2003; Aguirre-Díaz et al., 2005; Garduño-Monroy et al., 2009*

*Suter et al., 1992., Ortuño et al., 2015; Sunye-Puchol et al., 2015; Lacan 2018*

*Aguirre-Díaz, 1995; Aguirre-Díaz, 1996, 2001, Aguirre-Díaz y McDowell, 2000*

*Aguirre-Díaz, 1983*

*Aguirre-Díaz, 1993, 1995; 1996; 1999; Suter et al., 1991, 1995; Aguirre-Díaz y McDowell, 2000*

*Pedrazzi et al., 2018*

*Landridge et al, 2013; Ortuño et al., 2015; Sunyé et al. 2015; Lacan et al., 2018; Ortuño et al., 2018*

*Suter et al., 1992, 1995*

*Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego 1990*

*<http://usuarios.geofisica.unam.mx/vladimir/sismos/100a%FIos.html>.*

*Aguirre-Díaz y Morton-Bermea 2018.*

*Le Bas et al. 1986.*

*Gill, 1981; Wilson, 19).*

*Aguirre-Díaz, 1996; Aguirre-Díaz et al., 1998; Aguirre-Díaz et al., 2004.*

*Wilson, 1989.*

*Sánchez-Rubio, 1984; Aguirre-Díaz, 1993; 1995; 1996, 2001 Aguirre-Díaz, G.J., 2001, Recurrent magma mingling in successive ignimbrites from Amealco caldera, central México. Bulletin of Volcanology, v. 63, p. 238-251. DOI 10.1007/s004450100138; Aguirre-Díaz et al., 2002, Aguirre-Díaz, G.J., Dubois, M., Lauryens, J., Schaaf, P. 2002, Nature and P-T conditions of the crust beneath the central Mexican Volcanic Belt based on a Precambrian crustal xenolith. International Geology Review, v 44, p. 222-242. DOI: 10.2747/0020-6814.44.3.222.*

*Aguirre-Díaz et al 2012,2014; Roldán-Quintana et al. 2011; Aguirre-Díaz et al., 2015 Aguirre-Díaz, G.J., Pedrazzi, D., Suñe-Puchol, I., Roldán-Quintana, J., Lacan, P., 2015, The Temascalcingo volcano, Estado de México: Main volcanic phases of a stratovolcano in the Acambay Graben: Reunión Anual Unión Geofísica Mexicana 2015, Geos, vol. 35, No. 1, Abstract VUL-0208; <http://www.ugm.org.mx/raugm/resumenes/abstracts.php?sessionID=19>; ISSN 0186-1891; Pedrazzi et al., 2018.*

*Aguirre-Díaz, 1996; Aguirre-Díaz y McDowell, 2000; Aguirre-Díaz et al., 2000 Aguirre-Díaz, G.J., Urrutia-Fucugauchi, J., Soler-Arechalde, A.M., 2000, Stratigraphy, K-Ar ages, and magnetostratigraphy of the Acambay graben, central Mexican Volcanic Belt. In: Delgado-Granados, H., Stock, J., Aguirre-Díaz, G.J., eds., "Cenozoic Tectonics and Volcanism of*

Mexico". *Geological Society of America Special Paper 334*, p. 179-193.  
doi:10.1130/0-8137-2334-5.167.

Siebe et al 1992; Salinas and López-Blanco, 2010 Salinas and López-Blanco, J., 2010. *Geomorphic assessment of the debris avalanche deposit from the Jocotitlán volcano, Central Mexico. Geomorphology*, 123(1): 142-153.

Howel Williams, Francis J. Turner and Charles M. Gilbert., 1953, *Petrografía introducción al estudio de las rocas en secciones delgadas, California, Continental*.

Peccerillo, A., Taylor, S. R., 1976, *Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey: Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1), 63–81.

Urrutia-Fucugauchi, J., Del Castillo, L., 1977, *Un modelo del Eje Mexicano: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 38, 18-28.

W.S.MacKenzie and C.Guilford., 1980, *Atlas of rock-forming minerals in thin section, England, Longman*.

Gill, J., 1981, *Orogenic andesites and plate tectonics: Berlin, Germany, Springer-Verlag*, 390 p.

W.S.MacKenzie, C.H.Donaldson and C.Guilford., 1982, *Atlas of igneous rocks and their textures, England, Longman*.

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986, *A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali/Silica system: Journal of Petrology*, 27(3), 745–750.

Aguirre-Díaz, 1988-1991. *Geologic Map of the Amealco Caldera Region. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(1).

Wilson, M., 1989, *Igneous petrogenesis. A global tectonic approach: Dordrecht, The Netherlands, Springer*, 466 p.

Urbina, F., Camacho H., 1913, *Zona Megaseismica Acambay-Tixmadeje, Estado de México: Instituto Geológico de México, Secretaria de Fomento*, 230pp.

Martínez Reyes, J., Nieto-Samaniego, A.F., 1990. *Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México. Revista del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México* 9, 33–50.

Suter, M., Quintero, O., Johnson, C.A., 1992. Active faults and state of stress in the central part of the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico. The Venta de Bravo fault. *J. Geophys. Res.* 97 (B8):11983–11993. <https://doi.org/10.1029/91JB00428>.

Aguirre-Díaz, G.J., 1995, *La toba Amealco y su correlación con la Formación Las Américas a través del graben de Acambay, Estados de México, Michoacán y Querétaro, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 12(1), 17-21.

Suter, M., Quintero, O., López, M., Aguirre-Díaz, G.J., Ferrar, E., 1995. The Acambay graben: active intra-arc extension in the trans-Mexican Volcanic Belt. *Tectonics* 14,1245–1262.

Aguirre-Díaz, G.J., 1996, *Volcanic stratigraphy of the Amealco caldera and vicinity, Central Mexican Volcanic Belt: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(1), 10-51.

Aguirre-Díaz, G.J., 1996. Volcanic stratigraphy of the Amealco caldera and vicinity, Central Mexican Volcanic Belt. *Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas* 13 (1), 10–51.

Aguirre-Díaz, G.J., Ferrari, L., Nelson, S.A., Carrasco-Núñez, G., López-Martínez, M., Urrutia-Fucugauchi, J., 1998, *El Cinturón Volcánico Mexicano: Un Nuevo Proyecto Multidisciplinario. Unión Geofísica Mexicana, Geos, v. 18, No. 2, p. 131-138. <http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/geos1998.html>*

Aguirre-Díaz, G.J., 1999. Volcanic evolution of the Amealco caldera, central Mexico: *Geological Society of America Special Paper* 334.

Aguirre-Díaz, G.J., Urrutia-Fucugauchi, J., Soler-Arechalde, M.S., McDowell, F.W., 2000, *Stratigraphy, K-Ar ages, and magnetostratigraphy of the Acambay graben, central Mexican Volcanic Belt, en Delgado-Granados, H., Aguirre-Díaz, G.J., Stock, J., (eds.), Cenozoic Tectonics and Volcanism of Mexico, Geological Society of America Special Paper, 334, 167-178.*

Aguirre-Díaz, G.J., and McDowell, F.W., 2000, *Volcanic evolution of the Amealco caldera, central Mexico. In: Delgado-Granados, H., Stock, J., Aguirre-Díaz, G.J., eds., "Cenozoic Tectonics and Volcanism of Mexico". Geological Society of America Special Paper 334, p. 167-178. doi:10.1130/0-8137-2334-5.179.*

Langridge, R.M., Weldon, R.J., Moya, J.C., Suárez, G., 2000. *Paleoseismology of the 1912, Acambay earthquake and the Acambay-*

*Tixmadejé fault, trans-Mexican Volcanic Belt. Journal of Geophysical Research* 105, 3019–3037.

Aguirre-Díaz, G.J., 2001, *Recurrent magma mingling in successive ignimbrites from Amealco calera, central Mexico. Bull Volcanol* (2001) 63:238-251.

Aguirre-Díaz, G.J., 2002, *Nature and P-T Conditions of the Crust Beneath the Central Mexican Volcanic Belt Based on a Precambrian Crustal Xenolith. International Geology Review, Vol.44, p.222-242.*

Mercer-Lonnie T., 2004, *Geology of the Tierras Blancas Area in the Southeastern Acambay Graben, Central Mexico, Department of Geology a thesis submitted to the faculty of Brigham Young University for the degree of Master of Science.*

Aguirre-Díaz, G.J., Macías, J.L., Siebe, C., 2004, *Neogene-Quaternary continental margin volcanism – Proceedings of the GSA Penrose Conference at Metepec, Puebla, Mexico 2004, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Publicación Especial No. 2, 136 p. (ISBN 970-32-1402-9).*

Norini, G., Groppelli, G., Lagmay, A.M.F., Capra, L., 2006. *Recent left-oblique slip faulting in the central eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: seismic hazard and geodynamic implications. Tectonics* 25 (4), TC4012. <https://doi.org/10.1029/2005TC001877>.

Roldan-Quintana, J., Aguirre-Díaz, G., Rodríguez-Castañeda J.L., 2011, *Depósito de avalancha de escombros del volcán Temascalcingo en el graben de Acambay, Estado de México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28, 118-131.

Langridge, R.M., Persaud, M., Zúñiga, F.R., Aguirre-Díaz G.J., Villamor, P., Lacan, P., 2013, *Preliminary paleoseismic results from the Pastores Fault and its role in the seismic hazard of the Acambay graben, Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(3),463-481.

Ortuño, M., Zúñiga, F.R., Aguirre-Díaz, G.J., Carreón-Freyre, D., Cerca, M., Roverato, M., 2015, *Holocene paleo-earthquakes recorded at the transfer zone of two major faults: the Pastores and Venta de Bravo faults (Trans- Mexican Volcanic Belt): Geosphere*, 11 (1), 160-184.

Sunye-Puchol, I., Lacan, P., Ortuño, M., Villamor, P., Audin, L., Zúñiga, F.R., Langridge, R.M., Aguirre-Díaz, G.J., Lawton, T.F., 2015. *La falla San Mateo: Nuevas evidencias paleosismológicas de fallamiento activo en*

*el graben de Acambay, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 32, 361–375.

Suter, M., 2016. *Structure and Holocene rupture of the Morelia fault, trans-Mexican Volcanic Belt, and their significance for seismic hazard assessment. Bull. Seismol. Soc. Am.* 106 (5):2376–2388. <https://doi.org/10.1785/0120160092>.

Lacan, P., Ortuño, M., Audin, L., Perea, H., Baize, B., Aguirre-Díaz, G.J., Zúñiga, R., 2018. *Sedimentary evidence of historical and prehistorical earthquakes along the Venta de Bravo Fault System, Acambay Graben (central Mexico). Sediment. Geol.* <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.12.008>.

Ortuño, M., Coromitas, O., Zúñiga, F.R., Lacan, P., Perea, H., Aguirre-Díaz, G., Štěpančíková, P., Villamor, P., Ramirez-Herrera, T., 2018. *Evidence of recent ruptures in the central faults of the Acambay Graben (Central Mexico). Sedimentary Geology (in this issue).*

Aguirre-Díaz, G.J. and Morton-Bermea, O., 2018, *Geochemistry of the Amazcala Caldera, Querétaro, México: An unusual peralkaline center in the central Mexican Volcanic Belt: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, VOL. 70 (3), p. 731-760; <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2018v70n3a8>.*