



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

Caracterización mineral de muestras pétreas mediante la aplicación de microscopía óptica de polarización de los taludes en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA GEÓLOGA**

P R E S E N T A:

**REMIGIO MORALES KARINA**

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS CRUZ OCAMPO.



Ciudad Universitaria, México D.F. 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# Dedicatoria

A mis padres Martha y Miguel por darme la vida, por sus consejos, por brindarme la oportunidad de culminar este sueño y por su apoyo incondicional a pesar de todo.

¡Los amo!

A mis hermanos Gisela y Miguel, que son los mejores amigos que la vida me dio, porque con ustedes he vivido los mejores momentos de mi vida. Quiero que sepan que cuentan conmigo para lo que sea, porque somos hermanos, amigos y cómplices.

A mi pequeña Sofí que a pesar de su corta edad es mi maestra de la vida, es mi inspiración y mi motor para seguir adelante. ¡Te amo mi niña!

A Roberto que es un ángel que Dios y la vida me puso en el camino, porque sin ti sinceramente muchas cosas que he logrado no serían posibles. Sabes qué estaré a tu lado incondicionalmente. ¡Te amo!

## ***Agradecimientos***

A Dios o al destino dependiendo de cómo se quiera llamar por ponerme en todas las situaciones que he atravesado en mi vida, porque nada es una casualidad y tenemos lo que merecemos y aquello por lo que hemos luchado.

Al proyecto ***FONDO MIXTO CONACYT-GDF No. SOLICITUD 0121119 Convocatoria: M0031-2009-01*** y a sus colaboradores por la oportunidad de participar en él y por la beca que se me proporcionó para realizar mi trabajo de Tesis.

Al Ing. Juan Carlos Cruz Ocampo por invitarme a participar en este proyecto, además de compartir conmigo todos sus conocimientos, por la paciencia que me tiene, por las comidas, por confiar en mí, por qué más que mi tutor lo considero un amigo y muy buen consejero. De verdad muchas gracias por todo lo que ha hecho por mí.

A mis sinodales: Dra. Mayumi, Maestro Emiliano, Maestro Noé y al Ing. Martín que amablemente aceptaron participar en este trabajo, y por sus acertados comentarios para la retroalimentación y corrección del mismo.

Al Lic. Miguel A. Ramírez Beltrán y al Mtro. Armando García de León Loza del Instituto de Geografía de la UNAM, por brindarme imágenes de excelente calidad de la zona de estudio del presente trabajo así como mapas que son parte del Anexo II de este trabajo, pero más valioso aún su tiempo y esfuerzo.

A mi padre Miguel especialmente, porque en los días para culminar este proyecto tuve su apoyo en todos los sentidos, su compañía serena y sus buenos deseos. Y te agradezco todo lo que me has dado porque créemelo que desde niña siempre te he admirado y querido mucho. ¡Gracias!



A mi madre Martha porque sin su apoyo y su tiempo no hubiese podido realizar muchas cosas en mi vida, entre ellas este sueño. Siempre has sido un soporte único en mi vida. ¡Gracias!

A mi novio Roberto por todo lo que me ha dado, por su amor incondicional y sincero que es el tesoro que más valoro; gracias por alentarme a dar siempre lo mejor de mí, por secar mis lágrimas, por arrancarme sonrisas, por calmar todas mis ansias, por cuidarme, por querer siempre lo mejor para mí, por enseñarme esas pequeñas cosas de la vida que son invaluableles. Simplemente gracias por aparecerte en mi camino y por apostar siempre por mí. Agradezco también el apoyo que me han dado tus padres Leticia y Roberto tanto a mí como a mi familia, su apoyo y cariño los tengo muy presentes.

A mis amigos que siempre han estado conmigo ustedes saben muy bien quiénes son; en especial a Claudia porque hemos compartido mucho estos últimos meses, gracias “Cucus” por ser mi amiga en todo momento, por tu discreción y por ser como eres, sabes que te quiero mucho y cuentas conmigo para lo que necesites.

A todas las personas que de alguna forma han puesto su granito de arena para que yo haya podido conseguir mis metas. Especialmente por los últimos meses a Adán, gracias por las imágenes digitalizadas, las comidas y las horas del té.

A mi alma mater la Facultad de Ingeniería de la UNAM por la excelente educación que me impartió y a todos los profesores que invirtieron su esfuerzo y tiempo en mí durante mi estancia en tan distinguida Universidad.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1 Antecedentes.....	9
1.2 Objetivos.....	10
1.3 Trabajos previos.....	10
1.3.1. Trabajos Previos realizados en la Primera y Segunda sección del Bosque de Chapultepec.....	11
1.4 Método de trabajo.....	14
<b>2. GEOLOGÍA GENERAL DE LA CUENCA DE MÉXICO, SECTOR PONIENTE.....</b>	<b>14</b>
2.1.- Geología de la Cuenca de México.....	14
2.1.1 Ubicación.....	14
2.1.2 Estratigrafía.....	15
2.1.3 Tectónica.....	18
2.1.4 Clima.....	21
2.2.- Geología de la Zona Poniente del Distrito Federal.....	23
2.2.1 Introducción.....	23
2.2.2 Definición.....	23
2.2.3 Contenido Litológico.....	24
2.2.4 Estructura.....	25
2.2.5 Condiciones Climáticas.....	26
2.2.6 Tectónica.....	27
2.2.7 Posición Estratigráfica.....	27
2.2.8 Las Lomas.....	27
2.3.- Geología del Bosque de Chapultepec.....	29
2.3.1 Localización Geográfica.....	29
2.3.2 Zonificación Geotécnica.....	30
<b>3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DE MÉXICO, SECTOR PONIENTE.....</b>	<b>34</b>
3.1.- Aspectos estructurales de la zona poniente.....	34
3.1.1.La Sierra de Guadalupe.....	34
3.1.2.La Sierra de las Cruces.....	36
3.1.3.El Cerro de San Miguel.....	37
3.1.4.Conexión con la Sierra del Chichinautzin.....	40
3.2.- Aspectos estructurales de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.....	42

<b>4. ESTRATIGRAFÍA GENERAL DE LA CUENCA DE MÉXICO, SECTOR PONIENTE.....</b>	<b>44</b>
4.1.- Estratigrafía de la zona Poniente.....	44
<b>5. GEOTÉCNIA DE TALUDES DE LA TERCERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC.....</b>	<b>49</b>
5.1.- Clasificación de taludes y evaluación de riesgo.....	49
5.2.- Generalidades de Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.....	56
<b>6. CARACTERIZACIÓN MINERAL DE TALUDES DE LA TERCERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC.....</b>	<b>58</b>
6.1.- Caracterización mineral de los taludes de la de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.....	58
6.1.1. Introducción y ubicación.....	58
6.1.2. Descripción mineralógica.....	60
6.2.- Petrografía de muestras de los taludes de la de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.....	87
6.2.1. Metodología de trabajo.....	87
6.2.2. Análisis de la información.....	91
6.2.3. Resultados.....	
<b>7. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>106</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>114</b>

**ANEXO I**

**ANEXO II**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Localización de la Cuenca de México. Tomada de Gutiérrez de McGregor 2005.....	15
Fig. 2. Esquema geológico general del Valle de México. Modificada de Mooser 1986.....	16
Fig. 3. Esquema geológico general de la transición Lomas-planicie dentro de un “delta” aluvial. Modificada de Mooser 1986.....	16
Fig. 4. Esquema geológico general de la transición Lomas-planicie fuera de un “delta” aluvial. Modificada de Mooser 1986.....	16
Fig. 5. Correlación Estratigráfica para la Cuenca de México. Modificado de Aguayo y Marín, 1989.....	17
Fig. 6. La cuenca de México en el Plio-Pleistoceno (de acuerdo a Mooser, 1975). Tomado de Gutiérrez de Mac Gregor 2005.....	19
Fig. 7. La cuenca de México en el Cuaternario Superior (de acuerdo con Mooser 1975, modificado por José Juan Zamorano Orozco). Tomado de Gutiérrez de Mac Gregor 2005.....	20
Fig. 8. Secciones Geológicas de la Cuenca de México. Tomada de Santoyo y colaboradores 2005.....	21
Fig. 9. Secuencia del desarrollo de los Lagos en la Cuenca de México. Tomada de Santoyo y colaboradores 2005.....	22
Fig. 10. La Formación Tarango y suelos Tacubaya y Becerra superpuestos.....	24
Fig. 11. La Formación Tarango está formada de varios abanicos volcánicos superpuestos y entrelazados. Modificada de Mooser 1986.....	26
Fig. 12. Sección W-E mostrando la posición de la Formación Tarango respecto a formaciones anteriores y posteriores. Modificada de Mooser 1986.....	27
Fig. 13. Barranca erosionada en la Formación Tarango y rellenada por un lahar de “arenas azules” del tipo Santa Fé. Modificada de Mooser 1986.....	28
Fig. 14. Localización del Bosque de Chapultepec y las Secciones que lo componen. Elaboración propia, con imágenes proporcionadas por el Instituto de Geografía, UNAM.....	29
Fig. 15. En el recuadro color verde, se aprecia la Zonación Geotécnica correspondiente al Bosque de Chapultepec. (Tomada de Santoyo, 2005).....	33
Fig. 16. Las sierras que circundan a la Ciudad de México. Tomado de S.M.M.S., 1992.....	35
Fig. 17. Estructura de la Sierra de las Cruces. Modificada de S.M.M.S., 1992.....	36
Fig. 18. Estructura del Cerro de San Miguel. Tomada de S.M.M.S., 1992.....	38
Fig. 19. Elementos de la caldera doble del antiguo escudo- volcán de Contreras. Tomado de S.M.M.S., 1992.....	39

Fig. 20. Conexión Tectónica entre la Fosa de Acambay y la Sierra del Chichinautzin. Tomado de S.M.M.S., 1992.....	41
Fig. 21.- datos estructurales de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, tomados de la Tabla 1en donde se muestran las direcciones preferenciales de fracturas, estratificaciones y fallas. Elaborado con el programa StereoNett.....	43
Fig. 22. Columna Tipo de la Formación Tarango. Modificada de Ruíz, 1998.....	48
Fig. 23. Nomenclatura de Taludes y laderas. Tomado de Varnes, 1978.....	49
Fig. 24. Procesos de deterioro en macizos rocosos (Nicholson y Hencher –1997).....	51
Fig. 25. Nomenclatura de un deslizamiento. Tomado de Varnes, 1978.....	52
Fig. 26. Flujos de diferentes velocidades.....	54
Fig. 27. Circuitos 1 y 2 en la Tercera sección del Bosque de Chapultepec.....	59
Fig. 28. A) Diagrama de Streckeisen para rocas faneríticas con más del 10% de (cuarzo+ feldespato+ feldespatoideos). B) Diagrama de Streckeisen para clasificación y nomenclatura de rocas volcánicas.....	92
Fig. 29. Dendrograma de las muestras del Talud # 1 o Alto formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales.....	94
Fig. 30. Dendrograma de las muestras del Talud caídos formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales.....	96
Fig. 31. Dendrograma de las muestras del Talud Cañada formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales.....	97
Fig. 32. Dendrograma de las muestras del Talud Escuela formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales.....	99
Fig. 33. Dendrograma de las muestras del Talud Prueba formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales.....	102
Fig. 34. Diagrama Ternario de las tobas de los Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec creado mediante el programa Pro Sim Ternary diagram.....	103
Fig. 35. Dendrograma de las tobas de los Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec formado a partir de Cluster Analysis en dónde los parámetros utilizados son el contenido de vidrio, cristales y fragmentos de roca.....	104
Fig. 36. Dendrograma de los fragmentos líticos seleccionados de las unidades de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec formado a partir de Cluster Analysis en dónde los parámetros utilizados son el contenido de cuarzo, feldespatos alcalinos, plagioclasas y minerales accesorios.....	105
Fig. 37.- Comparación porcentual del contenido de vidrio de las tobas de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.....	109

Fig. 38.- Porcentajes de los minerales que componen los diversos fragmentos líticos presentes en las unidades litoestratigráficas de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.....111

Fig. 39. Columnas litoestratigráficas de los taludes Caídos y Escuela respectivamente generadas a través del programa Stratigrapher de Geostru .....112

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1.-Antecedentes

El proyecto referente a Estudios Geológicos, Geofísicos y Geotécnicos para caracterizar y determinar la presencia de inestabilidades en el subsuelo en los taludes de la 3ª sección del Bosque de Chapultepec perteneciente a **FONDO MIXTO CONACYT-GDF No. SOLICITUD 0121119 Convocatoria: M0031-2009-01**, está siendo desarrollado a partir de la necesidad de dar una continuidad y una correlación a los estudios realizados para la consolidación de minas, suelos, cavidades y taludes en la Segunda y Tercera Sección del Bosque de Chapultepec y la zona de Lago (Primera Sección del Bosque de Chapultepec) a fin de dictaminar el grado de riesgo y proponer medidas de prevención.

El Bosque de Chapultepec se encuentra localizado al poniente de la ciudad de México (Mapa 1, Anexo II) en la estructura geológica denominada la Sierra de las Cruces, la cual está caracterizada por derrames de lava, flujos piroclásticos, detritos, lodo, escombros, etc., que en su conjunto se denomina Formación Tarango. En el piedemonte de la Sierra, hacia la cuenca de México están presentes los patrones de drenaje, corrientes fluviales, taludes inestables, cárcavas, barrancos y asentamientos humanos. En esta sierra existen tres tipos de sistemas de fallas orientadas; NS, NE-SW, y EW. El comportamiento y mapeo de estas fallas no es del todo claro, sin embargo algunos estudios han indicado la presencia de éstas en la zona de piedemonte; a lo largo de los cauces de los ríos, rasgos marcados por algunas barrancas, así como en algunos tramos de las trayectorias marcadas por colapsos. A mediados de siglo XX, los materiales presentes en el piedemonte han sido explotados para fines de construcción. Esta explotación no fue sistemática, y producto de ello fue una serie de minas (algunas subterráneas) que quedaron abandonadas y donde actualmente se ha asentado la mancha urbana de la ciudad y algunas importantes obras de infraestructura. Así, en la zona poniente de la ciudad de México se conjugan dos factores de riesgo geológico. Por un lado, el sistema de fallas induce un factor adicional al peligro sísmico que se puede esperar en la zona. Si bien es cierto que los sismos de subducción afectan al centro del país, en menor proporción se cuentan con estudios del movimiento sísmico esperado por fallas superficiales.

El Servicio Sismológico Nacional ya ha reportado enjambres de sismos precisamente en la zona poniente, sin embargo aún no se cuenta con un monitoreo y estudio a fondo sobre las características sismogénicas de estas fallas. Por otro lado, la morfología de la zona poniente es complicada, por ello, la presencia de taludes y minas no caracterizadas, incrementa el nivel de riesgo a la población.

Para la comprensión de la geología en la Zona Poniente del Distrito Federal; es importante hacer mención de los eventos volcánicos que se suscitaron en el cerro San Miguel. Sin embargo, se hará una breve introducción de la Geología de la Cuenca de México en el siguiente capítulo para relacionar mediante lo general casos particulares del estudio Petrográfico llevado a cabo en los Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

### *1.2.- Objetivos.*

El objetivo general del proyecto consiste en caracterizar mediante estudios geológicos y geofísicos el subsuelo en la región de taludes de las distintas secciones del Bosque de Chapultepec, a fin de dictaminar el grado de riesgo debido a la inestabilidad de éstos y proponer medidas de prevención.

El objetivo en particular de este trabajo, es el de generar un informe petrológico y petrográfico a partir de la descripción megascópica y microscópica de las muestras de la Formación Tarango obtenidas en los diferentes taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec para su clasificación en unidades.

### *1.3.-Trabajos Previos.*

En la Sierra de las Cruces y zonas circunvecinas los trabajos publicados son de carácter regional y la mayoría se han enfocado a reconocer las estructuras geológicas de la Cuenca de México, particularmente la del subsuelo de la zona urbana, para determinar si ésta influye de manera adversa en las obras civiles ya existentes o en las que están por construirse. Esto es completamente explicable, puesto que la Cuenca de México requiere de soluciones con aplicación inmediata para dar respuesta a los múltiples y variados problemas urbanos que se generan en esta gran ciudad.

A continuación se mencionan autores junto con su aporte en diferentes áreas referentes a la zona Poniente:

- Félix y Lenk (1890) realizaron estudios petrográficos con los que concluyeron la existencia de un magma original cuarzo diorítico que, a través de múltiples y pequeñas diferenciaciones, produjo lavas y piroclastos de las grandes sierras que circundan la Ciudad de México.
- Bryan (1948) describió la Formación Tarango que aflora al pie de las estructuras mayores que limitan el sur de la Cuenca de México. La descripción del afloramiento dice que “consiste en 300 a 400 [m] de toba, aglomerado, grava volcánica de origen fluvial y capas delgadas de pómez”.
- Arellano (1948) hizo una recopilación de análisis químicos de las rocas volcánicas al sur de la Cuenca de México, con el fin de establecer con cierta precisión la constitución de las rocas volcánicas que forman parte de la estratigrafía de la Cuenca de México, debido al alto contenido de sodio.
- Blázquez (1956) y Mooser (1957) mencionaron que hacía el oeste y noreste de las laderas del Ajusco, se encuentran las rocas más viejas de la región conocida como la Serie Andesítica Las Cruces. La parte inferior de estas rocas es una brecha volcánica con mantos intercalados de lavas andesíticas, la parte superior de la sierra está formada por flujos de lavas riódacíticas con laderas suaves.



- Mooser (1984) mencionó que la formación del estratovolcán San Miguel debió iniciarse cuando la actividad erosiva se intensificó a finales del Plioceno y corresponden con la fase de la Tarango Inferior. Posteriormente la segunda fase de la Formación Tarango Superior tiene relación a la siguiente etapa eruptiva del San Miguel (contemporánea con la formación de la caldera del volcán) y con la aparición de la glaciación Illinoia de Norteamérica.
- Mooser et al. (1986) mencionan que la vida activa del San Miguel se inició a finales del Plioceno.
- Delgado y Martín del Pozzo (1993) proponen que durante el Plioceno tardío y Holoceno, ocurrieron tres diferentes períodos de volcanismo en la región donde se unen la Sierra de Las Cruces, el Ajusco y Chichinautzin. Además consideran que el cierre de la actividad tectónica estuvo relacionado al vulcanismo desde el Plioceno. El alineamiento de NW 65° de los volcanes (Los picachos, Ajusco y Panza) están relacionados a una falla normal, la cual también representa la dirección máxima local del esfuerzo compresivo de varias fallas normales que son paralelas a este alineamiento para formar lo que se ha denominado graben del Tezontle.

#### *1.3.1. Trabajos Previos realizados en la Primera, Segunda y Tercera sección del Bosque de Chapultepec.*

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México en el año 2010 con el fin de dar seguimiento al colapso en la cimentación de la estructura del Lago Mayor que erosionó y socavó los primeros metros del subsuelo (*foto1*), realizó una serie de reconocimientos en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec y en zonas potenciales; que se asocian al fenómeno de la subsidencia en los alrededores del Lago Mayor y demás infraestructura (juegos mecánicos, museos, y Lago menor); instalada en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

El proyecto mencionado, consta de 4 etapas que en total suman 11 actividades que agrupan la aplicación de diferentes métodos. Dentro de esas actividades se pueden resaltar estudios de reconstrucción topográfica, levantamientos de rasgos superficiales, elaboración de secciones geológicas, estudios geofísicos (eléctrica, sísmica, transitorios electromagnéticos y gravimetría), e integración de resultados en estudios geohidrológicos y dictámenes geotécnicos.

Las actividades de carácter geológico realizadas fueron las siguientes:

- 1.- Recopilación y análisis de la información existente. A partir de la revisión técnica de los estudios realizados en el área de estudio; se tomaron en consideración la información correspondiente a la detección de hundimientos y oquedades que se identificaron en las cercanías de las áreas verdes de Washington y La Tapatía.
- 2.- Elaboración de un censo con los rasgos superficiales como: grietas, oquedades, hundimientos, colapsos, fracturas, rupturas en pisos, guarniciones peatonales y de tránsito

vehicular continuo, también visita de aquellos sitios; en donde con anterioridad se haya reportado subsidencia y colapso en la superficie del terreno.

Se recopiló la siguiente información:

- a) Localización mediante el sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM); utilizando el Elipsoide WGS84 (World Geodetic System) determinado a partir de datos satelitales.
- b) Descripción geológica a detalle del rasgo superficial
- c) Medición del rasgo en la superficie del terreno: longitud, abertura, profundidad.
- d) Fotografía del rasgo cartografiado.
- e) Importancia del rasgo con respecto a la superficie perimetral del Lago y de la infraestructura instalada en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec.

3.- Cartografía de rasgos superficiales en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec; en un área de aproximada de 140,000 m<sup>2</sup>; en donde se localizan: Los Lagos Mayor y menor, el museo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), museo de El Papalote, museo de Historia Natural, La Feria (Juegos mecánicos), El Planeta Azul y La Tapatía, la pista El Sope y la estancia infantil Dolores del Río.

\*Algunas conclusiones son derivadas del trabajo de campo y de trabajos parciales realizados del inicio del proyecto a tiempo parcial del desarrollo de este:

El colapso de una boca mina cerca de la fuente de las Ninfas permitió explorar de forma directa el subsuelo. Derivado de esto, los estudios indican que los materiales del subsuelo se encuentran saturados y en condiciones estables siempre y cuando no se altere el equilibrio hidrostático.

- La topografía subterránea de la mina sustenta y corrobora la aplicabilidad de los métodos geofísicos para detectar la presencia de anomalías en el subsuelo.
- Siete líneas de Tomografías Eléctrica en el área de la Segunda sección indican la presencia de considerables anomalías (cavidades, zonas saturadas y obras de infraestructura como ductos) en los primeros 40 m profundidad.
- La integración con estudios geológicos indica que el estrato geológico explotable, que se encuentra en profundidades menores a 20 m, está adecuadamente saturado, indicando que, en general, el subsuelo es estable. Sin embargo, es necesario profundizar en aquellas zonas donde en distancias cortas coexisten las obras de infraestructura con irregularidades del subsuelo.
- El desarrollo y aplicación de métodos de sísmica pasiva para construir imágenes 3D de velocidad de onda de corte derivó en resultados que evidencian anomalías con escalas de más de 4 m. Con este método se han realizado 8 tomografías (lago menor, zona de

cárcamos, mina de las Ninfas, círculo frente a la pista el “Sope”, parque a espaldas del monumento a *Washington*, y lago mayor).

- Las diferentes tomografías han permitido mejorar la interpretación de resultados en la parte norte del lago mayor, donde se observa la posible coexistencia de interceptor poniente con una zona anómala de dimensiones proporcionales o mayores (en el centro del lago) a la que indica el Interceptor poniente.
- Las velocidades de corte en la zona del colapso de 2006 en el lago mayor, contrasta notablemente con una zona altamente saturada (identificada con tomografía eléctrica) en la parte lateral NE del lago, la cual se encuentra entre 8 y 20 m de profundidad.
- A fin de complementar los resultados de tomografía eléctrica y sísmica, se han aplicado otras dos técnicas geofísicas. Se trata de microgravimetría y magnetometría. Los resultados de estos estudios están en una etapa preliminar, pero ya indican la presencia de cuerpos a profundidad con escalas proporcionales a los que detectan eléctrica y sísmica.



*Fotografía 1.- en junio de 2006 a raíz del colapso en la cimentación de la estructura del lago mayor se ocasiono un boquete en el subsuelo que erosiono y socavo los primeros metros.\**

\*ESTA INFORMACIÓN FUE TOMADA DEL INFORME DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS DEL LAGO MAYOR EN LA SEGUNDA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC DE LA CIUDAD DE MÉXICO PERTENECIENTE A FONDO MIXTO CONACYT-GDF NO. SOLICITUD 0121119. ELABORADO POR: VIDAL MARTÍN, CÁRDENAS MARTÍN, ESCOBEDO DAVID, ANDRADE ANDRÉS Y GRUPO DE COLABORADORES.

#### *1.4 Método de Trabajo*

La realización del siguiente trabajo se divide en tres etapas. En la primera se compiló la información geológica de la Tercera Sección de Chapultepec que corresponde a la Formación Tarango; además de trabajos previos tanto en esa sección como en la Primera y Segunda Sección del Bosque de Chapultepec. En la segunda etapa se llevaron a cabo salidas a la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec para realizar muestreo, descripción mineralógica a nivel megascópico y levantamiento de columnas estratigráficas de algunos taludes que ahí se encuentran y que son potencialmente peligrosos para las personas que habitan y circundan esa zona. En la tercera y última etapa se realizó trabajo de gabinete en el cual se procesaron las muestras seleccionando material pétreo que destacara dentro de los demás para realizarles posteriormente una sección delgada y así determinar su composición mineralógica a nivel microscópico mediante el microscopio óptico. Durante esta etapa y a cargo del M. en C. Noé Santillán Piña, se realizaron análisis granulométricos que se integraran para dar una clasificación adecuada al material que se muestreo. Además se utilizó diverso Software geológico para simplificar la obtención de resultados y tener de manera gráfica la información obtenida.

La culminación de estas etapas de trabajo, darán como resultado el informe petrológico y petrográfico de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec así como las características estratigráficas que se presentan en esa zona con la finalidad de que se utilice por expertos en las disciplinas que conforman este proyecto.

## **2. GEOLOGÍA GENERAL DE LA CUENCA DE MÉXICO, SECTOR PONIENTE.**

### 2.1.- Geología de la Cuenca de México

#### *2.1.1 Ubicación*

La Cuenca de México se localiza en el centro del país, y al mismo tiempo ocupa el extremo sur de la altiplanicie Mexicana; entre los paralelos 19°03'53" y 20°11'09" de latitud norte y entre los 98°11'53" y 99°30'24" de longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, con un área aproximada de 9,600 km<sup>2</sup> integrando a su territorio parte del Distrito Federal (1320 km<sup>2</sup>), estado de México (4800 km<sup>2</sup>), Hidalgo(2540 km<sup>2</sup>), Tlaxcala (840 km<sup>2</sup>) y Puebla con 100 km<sup>2</sup> (*Figura 1*).

Se trata de una cuenca endorreica (con desagüe artificial en la actualidad) de carácter lacustre, perteneciente a la Provincia Faja Volcánica Trans-Mexicana también llamado Eje Neovolcánico; que fue afectada por un intenso fracturamiento; la cual se encuentra circundada por montañas, al norte está limitada por las Sierras de Tezontlalpan y Pachuca; al sur por la Sierra Ajusco- Chichinautzin; al oriente por las Sierras Nevada, Río Frío y Calculalpan; y al poniente por las Sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo. Condición que favoreció la formación de los lagos de Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Tláhuac.

Finalmente en su parte central la Cuenca de México; está dividida por la Sierra de Guadalupe, y en su porción sur se identifica la Sierra de Santa Catarina ambas con dirección aproximada este-oeste.

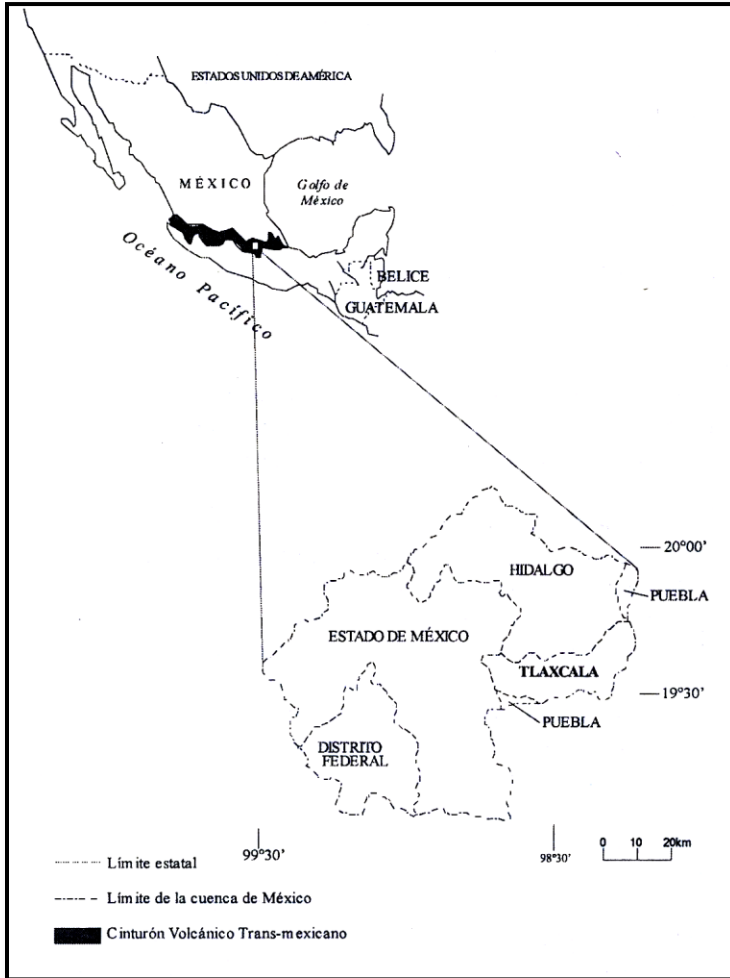


Figura 1.- Localización de la Cuenca de México. Tomada de Gutiérrez de McGregor 2005.

### 2.1.2 Estratigrafía

La secuencia estratigráfica de la Cuenca de México consiste de rocas volcánicas, depósitos aluviales, fluviales y lacustres del Terciario y del Cuaternario, que subyacen discordantemente a rocas calcáreas y calcáreo-arcillosas del Cretácico.

La Cuenca de México semeja una gran presa azolvada, represada por los basaltos de la Sierra de Chichinautzin al Sur (figura 2). El relleno de la cuenca está constituido por arcillas lacustres en su parte superior y por clásticos producto de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes en su parte inferior.

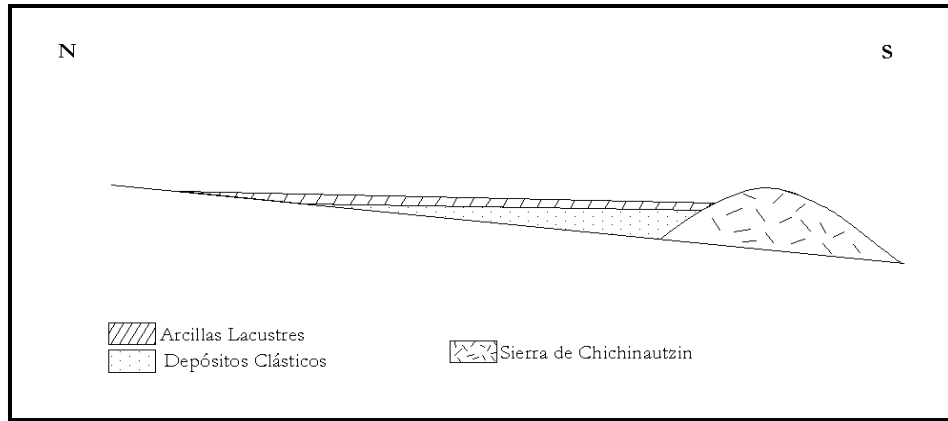


Figura 2.- Esquema geológico general del Valle de México. Modificada de Mooser 1986.

Intercalados en el relleno se encuentran además materiales como capas de ceniza y estratos de pómez producto de las erupciones volcánicas menores y mayores durante los últimos 500,000 años (Pleistoceno Superior), tiempo transcurrido desde el inicio del cierre de la cuenca. También existen numerosos suelos, producto de la meteorización de los depósitos volcánicos, fluviales, aluviales y glaciales; que suelen presentar un color característico del ambiente en que fueron formados; así los suelos de color amarillento corresponden a climas fríos y suelos cafés y hasta rojizos a climas moderados a subtropicales. En grandes términos, este complejo relleno es lo que sustenta a la Ciudad de México hacia la mitad de este siglo, sus edificios y obras se fueron desplantando sobre los rellenos correspondientes al borde de la planicie, compuestos por sedimentos transicionales (figuras 3 y 4), y actualmente la urbe se ha extendido aún más, rebasando los límites de la planicie y subiendo a los extensos flancos occidentales de la cuenca, espacio cubierto por los abanicos volcánicos de la sierra de las Cruces, conocido como las Lomas. Sus depósitos clásticos difieren mucho de los depósitos arcillosos superficiales del centro de la cuenca.

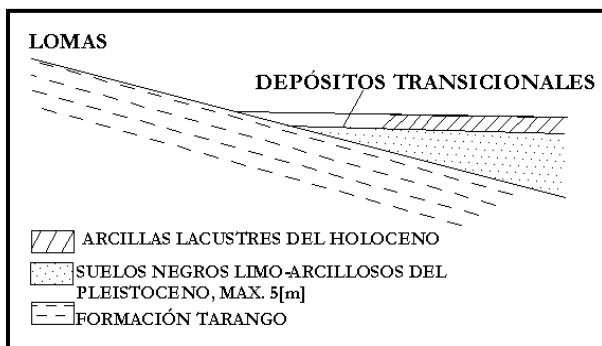


Figura 3.- Esquema geológico general de la transición Lomas-planicie dentro de un "delta" aluvial. Modificada de Mooser 1986.

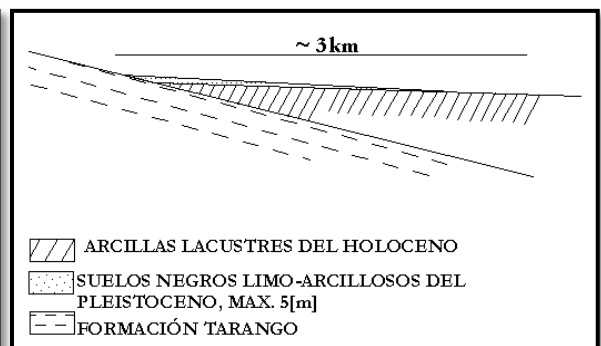


Figura 4.- Esquema geológico general de la transición Lomas-planicie fuera de un "delta" aluvial. Modificada de Mooser 1986.

Los datos estratigráficos recabados de trece pozos profundos han ayudado para empezar a vislumbrar el tipo y la distribución de los horizontes litoestratigráficos en el subsuelo; de los cuales, cinco los perforó Petróleos Mexicanos (**Texcoco-1 a 2065 [m]**; **Copilco-1 a 2258 [m]**; **Tulyehualco-1 a 3000 [m]**; **Mixhuca-1 a 2452 [m]** y **Roma-1 a 3200[m]**) y los nueve restantes estuvieron a cargo del Departamento del Distrito Federal (**Avenida Cien Metros-1 a 2,233 m**; **San Juan de Aragón -2 a 2232 [m]**; **Tlahuac-3 a 2241 [m]**; **Río San Joaquín-4 a 2267 [m]**; **La Castañeda-5 a 2317 [m]**; **Avenida Centenario-6 a 2350 [m]**; **Coapa-7 a 2236 [m]** y **Coapa-8 a 2234 [m]**).

Mediante los resultados de estos pozos se pudo determinar la complejidad estratigráfica y estructural de la cuenca, ya que los sedimentos fueron transportados de muy diversas fuentes, por lo que su textura, composición y ubicación son diversos. Esto aunado a la presencia de derrames volcánicos y de piroclastos intercalados con los horizontes sedimentarios, hace aún más compleja a la columna estratigráfica.

Así pues tenemos que entre las rocas del Cretácico y las del Neógeno – Paleógeno, existe una gran discordancia, puesto que no hay evidencias de rocas del Paleoceno hasta el Eoceno Medio. La discordancia está representada por los Grupos Morro y Balsas del Eoceno-Superior y del Oligoceno. El grupo Balsas aflora en la porción sur de la Cuenca y el Morro al norte de la misma, cerca de Amajac, Hidalgo. Estos dos grupos consisten de conglomerados rojizos por oxidación, con clastos calcáreos bien consolidados; los estratos son masivos y lenticulares de origen fluvio-aluvial. Localmente los estratos conglomeráticos tienen intercalaciones de tobas y de lavas de composición andesítica y basáltica.

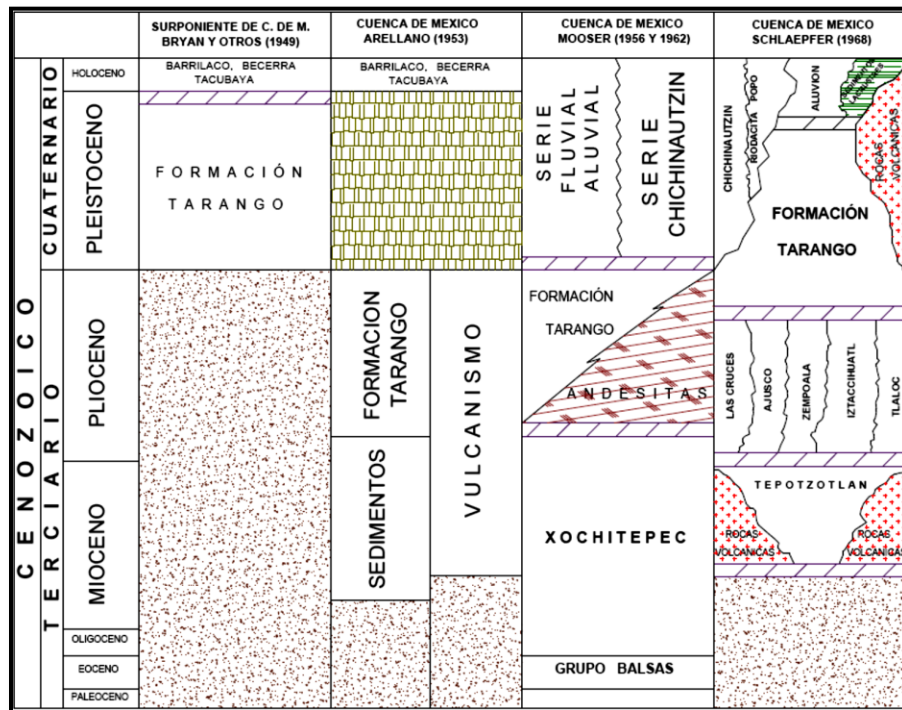


Figura 5. Correlación Estratigráfica para la Cuenca de México. Modificado de Aguayo y Marín, 1989.

El pozo Texcoco-1 cortó una sección de 85 [m] de conglomerados El Morro a 1980 [m] de profundidad; estos sedimentos terrígenos están asociados con evaporitas y arcillas, lo que indica la presencia de depresiones locales endorreicas, producto del fallamiento en bloques distensivos de la secuencia calcárea cretácica, durante el Eoceno Tardío.

### *2.1.3 Tectónica*

Durante el Mioceno Inferior y Medio, en la Cuenca de México nuevamente hubo reactivaciones tectónicas, con el consecuente fracturamiento y fallamiento de la misma. Los sistemas estructurales son conjugados SW-NE y SE-NW, probablemente generados por los esfuerzos compresivos de la placa de Cocos (Mooser, 1975; Aguayo y Marín, 1987;). El fracturamiento Suroeste-Noreste está representado por la falla Apan-Tlálloc que incide en el extremo sur del Tepozteco. El otro sistema estructural Sureste-Noroeste corresponde a los alineamientos Popocatepetl-Cerro de los Pitos-Cerro de Chimalhuacán y Sierra de Guadalupe.

El desarrollo de fracturas y fallas está asociado con actividad volcánica de diversa composición, desde andesíticas y riodacitas hasta andesitas básicas y dacitas. Al complejo volcánico, Mooser (1962; en: Sánchez-Díaz, 1989) lo denominó Formación Xochitepec, que aflora en la Sierra de Xochitepec al noroeste del poblado de Xochimilco. Aparentemente la formación está muy extendida en el interior de la Cuenca; Mooser (1962) propone que aflora en la base de la Sierra de Guadalupe y en los cerros de Chapultepec, el Peñón de los Baños, Tlapacoya, Santa Isabel, el Tigre, Zacatepec, en la base del Iztaccihualtl y del Ajusco. Schlapfer (1968) coincide con Mooser, con la salvedad que únicamente sitúa a la secuencia volcánica de la Formación Xochitepec en la Sierra del mismo nombre, y del resto de la secuencia volcánica fuera de esa localidad la denomina “Rocas Volcánicas del Terciario Medio”.

Durante el Mioceno tardío la secuencia anteriormente descrita, estuvo sujeta a procesos fluviales, derivándose los conglomerados de la Formación Tepoztlán (Schlapfer, 1968); su localidad tipo se localiza en el poblado del mismo nombre en el estado de Morelos. En este tiempo también hubo actividad volcánica, lo que se manifiesta en las Sierras de Guadalupe, Tepotzotlán y Tepozán. La secuencia volcánica está compuesta por andesitas, dacitas y latitas, y las que denominó Mooser (1975) como: “Grupo de las Sierras Menores”.

En el Plioceno nuevamente existió una fuerte reactivación tectónica, con la formación de sistemas de fallas y de fracturamientos conjugados SE-NW y SW-NE, formando fosas y pilares. El primer fracturamiento incide en la Sierra de Salazar, mientras que el segundo afecta a la Sierra las Palmas en el poniente de la Cuenca, lo cual es visible en la barranca de Contreras. La actividad volcánica se manifestó en toda la Cuenca con la emisión de andesitas y dacitas porfídicas en las Sierras Nevada y Río Frío, al oriente, y en la Sierra de las Cruces y Zempoala, al poniente de la misma, denominadas por Mooser (1975) como “Grupo de Sierras Mayores”.

Al pie de las sierras que circundan a la Cuenca de México se depositaron abanicos aluviales y lahares, intercalados con capas de pómez, cenizas, suelos, gravas y arenas de origen fluvial; a todo este complejo Vulcano-sedimentario, se le conoce como formación Tarango (Bryan, 1948; en:



Sánchez-Díaz, 1989) cuya localidad tipo está al sur-poniente en la Ciudad de México. Posteriormente, otros autores la redefinieron y la subdividieron en varios miembros de acuerdo a la naturaleza de su composición (por ejemplo Arellano, 1951; Segerstrom, 1962; Mooser, 1961; Gasca y Reyes, 1977; y otros; en: Sánchez-Díaz, 1989).

Hacia el suroeste de la Ciudad de México la Formación Tarango se encuentra cubierta por lavas del Grupo Chichinautzin, pertenecientes a los derrames del Xitle en la zona del Pedregal de San Ángel. En la porción occidental de esta Cuenca, la Formación Tarango está al pie de la Sierra de las Cruces, desde la región norte de Cuajimalpa hasta la parte occidental. De San Pedro Atlapulco, al sur de la Marquesa.

Debido a que las capas inferiores de la Formación Tarango sobreyacen y en parte se interdigitan con los derrames de la secuencia volcánica de la Sierra de las Cruces, se le asigna al Plioceno tardío (figura 6). Por otra parte, las cenizas superiores están en contacto con las primeras emisiones volcánicas de la Sierra de Chichinautzin, por lo que la secuencia superior de la Tarango puede corresponder al Plio-Pleistoceno. La parte inferior de la formación está constituida por tobas, aglomerados, depósitos fluvio-aluviales y horizontes de pómez. En su parte superior predominan las cenizas volcánicas, arenas gruesas de pómez y fragmentos andesíticos; todo el material vulcano - sedimentario está mezclado, dando la apariencia de nubes ardientes.

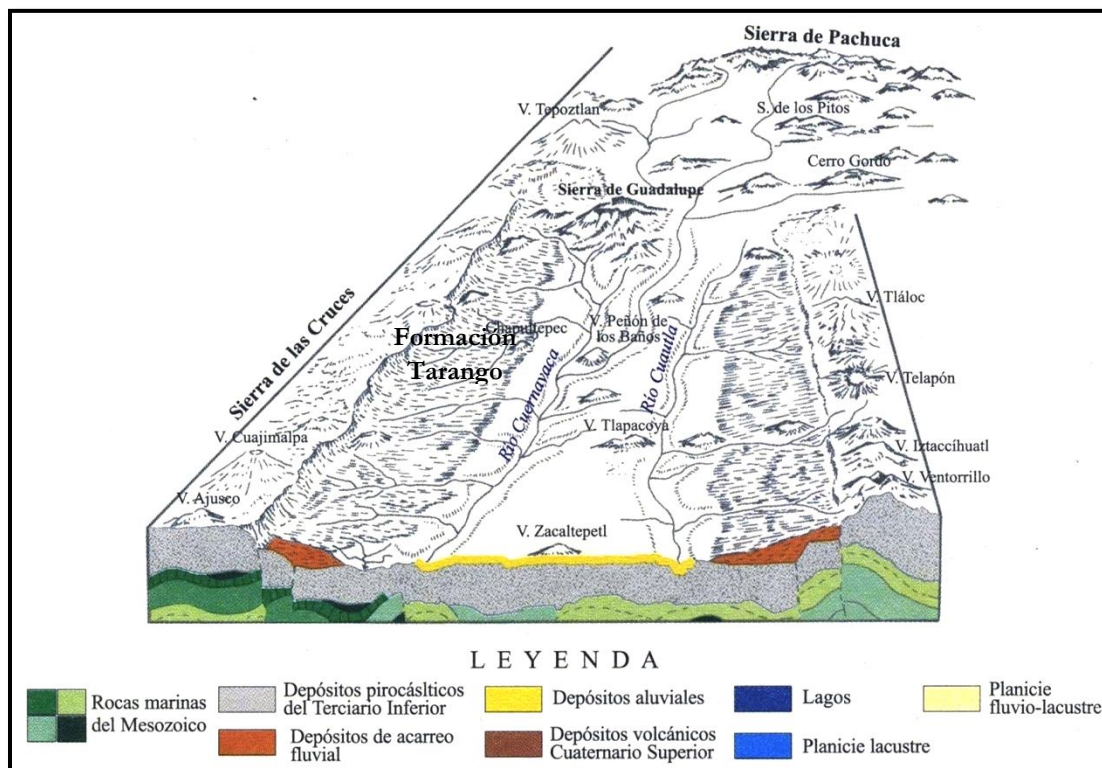


Figura 6.- La cuenca de México en el Plio-Pleistoceno (de acuerdo a Mooser, 1975). Tomado de Gutiérrez de Mac Gregor 2005.

Hacia el centro de la Cuenca de México y hacia el Norte, son comunes los suelos tobáceos y pumicíticos; en la región de Tesquiaquiac, Nochistongo y Tula, además de éstos existen tobas lacustres bentoníticas, denominada como Serie Nochistongo y Requena (Mooser, 1975).

Durante el Plioceno tardío y el Cuaternario temprano continuó la actividad volcánica en las zonas de las Grandes Sierras, formando comúnmente domos andesíticos, riódacíticos y dacitas. La Cuenca de México presentó una nueva reactivación tectónica, en la que los sistemas oeste-este fueron dominantes en la zona de la Malinche, al norte de Puebla, y en el Nevado de Toluca. Los nuevos sistemas estructurales tuvieron flexiones con dirección oeste-suroeste y este-noreste, uno de estos sistemas está representado por la Sierra del Ajusco, así como por los pequeños conos alineados que conforman la Sierra de Santa Catalina y la Sierra del Chichinautzin; que contiene abundantes materiales volcánicos de tezontle. La actividad tectónica dio origen a efusiones de andesitas y sucesivamente, andesitas basálticas; en el Cuaternario tardío, los basaltos fueron abundantes, dando lugar a la acumulación de más de 1,000 km<sup>3</sup> de rocas volcánicas que constituyen la Sierra del Chichinautzin, con más de 120 conos cineríticos. Este edificio de rocas volcánicas se desarrolló en los últimos 700,000 años y sirvió de umbral, creándose la Cuenca de México (figura 7).

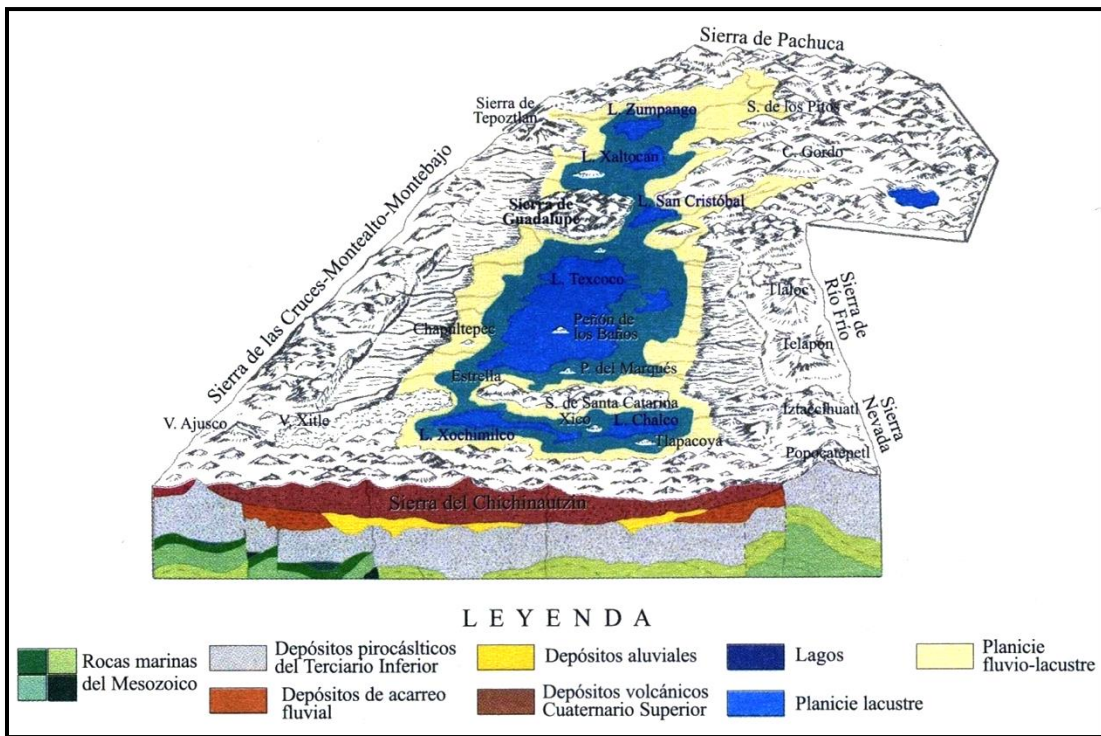


Figura 7.- La cuenca de México en el Cuaternario Superior (de acuerdo con Mooser 1975, modificado por José Juan Zamorano Orozco). Tomado de Gutiérrez de Mac Gregor 2005.

Del Cuaternario tardío al Reciente los valles se cerraron entre el Popocatepetl, al este y la Sierra de Zempoala, al sur y las cabeceras del sistema hidrográfico al norte. Por esta causa la Cuenca de México; se fue azolvando rápidamente por un aporte considerable de acarros fluviales en forma de deyección, formados por los ríos: Hondo, Mixcoac, Contreras y por otros ríos sepultados por las lavas del Ajusco.

Hacia el norte de la Cuenca, el río de Las Avenidas de Pachuca, el de Cuzutitlán, el de Teotihuacán y el de La Compañía, también formaron conos de deyección. Hacia el centro de la Cuenca de México los sedimentos limo-arenosos se estratificaron con cenizas volcánicas y pómez provenientes de las erupciones volcánicas de la Sierra Ajusco-Chichinautzin.

La distribución de las diferentes formaciones se aprecia en las siguientes secciones geológicas, en donde se representa su espesor y geometría en el subsuelo (figura 8).

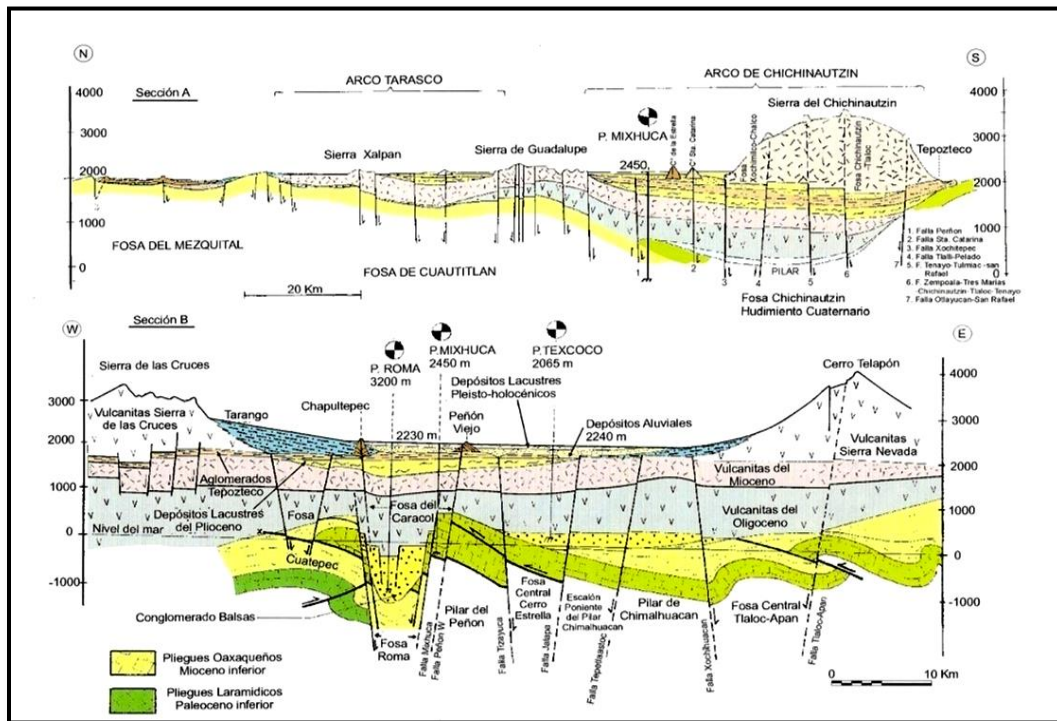


Figura 8.-Secciones Geológicas de la Cuenca de México. Tomada de Santoyo y colaboradores 2005.

### 2.1.4 Clima

La Cuenca de México, además de la actividad volcánica y del drenaje fluvial y aluvial, también estuvo afectada por períodos glaciares e interglaciares en los últimos 100,000 años, además de la precipitación pluvial; estos fenómenos meteorológicos formaron grandes lagos frecuentemente se comunicaban entre sí como se muestra en la figura 9.

Mooser (1972) divide a los lagos formados en el Pleistoceno y del Reciente de la siguiente forma:

- a) Lagos formados en las partes bajas y que constituyen vasos de evaporación por ejemplo: Xaltocan y Texcoco.
- b) Lagos de piamonte de la Sierra de Chichinautzin alimentados de manantiales de agua dulce por ejemplo: Xochimilco y Chalco. El antiguo lago de Tenochtitlán, es un caso intermedio entre los otros dos descritos, en ciertas épocas del año de agua dulce debido al suministro de los manantiales de Chapultepec y Tlalpan, así como de las redes de arroyos provenientes de las Lomas. En épocas de estiaje, en la porción oriental del Lago de Tenochtitlán se incrementa la salinidad por evaporación.

Es posible que la salinidad del lago de Texcoco no deba su origen exclusivamente a procesos de evaporación, puesto que está situada en una zona distensiva NW-SE, la cual incide en los manantiales termales de Pathé, Tecozautla y otros en el Estado de Hidalgo; por lo que, parte de su salinidad puede ser de origen hidrotermal.

Durante las fluctuaciones glaciales e interglaciales (épocas de deshielo) el nivel del lago fluctuaba, lo que es evidente en San Juan de Aragón en donde el espesor de arcilla lacustre es de 90 metros, y se acuña hacia el poniente, en donde el piamonte de las Lomas de Chapultepec, así como en los altos topográficos formados por conos volcánicos que aparecen en las partes inferiores de la cuenca. El espesor de la arcilla lacustre varía desde unos cuantos centímetros en el perímetro de la Cuenca hasta 100 a 200 metros en el lago de Xochimilco-Chalco y en el de Texcoco.

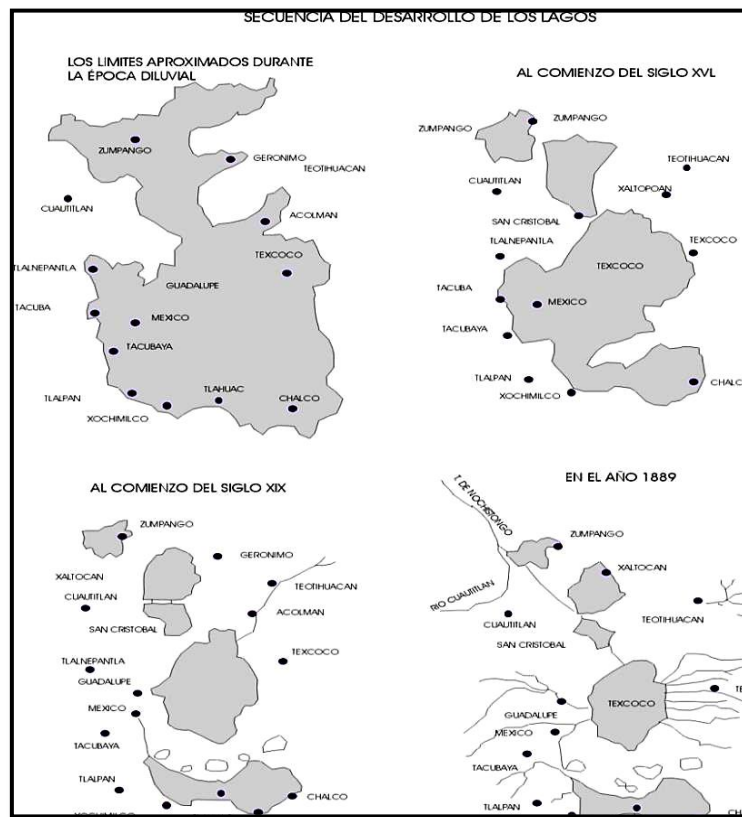


Figura 9.- Secuencia del desarrollo de los Lagos en la Cuenca de México. Tomada de Santoyo y colaboradores 2005.

## 2.2 Geología de la Zona Poniente del Distrito Federal.

### 2.2.1 Introducción

La descripción de la Geología del Poniente de la Ciudad de México se explica con las lomas que se elevan al oeste de la misma y están constituidos por los abanicos volcánicos de la Sierra de las Cruces y comprenden la potente acumulación de materiales piroclásticos que se depositaron a los pies de los distintos aparatos volcánicos durante la vida explosiva de estos. Como tal actividad se desarrolló a partir de fines del Mioceno y se extendió hasta aproximadamente mediados del Plioceno, los citados abanicos volcánicos contienen productos de esta misma edad. Midiendo en la escala absoluta de años, lo anterior abarca entre 10 y 5 millones de años antes del presente. Por lo tanto, las lomas se formaron principalmente en el Plioceno Inferior dentro de un lapso de unos 5 millones de años.

La distribución de las lomas se extiende al pie de las sierras elevadas al Oeste, corresponden aquellas que se desarrollan al pie de las sierras al Este, resalta su estructura casi simétrica respecto a un eje NNW – SSE.

### 2.2.2 Definición

Diversos autores han descrito estos depósitos hacia la zona poniente de la ciudad a los cuales se les dio el nombre de Formación Tarango, las lomas se estudiaron en 1948 por primera vez con cierto detalle.

Bryan y Arellano (1948) describen y mencionan con este nombre a una secuencia que se encuentra en las inmediaciones de una localidad a cuatro kilómetros al sur-poniente de Mixcoac específicamente en la Barranca Tarango, basándose en minas de “arena azul” en explotación y aflora al pie de las estructuras mayores de la Cuenca de México (*figura 10*). La descripción dice que consiste en 300 a 400 [m] de toba, aglomerado volcánico, grava volcánica de origen fluvial y capas delgadas de pómez.

Arellano (1953) menciona que el nombre de Tarango se refiere exclusivamente a material volcánico clástico. Establece que el principio del gran vulcanismo fue a fines del Mioceno, esta edad se aplica a la base de la Formación Tarango y el fin de su depositación se llevó a cabo a fines del Plioceno. Los sedimentos posteriores a este vulcanismo corresponden a tres formaciones principales, comenzando con la más antigua son: Tacubaya, Becerra y Noche Buena.

En los años subsecuentes la división del afloramiento típico en tres unidades estratigráficas se modificó, simplificándola. El conjunto del afloramiento se interpretó subsecuentemente como parte de la Formación Tarango, la cual representa la suma de los productos piroclásticos de las Sierras Mayores depositados a los pies de ellas. Por consiguiente se eliminaron las Formaciones Tacubaya y Becerra (*figura 10*), interpretándolas como horizontes tobáceos en la cima de la Formación Tarango, que fueron erosionados, redepositados en hondonadas y sometidos a



distintos grados de meteorización, consecuencia de condiciones climáticas tal vez del Cuaternario. Así el color gris de un horizonte de suelo fósil tobáceo conteniendo capas de caliche, se interpreta en la actualidad como consecuencia de un clima tendiente a árido (Meteorización Becerra). El color amarillo de otro horizonte tobáceo alterado en general subyacente al anterior, se interpreta como consecuencia de un clima más bien húmedo (Meteorización Tacubaya).

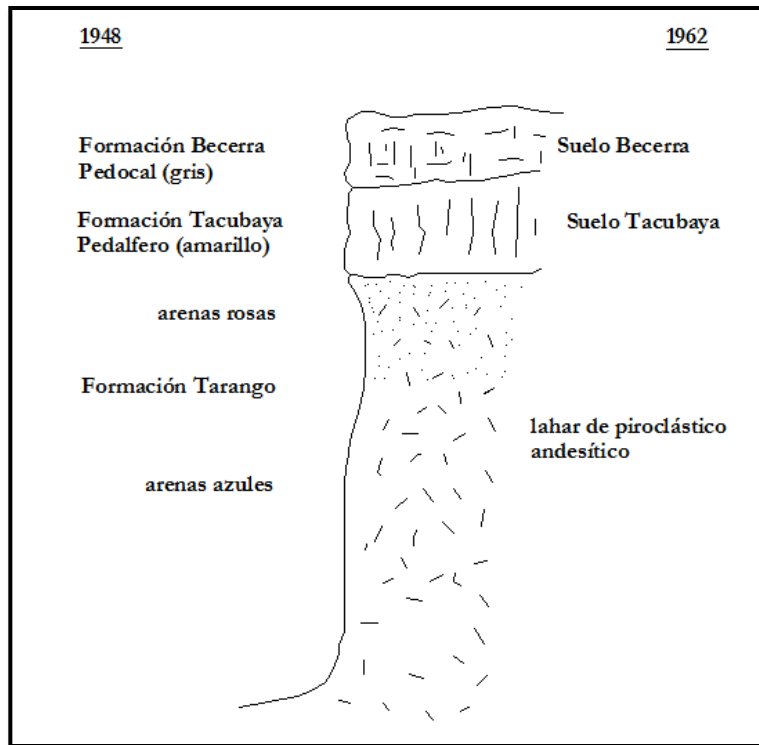


Figura 10.- La Formación Tarango y suelos Tacubaya y Becerra superpuestos. Modificada de Mooser, 1986.

### 2.2.3 Contenido Litológico

La Formación Tarango representa un conjunto estratificado a veces regular, a veces irregular y hasta lenticular, ligeramente inclinado ( $4^\circ$ ), compuesto de los seis siguientes elementos litológicos:

- a) Horizontes de cenizas volcánicas de muy distintas granulometrías.
- b) Capas de erupciones pumíticas.
- c) Lahares.
- d) Ignimbritas.
- e) Depósitos fluviales.
- f) Suelos.

Todos estos elementos, con excepción de los suelos son producto de erupciones por lo general violentas emitidas por las chimeneas de grandes volcanes andesíticos estratificados. Según la actividad del aparato individual y según el magma contenido en él, las erupciones producen cenizas, pómez, brechas, avalanchas ardientes o lavas. Las lavas descienden fluyendo lentamente por los flancos del cono; en forma eventual pueden avanzar por las barrancas algunos centenares de metros a partir del cráter. Por lo contrario, las brechas y cenizas producidas por explosiones más violentas, se dispersan a mayores distancias del cráter siendo a veces hasta arrastradas por los vientos decenas de kilómetros de distancia. Las erupciones más violentas, por fin, producen piedra pómez depositándose ésta a través de lluvias en capas de gran uniformidad hasta distancias muy lejanas del cráter.

Es interesante la formación de dos tipos litológicos especiales: lahares y avalanchas ardientes; los lahares son acumulaciones caóticas de material piroclástico arrastrado en corrientes lubricadas por agua.

A la hora de las grandes erupciones al formarse importantes acumulaciones de material fragmentado al pie de un cono volcánico puede suceder que una lluvia torrencial impregne su masa con agua, induciendo y provocando así su movimiento lento como “corriente de lodo”. Tales lahares rellenan a menudo las barrancas erosionadas en los abanicos volcánicos y forman los depósitos de arenas y gravas azules tan conocidos en las lomas.

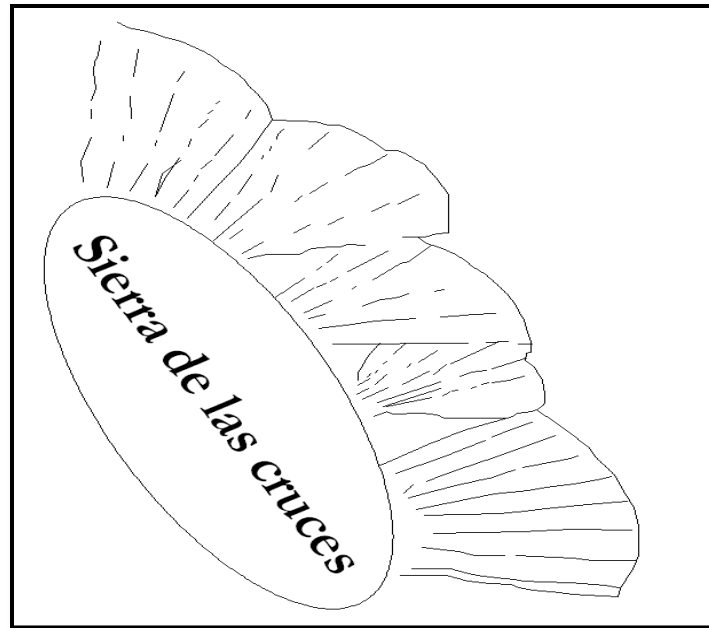
Más extraordinaria que la formación de lahares es la de avalanchas ardientes, aunque se producen con poca frecuencia. Avalanchas ardientes o sea “lahares” impulsados y lubricados por gases calientes; se originan a la hora de erupciones de extraordinaria violencia. Se generan y descienden con velocidades de decenas de kilómetros por hora, cuando se desintegra un tapón volcánico caliente y hasta irrumpe parte de la cámara magmática superior del volcán. A raíz de tales erupciones se han creado los depósitos uniformes, estratiformes y de separación columnar, de piedra de cantera, que se conoce por el Santuario de los Remedios. Son ignimbritas ligeramente soldadas.

La vida de un volcán estratificado como los que componen la Sierra de las Cruces se extiende a través de decenas de milenios al igual que el Popocatépetl, que aunque en aparente calma en este momento, puede considerarse activo. Después de una erupción violenta que dura algunas semanas o cuando mucho uno o dos meses, se interpone un periodo de descanso más o menos prolongado. Es entonces que se pueden producir los fenómenos de meteorización y alteración de los estratos de cenizas volcánicas superficiales; así principia la formación de suelos que pueden llegar a madurez, si entre una erupción y otra se interpone un intervalo de milenios.

#### *2.2.4 Estructura.*

La Formación Tarango alcanza espesores de 300 a 400 [m]. Termina cada abanico volcánico en una superficie estructural propia, que marca el fin de la actividad volcánica que lo produjo. Al estudiar la estructura de la Formación Tarango es posible reconocer que ésta se compone de la superposición de varios abanicos volcánicos. Por lo general cada abanico corresponde a la

vida activa de un volcán. Cuando éste se apaga surge otro volcán, el cual produce su propio nuevo abanico volcánico que se sobrepone al abanico anterior. Así resulta que la Formación Tarango se compone de numerosos abanicos volcánicos superpuestos o entrelazados, según la secuencia o contemporaneidad de las erupciones de distintos volcanes (figura 11).



*Figura 11.- La Formación Tarango está formada de varios abanicos volcánicos superpuestos y entrelazados. Modificada de Mooser, 1986.*

#### *2.2.5 Condiciones Climáticas*

Si se observan distintos cortes de la Fm. Tarango se puede apreciar la ausencia de flora fósil en el conjunto estratigráfico de los suelos; se considera que por haberse formado los depósitos en el Plioceno, tiempo caracterizado por su clima árido, difícilmente podrían crecer bosques o vegetaciones exuberantes sobre los suelos tobáceos en las lomas en formación. Además la frecuencia de las erupciones impedía el crecimiento de tal vegetación, sólo se han podido descubrir indicios de pequeños arbustos y pastizales, cuya existencia se deduce de impresiones fósiles de raíces contenidas en paleosoles de la Fm. Tarango.

Otra conjetura que confirma el clima árido en la Cuenca de México durante la formación de los abanicos volcánicos, la constituye la escasez de depósitos fluviales en su conjunto estratigráfico. Únicamente hacia fines del Plioceno cuando iniciaron los primeros indicios leves de las glaciaciones que culminaron en el Cuaternario, se formaron en las barrancas de las lomas, gruesos depósitos fluviales correlacionables con la Formación Clástica Aluvial del relleno de la Cuenca de México.



### 2.2.6 Tectónica.

En el Mioceno Superior la Cuenca de México sufrió tectonismo en bloques a lo largo de fracturas dirigidas al NW. Este tectonismo fue sustituido en el Plioceno por otro que se desarrolló a lo largo de fracturas dirigidas al NE, creando un conjunto de fosas y pilares. Este último tectonismo que rigió la actividad volcánica de las Sierras Mayores, afectó al mismo tiempo los depósitos de los abanicos volcánicos Tarango, fracturándolos y fallándolos principalmente al NE.

Un fracturamiento importante se desarrolló en el SW afectando a las lomas en el corte profundo de la Barranca de Contreras, que se introduce al Cerro de San Miguel, marcando una falla con desplazamiento al SE de unos 200 [m].

### 2.2.7 Posición Estratigráfica.

La Formación Tarango (*figura 12*) está interestratificada con las series lávicas de las Sierras Mayores (Sierra de las Cruces) donde se originó. Sobreyacen los abanicos volcánicos Tarango a los depósitos volcánicos del Terciario Medio (Formación Xochitepec) y del Mioceno Superior (Sierras Menores: Sierra de Guadalupe y Tepotzotlán). Sin embargo, subyace a los depósitos clásticos aluviales y aluviales del Cuaternario.

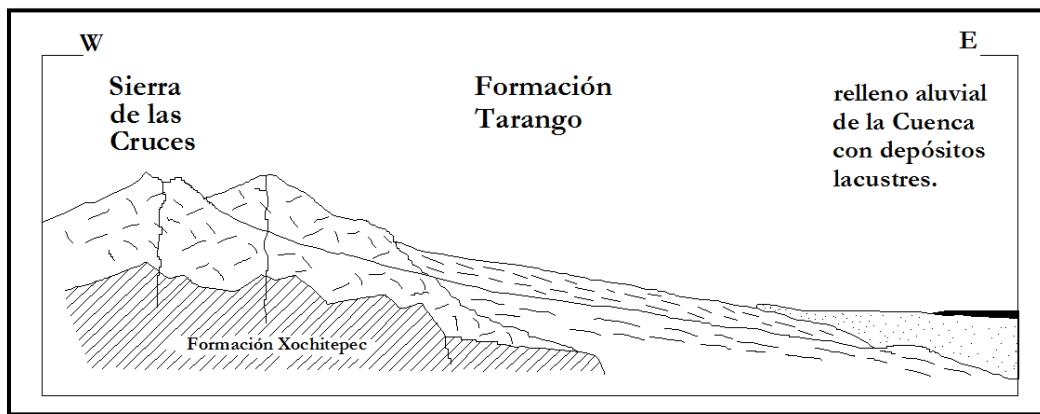


Figura 12.- Sección W-E mostrando la posición de la Formación Tarango respecto a formaciones anteriores y posteriores.  
Modificada de Mooser, 1986.

### 2.2.8 Las Lomas.

Las lomas que se elevan al Oeste de la Ciudad de México, constituyen el producto de las erupciones piroclásticas originadas en el volcán complejo del Cerro de San Miguel. Dicho volcán se edificó a través de distintos ciclos de erupciones, se desprende de su morfología compleja, pero también es posible demostrarlo estudiando la superposición de los distintos elementos integrantes de su abanico volcánico correspondiente.

Gracias a este abanico, ha sido posible subdividir en dos a la Formación Tarango, que se extiende desde San Ángel, al Sur, hasta la Barranca Río Hondo hacia el Norte. La Tarango Inferior representa la acumulación de piroclásticos esencialmente cineríticos y pumíticos, aunque contiene también algunos lahares con fragmentos andesíticos. Todo forma un abanico potente, que sufrió durante un periodo prolongado tectonismo y erosión, cortándose, por consiguiente, barrancas profundas dirigidas al NE en su cuerpo. Subsecuentemente en un periodo final de actividad renovada, ligada a la formación de una gran caldera se produjeron magmas, erupciones de pómez y piroclásticos de andesita azul.

Las capas de pómez cubrieron una topografía ondulada sobre las grandes distancias; los piroclásticos rellenaron las barrancas profundas, sobre todo la de Santa Fé, con lahares potentes que hoy constituyen las Minas de Arenas Azules (Figura 13). Estos depósitos finales se definieron como Tarango Superior.

No es posible extender la anterior división en dos a los demás abanicos volcánicos de la Formación Tarango en la Cuenca de México.

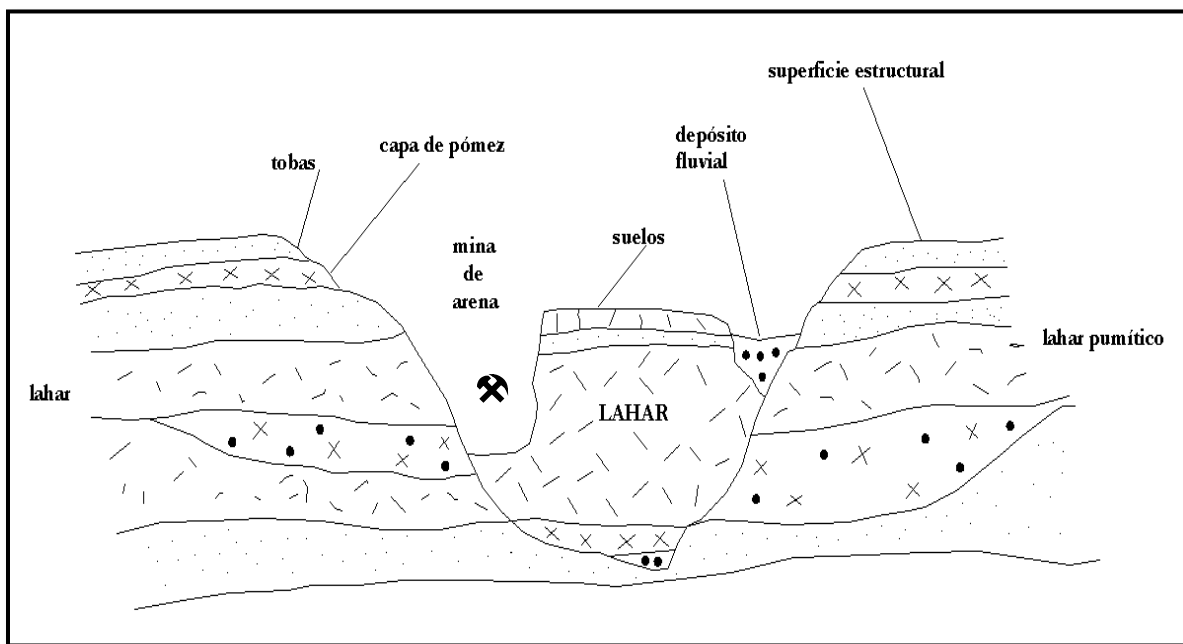


Figura 13.- Barranca erosionada en la Formación Tarango y rellena por un lahar de "arenas azules" del tipo Santa Fé. Modificada de Mooser, 1986.

## 2.3.- Geología del Bosque de Chapultepec

### 2.3.1.- Localización Geográfica

El Bosque de Chapultepec se localiza en la porción occidental de la Cuenca de México (figura 14) en la denominada Sierra de Monte Alto, sus coordenadas geográficas extremas están entre los  $99^{\circ}10'40''$  y  $99^{\circ}14'15''$  de longitud Oeste y  $19^{\circ}23'40''$  y  $19^{\circ}25'45''$  de latitud Norte. Se ubica dentro de la Delegación Política Miguel Hidalgo; limitado por las siguientes vialidades: al norte Rubén Darío y Paseo de la Reforma; al oriente, por las calles cumbres de Acultzingo, Paseo de la Reforma, Sierra Mijes, Montes Carpatos, Miguel Ángel de Quevedo y Avenida Bulevar de los Virreyes; la Primera y Segunda secciones se encuentran divididas por el Periférico o Boulevard Adolfo López Mateos; mientras que la Segunda y la Tercera se encuentran divididas por la intersección de Calzada Lomas y Calle Bernard Gálvez.

Su superficie total es de 686.0181 hectáreas en sus tres secciones; y está integrada de la siguiente manera: 274.0864 hectáreas en la Primera Sección, 168.0326 hectáreas en la Segunda Sección y 243.8991 hectáreas en la Tercera Sección.

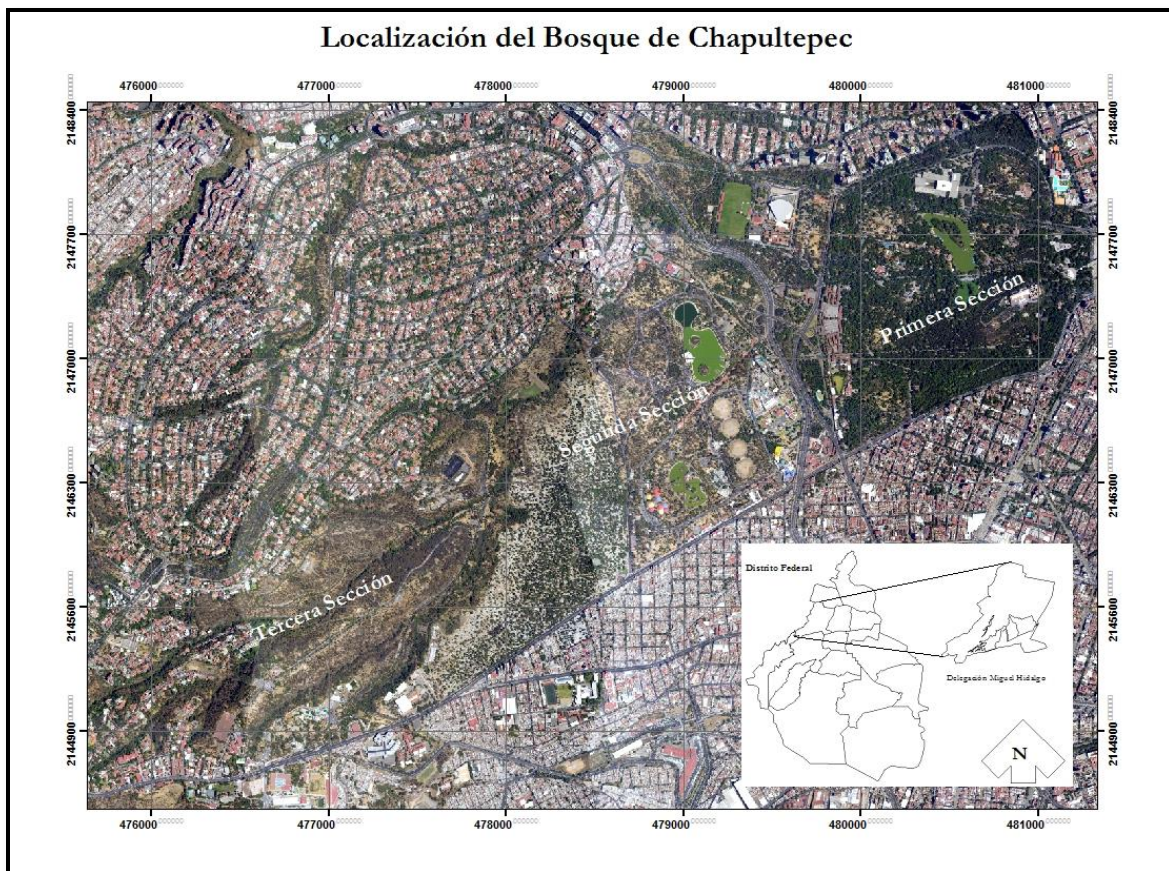


Figura 14.- Localización del Bosque de Chapultepec y las Secciones que lo componen. Elaboración propia, con imágenes proporcionadas por el Instituto de Geografía, UNAM.

### 2.3.2 Zonificación Geotécnica

La compilación de los estudios geológicos que se habían realizado hasta 1985 sirvieron para comprender el comportamiento del suelo de la Ciudad de México y frente a la necesidad que se tenía luego del sismo del año mencionado, y teniendo en cuenta la información superficial así como la de los pozos perforados a diferentes profundidades por PEMEX, se modificó la carta de Zonificación Geotécnica realizada por Raúl Marsal y Marcos Mazari (1959) anexándole subzonas de acuerdo a las características que presentan en las fronteras de cada una de las zonas (*figura 15*). Originalmente la carta de la zonificación del área urbana de la Ciudad de México tenía tres zonas básicas: la llamada Zona de Lomas o pétrea, una zona intermedia de Transición o aluvial y la denominada Zona de Lago o lacustre, con transiciones entre las fronteras de estas. La zona poniente de la ciudad de México corresponde a la Zona I y a la Zona de Transición Alta principalmente.

La *Zona I* está conformada en parte por la Sierra de las Cruces, la Sierra de Guadalupe y las partes altas de los Cerros del Peñón de los Baños, Peñón del Marqués y el Cerro de la Estrella. Se hará mención en el siguiente tema del presente trabajo de las principales Sierras que constituyen a la zona poniente de la Ciudad de México.

A su vez la *Zona II* o Zona de Transición de acuerdo con el criterio, la frontera entre la zona de transición y la de lago se definió a partir de los sitios donde desaparece la serie arcillosa inferior y en los cuales la capa dura está aproximadamente a 20 m de profundidad con respecto al nivel medio de la planicie y se dividió en dos subzonas, llamadas transiciones alta y baja, tienen características diferentes de resistencias al corte.

La *Transición Alta (TAL)*, es la más próxima a las Lomas y presenta irregularidades estratigráficas debido a la presencia de depósitos aluviales cruzados. La frecuencia y disposición de estos depósitos depende de su cercanía a antiguas barrancas.

La *Transición Baja (TBA)*, colinda con la zona de Lago y en ella la serie arcillosa superior tiene intercalaciones de estratos limoarenosos de origen aluvial, que se depositaron durante las regresiones del antiguo lago. Este proceso dio origen a una estratigrafía compleja, donde los espesores y propiedades de los materiales pueden tener variaciones importantes en cortas distancias, dependiendo de la ubicación del sitio en estudio con respecto a las barrancas, a los cauces de antiguos ríos y sus abanicos aluviales.

Por lo anterior, puede decirse que la estratigrafía de la parte superior de la transición baja es similar a la de la subzona de Lago Centro I o Centro II, excepto porque: la costra superficial está formada esencialmente por depósitos aluviales con capacidad de carga no uniforme; los materiales compresibles se extienden únicamente a profundidades máximas de unos 20 metros; existe interestratificación de arcillas y suelos limo arenosos; y se presentan mantos colgados.

El estudio realizado por Marsal y Mazari (1959), recurre a métodos estadísticos para presentar las propiedades mecánicas del subsuelo de la Ciudad de México y presentan las siguientes recomendaciones:

- En la **zona de lomas**, las formaciones son heterogéneas y erráticas, por lo que es necesario realizar pruebas de compacidad relativa. La existencia de minas de arena y grava en ésta región, y por tanto, la posibilidad de que el predio esté surcado por galerías subterráneas, obliga a una exploración minuciosa, pues muchas han sido rellenadas con materiales en estado suelto. En edificios importantes es indispensable la estimación de asentamientos bajo la cimentación, y si la infraestructura es relativamente superficial es conveniente extraer pruebas de pozo a cielo abierto y determinar su resistencia al corte. Debe notarse sobre estos últimos que existen materiales limo-arenosos con relaciones de vacíos mayores que la unidad, resistentes y poco compresibles por efecto del cementante. Las arenas se presentan en estratos o lentes, en donde los finos y uniformes depositados por el viento pueden encontrarse invariablemente en estado suelto.
- En la zona de transición no es posible definir una secuencia estratigráfica y lo fundamental es conocer detalladamente la composición del subsuelo y la compacidad relativa de los estratos arenosos. Cuando la construcción abarca una superficie amplia, es indispensable lograr información de presiones hidrostáticas. Tanto en la zona de transición como en la de lago es importante tener una información completa del subsuelo, basada en determinaciones simples como la identificación de campo y contenidos de aguas.

Por otro lado, las arcillas del Valle de México pueden presentar cambios físicos debido a la consolidación natural, las cuales se consolidan bajo su propio peso exceptuando las costras superficiales duras. Además existe la consolidación inducida, la cual está dada por: colocación de rellenos, apertura de tajos y túneles para el drenaje, extracción de agua del subsuelo y construcción de estructuras. Los procesos de consolidación implican aumentos de la resistencia al corte de los estratos del suelo. La deformación de las arcillas se da en dos etapas. La *consolidación primaria* es ocasionada por el drenaje o salida de agua de la estructura del suelo y es una función del incremento de esfuerzos que se transmiten a la masa del suelo como consecuencia de las sobrecargas de los rellenos y peso de los edificios. En casi toda la ciudad, esta consolidación ocurre en un lapso variable del orden de uno a cuatro años. La *consolidación secundaria* es un mecanismo de deformación viscosa provocada por el incremento de esfuerzos efectivos inducidos por la masa del suelo y se manifiesta durante décadas.

En general, el comportamiento del suelo en la parte poniente de la ciudad de México es en general para la **zona de lomas** formado por suelos areno limosos (tobas) compactos, de alta capacidad de carga, baja deformabilidad y su compresibilidad es despreciable.

En la zona oeste se presentan depósitos aluviales que se sedimentan suavemente sobre la arcilla del lago de la Ciudad de México, generando estratigrafías como las siguientes:

- Capas superficiales de suelos arcillosos o limosos con bajo contenido de agua, en estado suelto o de consistencia blanda. Bajo estos suelos y hacia la zona del lago empieza a encontrarse una capa de arcilla lacustre de alta compresibilidad, cuyo espesor aumenta hacia el centro del lago.
- Finalmente, a continuación de estos suelos se tiene la toba característica de la zona de lomas. Esto sucede en todo el límite oeste del lago, desde Chapultepec hasta unos kilómetros al sur del Río Churubusco. Esta situación se refleja en el comportamiento de las cimentaciones, graduando las variaciones estratigráficas y haciendo relativamente benignos los problemas de cimentación en esta zona que es la conocida como **zona de transición**. Al norte de la zona oeste (zona alta de Lomas de Chapultepec) aparecen conglomerados con alta capacidad de carga.
- La formación arcillosa superior presenta una alta plasticidad, es decir capacidad de deformarse antes de fallar, observado este fenómeno en el hundimiento de edificios no piloteados. Pero si estos suelos son sometidos a tensión, fallan de manera frágil.

De acuerdo a la extensión de estas zonas, el Bosque de Chapultepec se encuentra ubicado en la Zona Geotécnica I o Zona Pétreo o de Lomas y a la Zona Geotécnica II o de Transición específicamente a la Zona de Transición Alta (Santoyo, 2005).

La *Zona I* está conformada en parte por la Sierra de las Cruces, la Sierra de Guadalupe y las partes altas de los Cerros del Peñón de los Baños, Peñón del Marqués y el Cerro de la Estrella. Se hará mención en el tema siguiente de las principales Sierras que constituyen a la zona poniente de la Ciudad de México.

Además según SEDUVI 2010, observan elementos litológicos producto de erupciones de grandes volcanes andesíticos estratificados. Los depósitos más antiguos presentan fracturamientos y fallamientos tectónicos dirigidos principalmente al noreste, dirección que mantiene la mayoría de las barrancas.

Los materiales naturales son de tres tipos:

**a) Tobas y Lahares fracturados:** pueden presentar fracturas en direcciones concurrentes que generan bloques potencialmente inestables, los cuales pueden activarse bajo la influencia de sismos o por efecto de la alteración de las superficies de fracturamiento.

**b) Depósitos de arenas pumicíticas y lahares de arenas azules.**

**c) Lahares poco compactados y depósitos glaciales y fluvioglaciales.**

Estos materiales deben protegerse de la intemperie prolongada. La deforestación y el avance urbano desordenado que ha invadido muchas de estas barrancas de la Zona de Lomas, las convierten en áreas de alto riesgo.



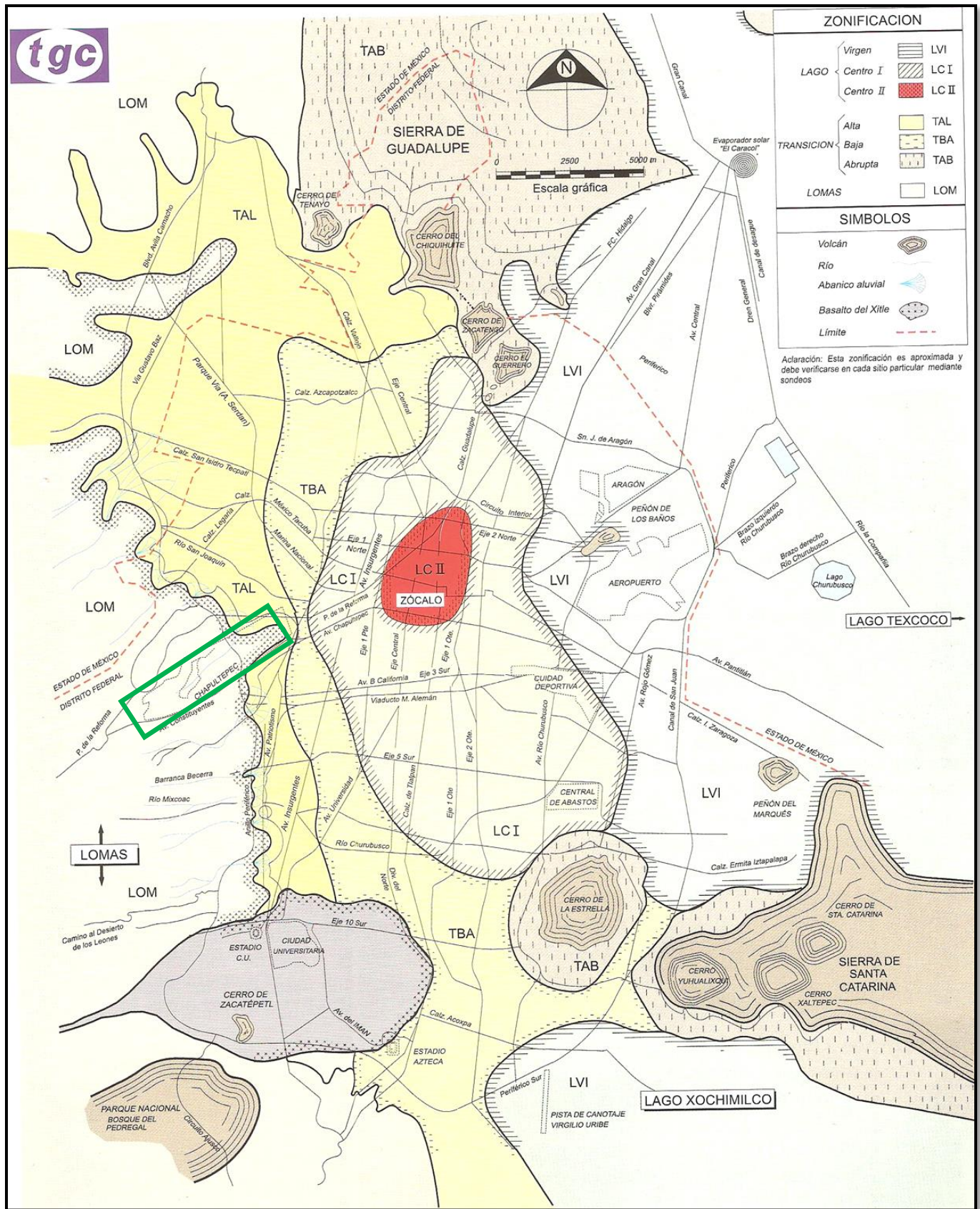


Figura 15.- En el recuadro color verde, se aprecia la Zonación Geotécnica correspondiente al Bosque de Chapultepec. Tomada de Santoyo, 2005.

### **3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DE MÉXICO, SECTOR PONIENTE.**

#### *3.1.- Aspectos estructurales de la zona poniente.*

La geología estructural de la zona poniente del Distrito federal se comprende mediante el estudio de los diferentes aparatos volcánicos que lo rodean, y están comprendidos por: la Sierra de Guadalupe, la Sierra de las Cruces y la Sierra de Chichinautzin como se observa en la figura 16.

Frente a la necesidad de comprender el comportamiento del subsuelo después del macrosismo de 1985, se realizó en 1986 un tendido de 26 líneas sísmicas de reflexión, que en partes se alcanzan los 4000 [m] de profundidad, revelando así lo que está oculto bajo la planicie lacustre extensa.

A continuación se describen las características principales de las 3 sierras arriba señaladas; además, se correlaciona lo visible en dichas sierras con lo sepultado, y solamente reconocido por la sismología en las partes planas debajo de la ciudad.

#### *3.1.1. La Sierra de Guadalupe*

Esta estructura compleja, que forma el límite septentrional del área urbana, consiste de tres partes dispuestas de Poniente a Oriente:

- a) caldera de Atizapán de Zaragoza.
- b) pequeña Sierra de Barrientos.
- c) Sierra de Guadalupe.

La caldera de Atizapán es un antiguo volcán colapsado afectado por la margen oeste de la fosa de Mixhuca, que se extiende al S-SE por debajo de la Ciudad de México, donde fue detectada por las líneas sísmicas de reflexión.

Sigue al oriente la sierrita de Barrientos, compuesta de vulcanitas ácidas, principalmente domos: revela estar afectada por la fosa de Barrientos, estructura del Mioceno Superior dirigida al E-NE. Esta fosa en su extensión al Poniente, corta la caldera de Atizapán, por ser ésta más antigua; sin embargo, al Oriente se extiende por debajo de la elevada Sierra de Guadalupe, ya que ella, por ser más joven (Plioceno Superior) no sufre afectación ninguna por parte de la fosa. Algunos elementos miocénicos afloran de nuevo al suroriente, constituyendo el cerro del Tepeyac y otras pequeñas elevaciones al Norte.

La elevada Sierra de Guadalupe sensu stricto contiene un núcleo basáltico, compuesto por la pequeña caldera de Cuauhtepac, del Plioceno inferior. Sobre ellas se extrabazaron a fines del Terciario una multitud de domos dacíticos de los más distintos tamaños. La sierra está afectada por la fosa de Cuauhtepac, que fue formándose durante el emplazamiento de los domos de Tenayuca y Chiquihuite, pero que cesó su hundimiento antes de la formación del complejo dómico elevado del pico del Águila. Hay indicios de que la fosa de Cuauhtepac se extienda por



debajo de la planicie aluvio-lacustre al S-SW hasta los elementos antiguos del cerro de Contreras, al N y W del Ajusco.

Es importante señalar dos fenómenos; primero: la fosa de Barrientos contiene fracturas y fallas dirigidas al E-SE; sugiere su arreglo un cizalleo a la derecha acaecido a fines del Mioceno; segundo: la totalidad de la Sierra de Guadalupe sensu lato fue afectada en el Pleistoceno temprano por fracturamientos dirigidos generalmente al E. Así el flanco septentrional del Pico del Águila revela fallas escalonadas.

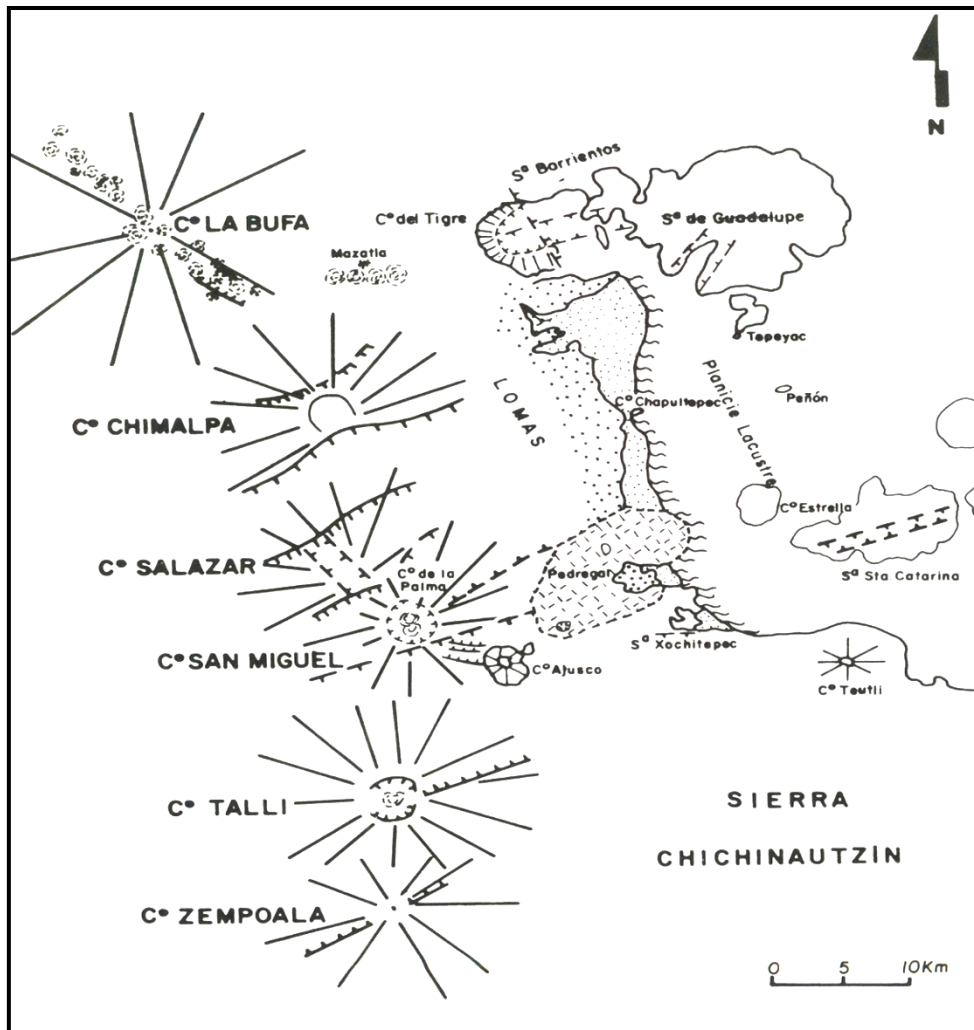


Figura 16.- Las sierras que circundan a la Ciudad de México. Tomado de SMMS, 1992.

### 3.1.2. La Sierra de las Cruces.

#### a) Elementos de la Sierra.

En una definición amplia, la Sierra de las Cruces se extiende en dirección N-NW desde la Sierra de Zempoala en el Sur (Alto Amacuzac) hasta la Sierra de Zempoala en el Sur (Alto Amacuzac) hasta la Sierra de la Bufa (Rehilete) en el Norte (en proximidad de Acambay). Comprende entre estos sus elementos extremos de Sur a Norte de la Sierra del Tlalli, el Cerro de San Miguel, la Sierra Salazar (Sierra de las Cruces), la Sierra de Chimalpa (*figura 17*).

Geológicamente representa esta gran sierra una hilera de elevados escudo-volcanes flanqueados al Poniente y Oriente por abanicos volcánicos. Estos están compuestos de material Piroclástico y sus derivados, además de suelos y depósitos fluviales. Cada aparato volcánico produjo sus propias erupciones entrelazadas, las cuales conforman la Formación Tarango.

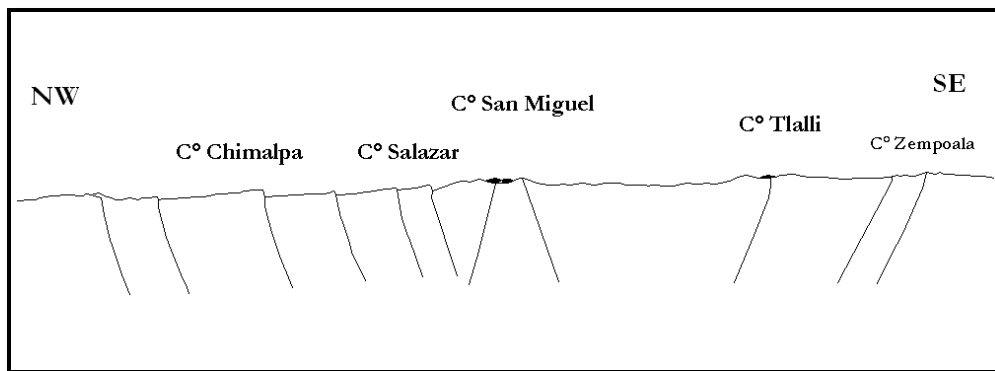


Figura 17.- Estructura de la Sierra de las Cruces. Modificada de S.M.M.S., 1992.

#### a) Estructura, control tectónico y origen.

La estructura de esta Sierra es extraordinaria. Está afectada por fallas importantes dirigidas generalmente al E-NE; en ello asemeja algo a la Sierra del Chichinautzin, cuyo principal control tectónico también obedece a lineamientos dirigidos al E-NE, lo cual se manifiesta en las hileras de sus conos cineríticos. Pero también se asemeja la Sierra de las Cruces en su tectónica a la gran Sierra Nevada, su homólogo opuesto al otro lado de la cuenca, que también está afectada principalmente por fallas dirigidas al E-NE.

El hecho anterior coloca a las tres grandes sierras modernas de la Cuenca en una contemporaneidad tectónica –Plioceno Superior- Pleistoceno y Reciente- aunque dependa cada una de mecanismos eruptivos diferentes, así como de magmas distintos: la Sierra de las Cruces y la Sierra Nevada dependen de cámaras magmáticas andesíticas relativamente superficiales y Laramídicas ascendentes al poniente (Molina C.,1991), mientras que la Sierra de Chichinautzin se nutre de cámaras magmáticas fenobasálticas profundas.

a) Estructura detallada.

La estructura de la gran Sierra de las Cruces posee (*figura 17*); tanto al Norte como del Sur descienden escalonadas las fallas del centro, donde se sitúa el escudo-volcán del Cerro de San Miguel.

El Cerro de San Miguel consiste del Cerro Contreras, un escudo-volcán complejo, en buena parte sepultado, y el superpuesto escudo-volcán de San Miguel. El primero probablemente constituye la unidad más antigua de la Sierra de las Cruces mientras que el último representa la unidad más joven (excepto el Cerro de la Bufa en el N, que aún es más joven todavía).

b) Tectónica por gravedad.

Las fallas, generalmente con desplazamientos máximos de 200 [m], parecen ser de gravedad; no fue posible prolongar su trazo al Oriente al subsuelo de la ciudad de México, donde ninguna de las líneas sísmicas las detectó. Así pues, en la mitad septentrional, el peso de los escudo-volcanes, que disminuye en edad de norte al centro, debe haber causado su bajada escalonada hacia el escudo-volcán antiguo de Contreras. Lo mismo debe haber pasado en la mitad meridional de la Sierra, donde primero irrumpió el escudo-volcán de Zempoala y después el Tlalli. En el centro, la antigua masa de Contreras, que cae al norte, con las fallas de Coconetla y Llano Grande, que caen al S.

Una vez terminado este proceso, comenzó la formación del Cerro de San Miguel, el escudo-volcán central más joven de la Sierra de las Cruces, el cual produjo con sus erupciones piroclásticas las lomas al poniente de la Ciudad de México.

El anterior comportamiento de los distintos elementos de la Sierra de las Cruces, que se caracteriza por escalonamientos al centro, indica que el peso de los escudos-volcanes actúa sobre una corteza plástica, capaz de ceder.

### 3.1.3. El Cerro de San Miguel

a) Morfología

El estratovolcán San Miguel es parte de los ocho principales estratovolcanes traslapados que conforman La Sierra de Las Cruces, dicha sierra se localiza en la parte este del Cinturón Volcánico Transmexicano, constituye un límite morfológico entre las cuencas de México (2220 msnm) y Toluca (2400 msnm).

Vista desde el Valle de México, esta sierra revela su estructura compleja; una mole enorme, de morfología variada, cortada repentinamente en su corazón por un cañón profundo de paredes verticales: la llamada Barranca de Magdalena Contreras. Sin embargo, visto el Cerro de San Miguel desde la Planicie de Lerma, en el valle de Toluca, se le reconoce la forma clásica de un escudo-volcán extenso coronado por pequeños domos, cuyo arreglo sugiere una caldera circular en la vasta cima plana. En la *figura 18*, se diferencia los distintos elementos del Cerro de San Miguel.

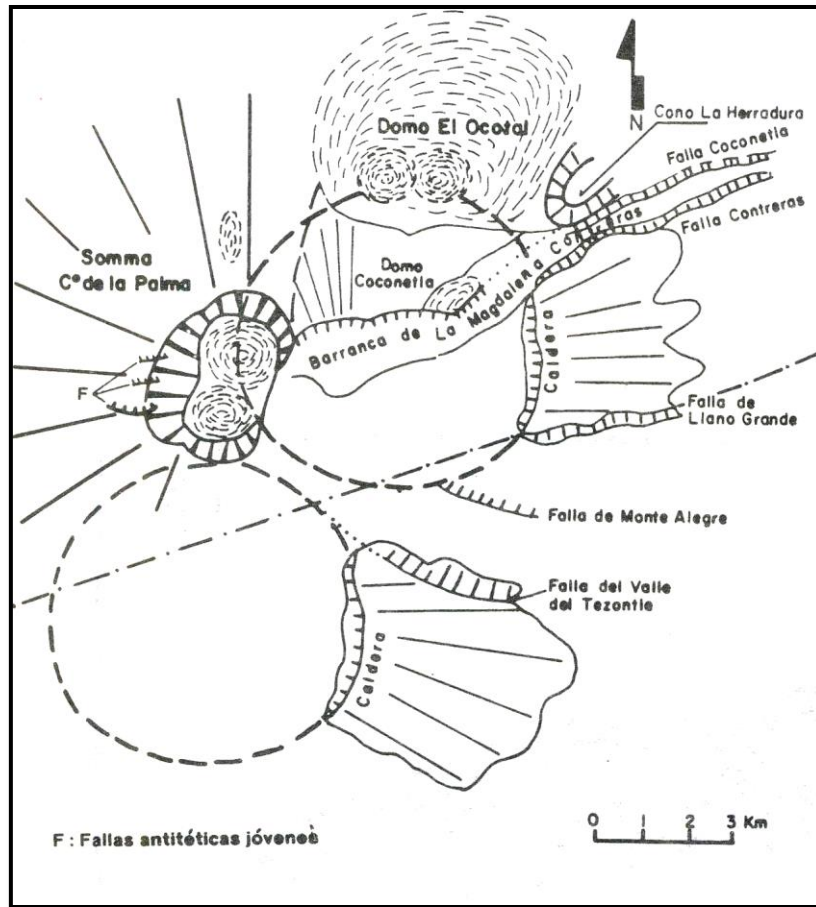


Fig. 18.- Estructura del Cerro de San Miguel. Tomada de S.M.M.S., 1992.

a) El escudo-volcán de Contreras

A este aparato antiguo pertenecen la pared meridional de la Barranca de Contreras y su extensión al S, así como otro elemento elevado, situado al Surponiente del Ajusco. Los dos elementos constituyen probablemente los restos de un gran escudo-volcán con doble caldera, como se expone en la *figura 19*. Es probable que este aparato antiguo, cuya mitad Poniente queda sepultada, haya sido controlado tectónicamente por fracturamientos dirigidos al NE semejantes a aquéllos que cortan la fosa de Cuauhtepac.

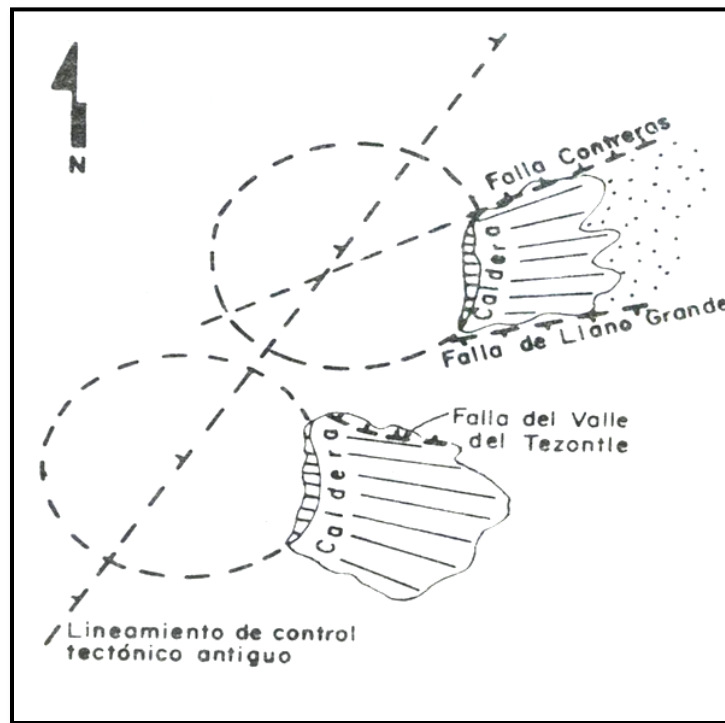


Figura 19.- Elementos de la caldera doble del antiguo escudo-volcán de Contreras. Tomado de S.M.M.S., 1992.

a) El escudo-volcán de San Miguel

Siguiendo un lapso considerable posterior a su extinción, el erosionado antiguo complejo de Contreras fue sometido a renovados esfuerzos tectónicos. Lo afectaron fracturas y fallas de gravedad dirigidas al E-NE; así lo cortó la falla de Contreras que cae al N; posteriormente lo afectaron las fallas de Coconetla y Llano Grande que caen al S. Simultáneamente al desarrollo de estas fallas fue formándose el joven escudo-volcán del Cerro de San Miguel; este fue construyéndose en el cruce tectónico, formado por la prolongación al SE de la fosa de Salazar, donde ésta cruza las fallas de la Barranca Contreras.

El evento más reciente lo constituye la *somma*<sup>1</sup> del cerro de la Palma (*figura 16*), cumbre moderna más elevada del escudo-volcán; su margen está desgarrada por explosiones cataclísmicas y contiene un domo doble que cubre hoy su chimenea. Numerosos domos coronan los flancos del Cerro de San Miguel, y otro gran número de domos y lavas se ubican en la Barranca de Contreras. Destaca entre ellos el espectacular domo de Coconetla afectado por una falla al NE y otra al E-NE (falla Coconetla); es uno de los elementos más antiguos en esta Barranca. Por otra parte, resalta el imponente domo del Ocotál, el más grande de la Sierra; yergue del lado N de la Barranca e Contreras, derramando sus lavas hasta la carretera a Toluca; es uno de los más jóvenes aparatos del Cerro de San Miguel, aunque anterior a la formación de la *somma* del cerro de la Palma.

<sup>1</sup> El término *Somma* corresponde a una caldera volcánica que ha sido parcialmente ocupada por un nuevo cono central.

b) El Cerro del Ajusco

Habiendo concluido el Cerro de San Miguel su última fase explosiva (hace aproximadamente 270,000 años), ya solamente se formaron pequeños cuerpos eruptivos en sus flancos, generalmente basálticos, excepto uno solo y éste de importancia: el elevado estrato volcán del Ajusco; su edad se estima vagamente en unos 100,000 años; su posición geológica está dada por una falla antitética que cae al N en la margen S del Valle de Tezontle, paralela a otra similar en el Valle de Monte Alegre. Carga el Cerro del Ajusco en su flanco E, sobre la prolongación de la falla que lo controla, a dos domos característicos de tamaño mediano.

c) La Barranca de la Magdalena Contreras

Este cañón representa una estructura extraordinaria. Está flanqueado por dos fallas: la de Contreras al S y la de Coconetla al N. La primera es más antigua que la segunda. La primera puede considerarse hoy prácticamente inactiva; la segunda muestra evidencias de actividad subreciente. La primera acusa un salto de unos 60 [m]; el salto de la segunda no se ha logrado definir aún.

Ambas fallas caen con unos 85°. Separadas por solamente 500 [m], deberían intersectarse a profundidades de 3 a 7 [km], según las curvaturas que siempre sufren a profundidad. Se tiene entonces que la masa total de la corteza en el S de la Cuenca de México está sometida a esfuerzos laterales izquierdos, el cruce de estas dos fallas puede presentar un lineamiento de probables focos sísmicos someros, posiblemente violentos. En vista de los movimientos de cizalleo son muy lentos, una acumulación importante de esfuerzos puede tardar varios milenios cada vez.

*3.1.4. Conexión con la Sierra del Chichinautzin.*

Así como la Sierra de las Cruces se desprende en el N de la fosa de Acambay, de la misma manera se conecta ella en el S de la Sierra de Chichinautzin. Esta conexión se realiza en forma de **Z** parda y alargada; sugiere una relación genética entre las tres estructuras tal como se muestra en la figura 20.

La conexión transicional en el sur parte desde la pequeña fosa de Salazar hacia el S-SE; sus flancos limitantes se proyectan debajo del cráter del Cerro de la Palma. Más al SE aún, siguiendo la misma dirección, reaparecen estructuras curvas que giran al E. Estas estructuras consisten de las fallas de los Valles del Tezontle y Monte Alegre. Ellas se prolongan enseguida al Oriente donde coalescen con las fallas y fracturas que imparten el control tectónico a la gran Sierra basáltica del Chichinautzin.

Este fenómeno de fracturas al estilo de **Z** alargada se repite en otros sitios de la Sierra de las Cruces, donde se logra detectar sus elementos parciales. Así, por debajo de los basaltos del pedregal de San Ángel, se reconocen lineamientos curvos que eventualmente aparecen en la pequeña Sierra de Xochitepec (*figura 20*). Se trata aquí de una transición tectónica más de la Sierra de las Cruces a la del Chichinautzin. También en el N la Sierra de la Bufa (el Rehilete)

está marcada por una sorprendente hilera de domos jóvenes (20 [km] de largo), dirigida al NW; dicha hilera apunta a una fosa lateral, la del Cerro de Jocotitlán, la cual se desprende al S del graben de Acambay. La misma hilera de domos coalece en el lineamiento de domos de Santa María Mazatla, que se dirige al Oriente.

El anterior fenómeno tectónico se repite en el Valle de Toluca. Así, el volcán del Nevado, ocupa una posición en la que las fallas del tipo Chichinautzin, dirigidas E-W, coalecen con fallas que giran debajo del gran cono al NW. Por fin se menciona la importante falla que parte del sistema Acambay, al N del Oro, al SE, se pasa al Poniente de San Felipe del Progreso y gira al Oriente, al S de Ixtlahuaca, apuntando eventualmente al Cerro de la Bufa.

Todo lo anterior sugiere que el extenso espacio entre la fosa de Acambay y la Sierra del Chichinautzin es sometida en ciertos tiempos a cizalleos del sentido lateral derecho; ellos pueden producir fácilmente lineamientos tectónicos tensionales en forma de **Z** alargada. A ellos adjudicamos la formación de la Sierra de las Cruces y por analogía la formación de la Sierra Nevada al oriente de la Cuenca de México.

Resumiendo hay que agregar que en tiempos de cizalleo a la izquierda (en uno de ellos nos encontramos actualmente) sólo puede producirse tensión en fallas dirigidas al E y E-NE, es decir, en los elementos tectónicos del tipo Chichinautzin y Acambay.

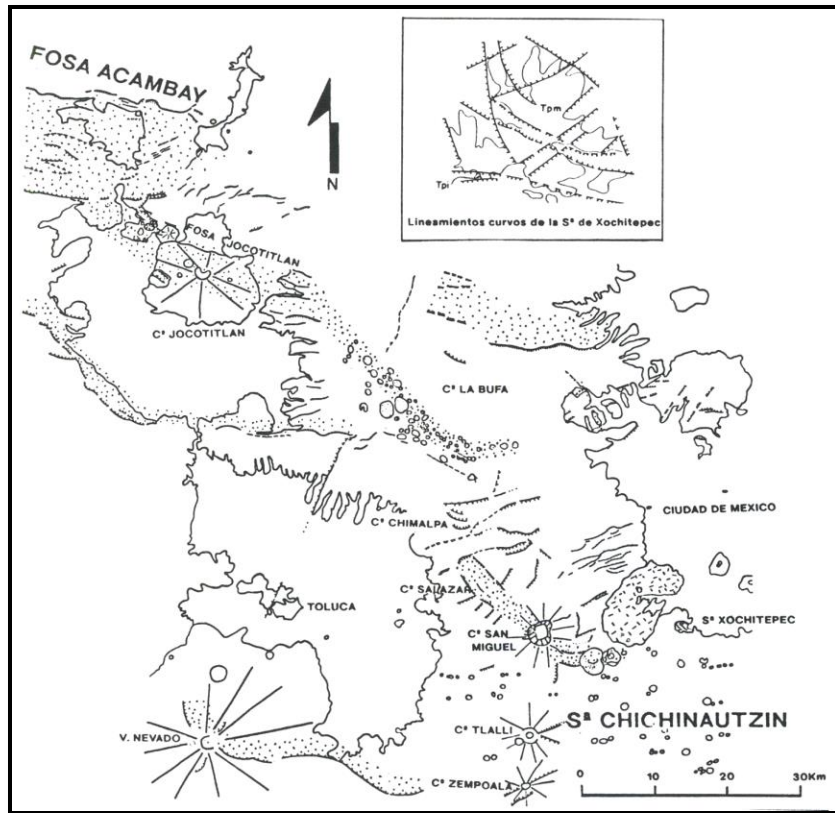


Figura 20.- Conexión Tectónica entre la Fosa de Acambay y la Sierra del Chichinautzin. Tomada de S.M.M.S., 1992.

### 3.2.- Aspectos estructurales de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

De acuerdo a la geomorfología presente en la Tercera Sección de Chapultepec que consta de barrancas y una serie de taludes expuestos en las principales vialidades en los cuales se puede observar el comportamiento de los esfuerzos en las rocas; y una vez realizada la caracterización de las unidades de roca correspondientes a la Formación Tarango se tomaron datos estructurales tales como: rumbo e inclinación de cada fractura.

Así posteriormente se seleccionaron taludes estratégicos tales como: Alto o Talud # 1, Escuela, Caídos, Hípico, Cañada, Bahía y en los alrededores del parque “Atlantis”.

De los resultados obtenidos en los taludes seleccionados se realizaron rosetas; para poder interpretar fácilmente la familia de fracturas predominante y su orientación preferencial.

Los resultados de los taludes seleccionados se resumen a continuación en la tabla 1:

<b>Tabla 1.- Donde se muestran los resultados obtenidos de taludes estratégicos para realizar rosetas e identificar las familias principales de esfuerzos.</b>				
<b>TALUD</b>	<b>NO. DE DATOS ESTRUCTURALES</b>	<b>DIRECCIÓN DE LA FAMILIA DE FRACTURAS</b>	<b>ESTRATIFICACIÓN</b>	<b>DIRECCIÓN PREFERENCIAL</b>
<i>Alto</i>	83 datos 16 de estratificación 67 de fracturas	S 40° E con una inclinación de 60° y 70°	3° a 15° en dirección N 50°	No hay
<i>Escuela</i>	103 datos 20 de estratificación 82 de fracturas y 1 de fallas	N 10° E con una inclinación de 70° Falla: SW17°, 44°NW.	SE o SW con inclinación desde 5° hasta 13°	Según se mida
<i>Caídos</i>	18 fracturas	N 20° W	NE69°, 19°SW	No hay
<i>Hípico</i> <i>Cañada</i> <i>Bahía</i>	40 datos	S 10° W con inclinación variable de 50° a 70° y otras dos ortogonales entre sí	-	S 10° W con inclinación variable de 50° a 70°
<i>Alrededores parque “Atlantis”</i>	33 datos	SE	-	No hay



De la tabla 1 y de acuerdo con el contenido del subtema 3.2.1. de la formación de la Sierra de las Cruces y que la ubicación de Chapultepec corresponde a la parte central de esta Sierra, se determina que la orientación predominante de las fracturas son SE y NW lo que indica que no corresponden con los esfuerzos estructurales regionales de la Sierra de las Cruces que están orientados al NNE-SSW, al menos no en gran medida, esto es de esperarse, pues lo reciente de las unidades nos indica que estas se depositaron después de los grandes proceso orogénicos que han afectado el centro del país, además su grado bajo de consolidación y la granulometría de estas, hace que aún si sufren de esfuerzos regionales recientes, estas unidades se comporten de manera dúctil y “absorban” dichos esfuerzos.

Lo que se observó en dichos levantamientos de datos estructurales es que el fracturamiento de los bloques inestables y los que han caído, tiene relación directa con la orientación de cada talud.

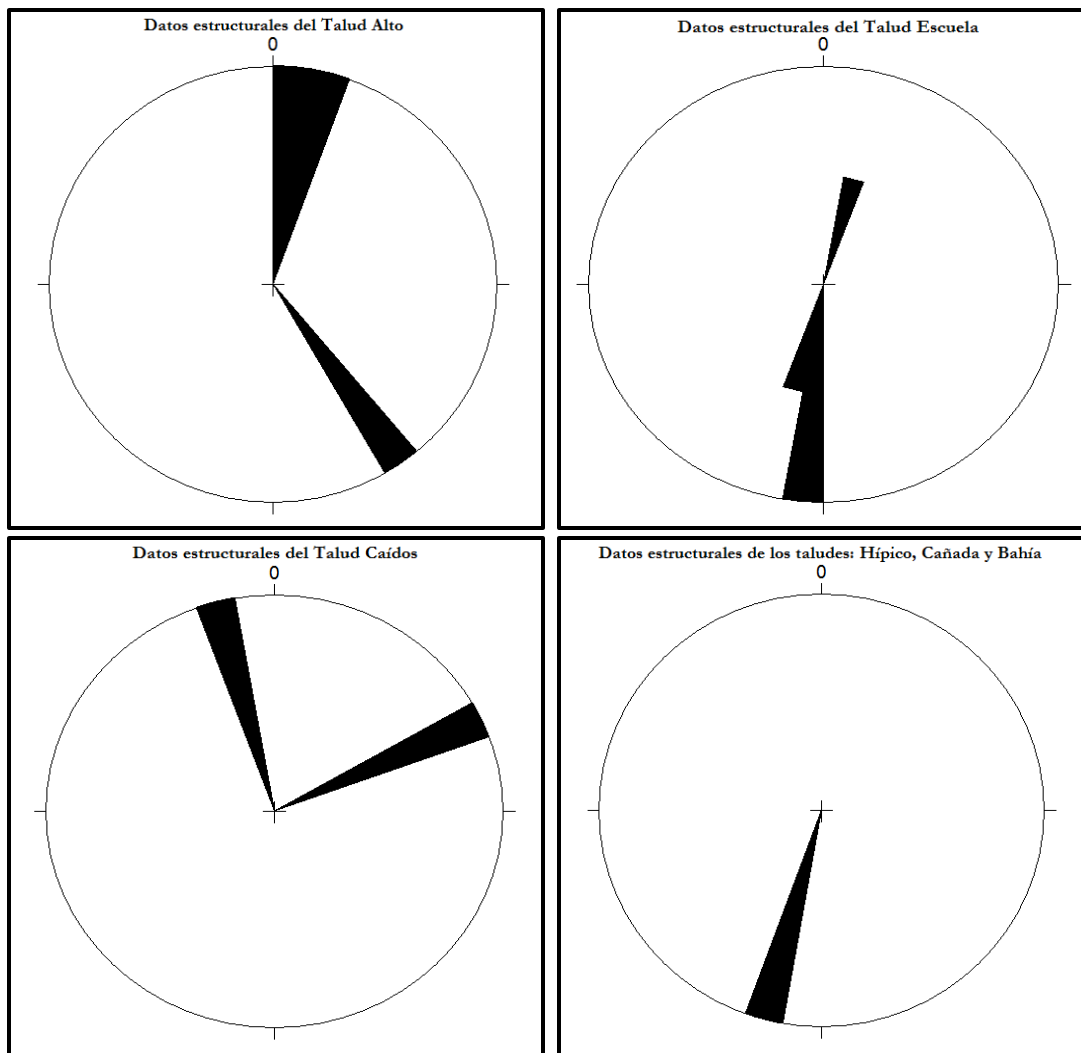


Figura 21.- datos estructurales de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, tomados de la Tabla 1 en donde se muestran las direcciones preferenciales de fracturas, estratificaciones y fallas. Elaborado con el programa StereoNett.

## 4. ESTRATIGRAFÍA GENERAL.

### 4.1.- Estratigrafía de la zona Poniente.

En la zona Poniente principalmente en la Zona de Lomas se encuentran extensos cuerpos de piroclastos depositados a los pies del escudo-volcán de San Miguel. Partiendo de el se extienden al Poniente hasta desaparecer debajo de la planicie aluvio-lacustre del Valle de México.

En el Norte quedan limitadas dichas Lomas por la Barranca de Río Hondo, en donde quedan en contacto con otras lomas compuestas por los piroclastos de la Sierra de Salazar. En el Sur las Lomas terminan en la Barranca de la Magdalena Contreras; del otro lado de esta barranca se encuentra las lomas compuestas por piroclastos del antiguo escudo volcán de Contreras.

Desde 1950 según la S.M.M.S. 1992, se emplea el nombre de “*Formación Tarango*” para definir estos depósitos que representan abanicos volcánicos, además diferentes autores las han descrito de la siguiente manera:

Mooser y colaboradores (1992) reconocieron en el piedemonte de la Sierra de las Cruces un contenido estratigráfico (*figura 21*) extenso. Aparecen en ella paleosuelos, tobas, brechas, lahares, flujos piroclásticos, capas de pómez, conglomerados y arenas fluviales. Ya que el conjunto se deriva de la actividad del volcán San Miguel, el estudio de sus depósitos permite reconstruir la historia eruptiva del gran aparato ubicado al Poniente de la ciudad.

Los depósitos más antiguos de la Tarango consisten de una secuencia superior a 50 [m] de tobas amarillas, separadas por paleosuelos; contienen un polvo pumítico, son avalanchas de nubes ardientes menores que rodean el domo del Cerro del Judío y aparecen de nuevo al Norte de la carretera a Toluca. A estas tobas se sobrepone un importante flujo Piroclástico, caracterizado por pómez en abundancia y pedacería de roca oscura alterada, arrancada de la chimenea volcánica.

Este flujo se conoce con el nombre de *Cuquita* y acusa espesores de 50 a 100 [m]. La erupción que la produjo fue muy violenta: el volumen extravasado se calcula en más de  $10 \text{ km}^3$ . Cuando irrumpió este material en estado candente la Cuenca de México todavía no estaba cerrada por la Sierra de Chichinautzin, razón por la que las porciones más avanzadas de los flujos pudieron alcanzar el área de Cuernavaca. En el Valle de México la *Cuquita* rodeó a los Cerros de Chapultepec, Zocaltepetl y Zacayucan, los tres domos de constitución ácida más antiguos.

Le siguen al gran evento explosivo *Cuquita* algún tiempo después, otros marcados por erupciones plinianas: quedan atestiguadas por tres capas de pómez, midiendo cada una de 0.5 a 2 [m] de espesor en el área de Las Lomas. Están separadas entre sí por paleosuelos, los que comprueba su separación en el tiempo.

Un nuevo ciclo de erupciones violentas se inició aproximadamente 430 mil años con la emisión de flujos piroclásticos riodacíticos. Estos surgieron en Cuajimalpa, Santa Rosa y Totolapa, donde hoy yerguen domos, tapando los ductos. Se les llama a estos flujos piroclásticos "*Flujos Xolopo*"; se halla el afloramiento típico en una Loma al Norte de la carretera a Toluca. Sus cuerpos contienen clastos micropumíticos color gris blanco, y abunda la hornblenda.

Un último ciclo explosivo tuvo lugar hará unos 300 mil años; se caracteriza por voluminosos flujos piroclásticos dacíticos que se extendieron en parte al Río Hondo, en parte a la zona de Tacubaya, Mixcoac y San Ángel. Formaron las conocidas "*Arenas Azules*" en sus distintos tipos. Principiaron las erupciones con la destrucción del cono superior en la cima del escudo-volcán San Miguel. Hay vestigios de dos grande explosiones que produjeron lahares ciclópeos (flujos con fragmentos enormes hasta 6 [m] de diámetro). En el curso de la actividad que se habrá extendido sobre varios milenios surgieron erupciones de arenas de color azul oscuro; después arenas de color rosa, aparentemente fumarolizadas; finalmente errumpieron, hasta 270 mil años, característicos cuerpos de arenas y gravas de color azul claro, ricas en finos: son éstas las "*Arenas Azules*" tan solicitadas en la industria de la construcción.

Se resume lo anterior con el siguiente esquema:



Lugo-Hubp, Cordero-Estrada y Zamorano-Orozco en 1995, definieron en campo seis unidades litológicas principales para la Formación Tarango, las cuales se describen a continuación:

- 1) Piroclastos finos, principalmente cenizas de color amarillo claro a pardo, en partes con un tono rosado. Es el depósito con mayor distribución horizontal y vertical; se observa

tanto en la parte superior de las columnas, así como en la inferior. El espesor mínimo es de aproximadamente 50 [cm] y el máximo de casi 50 [m] observables.

- 2) Ceniza con clastos angulosos, mal clasificados, con tamaños máximos de 70 cm en promedio de 15 [cm] y el mínimo de 0.5 [cm]; se trata de material andesítico de colores rojo y gris. Esta capa tiene un espesor de hasta 2 [m] y un mínimo de 50 [cm].
- 3) Ceniza con pómez, es una capa transicional entre dos unidades distintas en contacto normal. El espesor máximo de 1.5 [m] y el mínimo es de 50 [cm]; la pómez es de color blanco, con fragmentos de 0.5 a 5 [cm], bien redondeados.
- 4) Pómez. Es un tipo de depósito que se observa en forma continua, principalmente en el subsuelo, a poca profundidad, por lo general yaciendo bajo el depósito que originó un derrame piroclástico. Esta capa ha sido observada en la mayoría de las barrancas del piedemonte. Hacia la parte inferior, el espesor de las capas de pómez se reduce y aumenta en dirección sureste.

Han sido observadas hasta tres capas de pómez Pantoja-Alor (1991) y Mooser y colaboradores (1992), separadas por otros depósitos volcánicos (ceniza, ceniza con pómez, depósito de derrame piroclástico).

Tres tipos principales de pómez han sido reconocidos:

- a) En capas casi horizontales, con un espesor máximo de 5 [m] y un mínimo de 50 [cm]; predominando los cercanos a 1.5 [m]; se trata de materiales de color amarillo claro.
  - b) Pómez fina, de color blanco constituida por fragmentos pequeños, menores de 3 [mm] y de hasta 5 [mm]; se presenta en lentes de 10 a 15 [cm] de grosor.
  - c) Pómez rosa. Se presenta en estratos de 1 a 3 [m] de espesor, con fragmentos que varían de 1 a 15 [cm] de diámetro, donde predominan los de tamaño cercano a los 10 [cm].
- 5) Depósitos de derrames piroclásticos. Son reconocidos tres tipos:
- a) Clastos mal clasificados, angulosos, con tamaños variantes entre los 2 y los 5 [cm] que llegan a alcanzar un máximo de 15 [cm], de color gris azulado, en general, y en ocasiones rosa o pardo rojizo; poco consolidados. Se encuentran en capas de 5 [m] o más de grosor, apoyados generalmente en tobas o pómez. En la autopista a Toluca, frente a la Universidad Iberoamericana, las capas alcanzan más de 30 [m] de espesor, con grandes bloques de hasta 1 [m], predominando los de 10 a 15 [cm].
  - b) Una capa delgada, que va de los 60 [cm] hasta los 2 [m], con clastos angulosos, bien clasificados, de 1 a 5 [cm], bien cementados, descansando en forma concordante, generalmente sobre pómez.
  - c) Sedimentos volcánicos de color gris azulado. Son clastos angulosos bien clasificados, de tamaños variantes, desde algunos milímetros hasta los 3 [cm], poco consolidados y dispuestos en forma masiva.

- 6) Depósitos de lahar o de derrame piroclástico, de un grosor observable aproximado de 35 [m] con bloques de andesita de hasta 1.5 [m] de diámetro, angulosos; la clasificación del material es mala y los tamaños varían hasta el centímetro, aunque los más representativos oscilan entre los 10 a 20 [cm]; presentan una compactación regular, cementados con piroclastos finos con pómez.
- 7) Depósitos de derrame de lodo, característicos de corrientes montañosas. Generalmente consisten en bloques angulosos y subredondeados con clasificación regular, con tamaños máximos de 1[m] de diámetro, un promedio entre los 10 y 20 [cm] y mínimos de 1 a 5 [cm]; a diferencia de los depósitos de lahar, se presentan en capas de menor espesor y con una mejor clasificación de los detritos. Son los depósitos característicos de desembocadura de arroyos montañosos.
- 8) Conglomerados, principalmente en la base de las barrancas. Consisten en cantos bien clasificados, redondeados, con un tamaño máximo de 2 a 5 [m], con un mínimo de 1 a 5 [cm].
- 9) Las lavas del volcán Xitle, de aproximadamente 2200 años correspondiente a la colonia Pedregal de San Ángel, donde cubrieron con varios metros, a capas de pómez como las descritas anteriormente.

Hablando de la superficie se presentan los suelos orgánicos Totolsingo, que en general son de espesor reducido, de 1 a 2 [m], en seguida se presentan los suelos Becerra y Tacubaya(subtema 2.2.2), estratificados y con vetas de caliche en la parte superior; subyacen boleos y gravas de forma redondeada a subredondeada, embebidos en una matriz arenosa, comúnmente denominados Serie Clástica Fluvial y Aluvial del Pleistoceno, y por último, aparecen las tobas y depósitos piroclásticos de la Formación Tarango , intercalados por capas de pómez de las que se han mencionado en párrafos anteriores.

	ESPESOR PROMEDIO [m]	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
T A R A N G O  S U P E R I O R	VARIABLE	S-To	Suelos Totolsingo, color oscuro con alto contenido de materia orgánica
	VARIABLE	S-Ta	Suelos Tacubaya, color pardo claro con bandas de Caliche.
	0.50	Ap-G-Ar	Arena Pumítica de grano grueso muy arcillosa e intemperizada.
	VARIABLE	S-Ta	Estos suelos son residuales de Tobas areno arcillosas.
	2.50 - 10.00	Lh	Lahares compuestos por aglomerados bien compactados de clastos andesíticos principalmente, subredondeados a subangulosos, emplazados en una matriz muy escasa, sin embargo en las inmediaciones de los aparatos volcánicos estos depósitos presentan una matriz arenosa, su color es gris oscuro mal clasificado, presentando arena gruesa, boleos y bloques.
	10.00	Ag-D	Aglomerados de clastos generalmente subangulosos de composición dacítica, emplazados en una matriz areno-limosa de la misma composición.
	0.70	Ar-D	Toba arcillo-limosa color pardo oscuro, compacta con clastos dacíticos.
	1.50	Ap-G	Arena Pumítica de grano grueso color pardo claro muy disgregable de compactidad baja y solo en su base presenta matriz arcillosa.
	1.50	Ar-P	Toba arcillo-limosa color pardo oscuro, bien compacta con clastos pumíticos y fósiles.
	2.50	Ap-M	Arena Pumítica de grano medio bien clasificada y disgregable con lineaciones de arcilla, sin matriz y un espesor muy constante. <u>Horizonte Explotable.</u>
T A R A N G O  I N F E R I O R	1.50	TO	Toba areno-limosa mal clasificada color pardo claro, compacta con clastos de pumitas.
	1.30	Ap-Ar	Arena Pumítica ligeramente compacta con matriz arcillosa, regularmente clasificada de grano medio y grueso.
	15.00	To	Toba areno-limosa mal clasificada con clastos de Andesitas, pumitas, dacitas, la composición de la matriz es ácida, color rosáceo (arenas rosas).
	1.00	Ap-Inf	Arena pumítica mal clasificada, contaminada de arcilla con intercalaciones de tobas rosadas.
	20.00	Ag-V	Aglomerados volcánicos mal clasificados con clastos subangulosos y subredondeados de composición volcánica variable y bien compactados.

Figura 22.- Columna Tipo de la Formación Tarango. Modificada de Ruiz, 1998.

## 5. GEOTÉCNIA DE TALUDES DE LA TERCERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC.

### 5.1.- Clasificación de taludes y evaluación de riesgo.

La mejor forma de clasificar a un talud se basa en su definición, que corresponde (según CENAPRED, 2001) a una pendiente formada por la acumulación de fragmentos de roca al pie de los acantilados o de montañas. Los fragmentos de roca que forman el talud pueden ser escombros, material de deslizamiento o pedazos rotos desprendidos por la acción de las heladas. Sin embargo, el término talud se usa en realidad muy ampliamente para referirse a los escombros de roca en sí. También se conoce con el nombre genérico de talud a cualquier cuerpo de tierra y/o rocas que se encuentran delimitados por una superficie inclinada y forma un ángulo determinado respecto a la horizontal.

Con base a estas definiciones los taludes se clasifican en naturales y artificiales.

Cuando el talud se produce de manera espontánea, según las leyes de la naturaleza (sin intervención humana), se denomina *ladera natural*, o simplemente *ladera* (figura 23).

Un *talud artificial* corresponde a superficies inclinadas que unen los desniveles del terreno, producto de actividades de construcción, ya sea por corte o relleno o construcción de un terraplén artificial (figura 23).

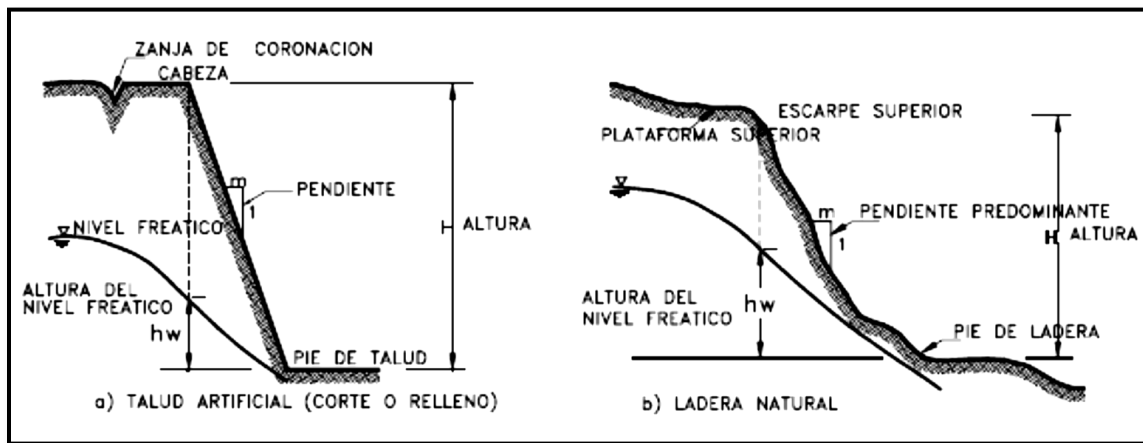


Figura 23.- Nomenclatura de Taludes y laderas. Tomado de Varnes, 1978.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

#### 1. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

## 2. Pie

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

## 3. Cabeza o escarpe

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

## 4. Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

## 5. Pendiente

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Ejemplo: Pendiente 45°, 100%.

Existen, además, otros factores topográficos como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

En nuestro país existen zonas donde las laderas pueden tener problemas de inestabilidad. Se dice que una ladera es inestable cuando se debilita o pierde su equilibrio y se cae o se desliza por efecto de la gravedad. Esto puede ocurrir de manera natural debido a la presencia de fuertes lluvias, de lluvias continuas o a la ocurrencia de sismos. Las zonas más propensas a tener este tipo de peligros son las zonas montañosas; sin embargo, pueden también ocurrir en áreas donde el relieve o la superficie terrestre son más suaves.

Debido a las lluvias intensas o continuas, gran cantidad de agua se infiltra en el suelo llenando los poros o espacios que en él existen. Como consecuencia, el suelo se satura, y aumenta su peso, facilitando que se debilita y se caiga. De igual manera, cuando se presentan sismos fuertes existe el peligro de que alguna ladera que se encuentra debilitada y se pueda caer, afectando a la población que vive sobre o en la parte baja de ésta. La inestabilidad de las laderas no sólo se debe a causas naturales, sino también a las humanas (como se mencionó anteriormente), ya que al deforestar se debilita el terreno. Las excavaciones y cortes mal ejecutados pueden también propiciar ciertas inestabilidades.

Las laderas inestables provocan movimiento pendiente abajo de suelos, rocas y vegetación bajo la influencia de la gravedad.

Los materiales se mueven a través de diferentes mecanismos: *caídos* o *derrumbes*, *deslizamientos* y *flujos*.



## Caídos o derrumbes

Son desprendimientos violentos de suelo y de fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes empinadas y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando. Un factor que influye notablemente en los derrumbes es el deterioro, que comprende la alteración física y química de los materiales y su subsecuente desprendimiento o remoción. Este incluye la alteración mineral, los efectos de relajación y la abrasión. La iniciación y propagación de fracturas es de significancia particular en la destrucción de la superficie que puede conducir a caídos de roca o colapso del talud.

Entre los procesos que se desarrollan debidos al deterioro son los siguientes:

Caída de granos.- Consiste en la caída de granos individuales de la masa de roca con desintegración física a granos como pre requisito. Depende de la resistencia de las uniones intergranulares y las microgrietas relacionadas con los granos. Causa un debilitamiento general del material de roca. No representa una amenaza en sí misma pero puede conducir a la pérdida de soporte y subsecuente colapso en pequeña escala. Los finos pueden sedimentarse y producir depósitos dentro de las estructuras de drenaje.

Descascaramiento.- Caída de cáscaras de material de la masa de roca. Las cáscaras tienen forma de láminas con una dimensión significativamente menor a las otras dos dimensiones. Puede reflejar la litología, fisilidad, o puede reflejar la penetración de la meteorización. Los fragmentos en forma de láminas no son grandes y no constituyen una amenaza significativa, sin embargo, se produce un depósito de sedimentos en el pie del talud.

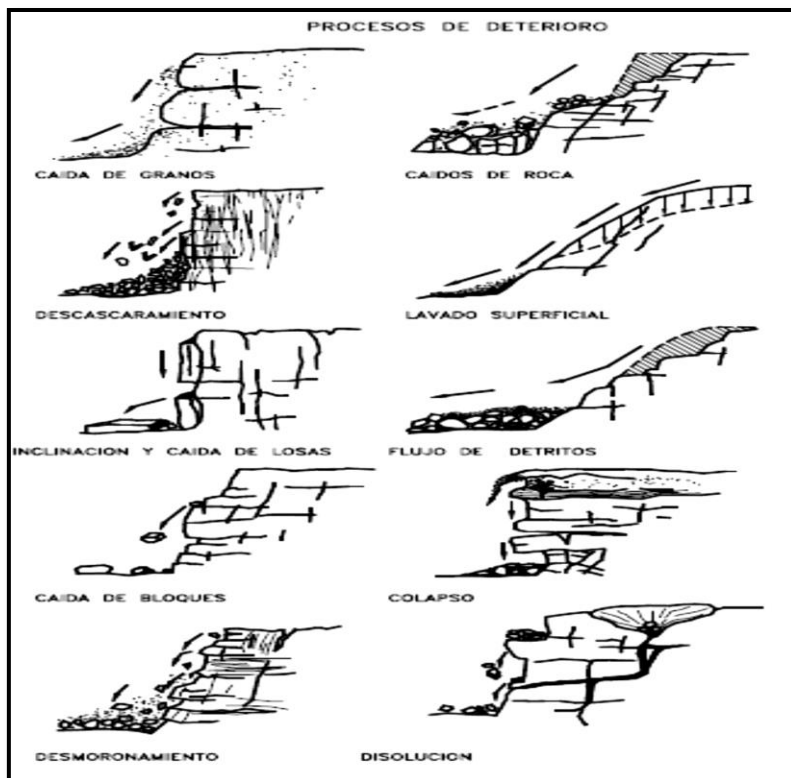


Figura 24.- Procesos de deterioro en macizos rocosos (Nicholson y Hencher – 1997).

## Deslizamientos

Son movimientos de materiales térreos (rocas, suelo y su combinación) pendiente abajo, delimitados por una o varias superficies de falla o ruptura. Estas superficies de falla pueden ser curvas y/o planas, y son sobre ellas, que deslizan los materiales colapsados de una ladera.

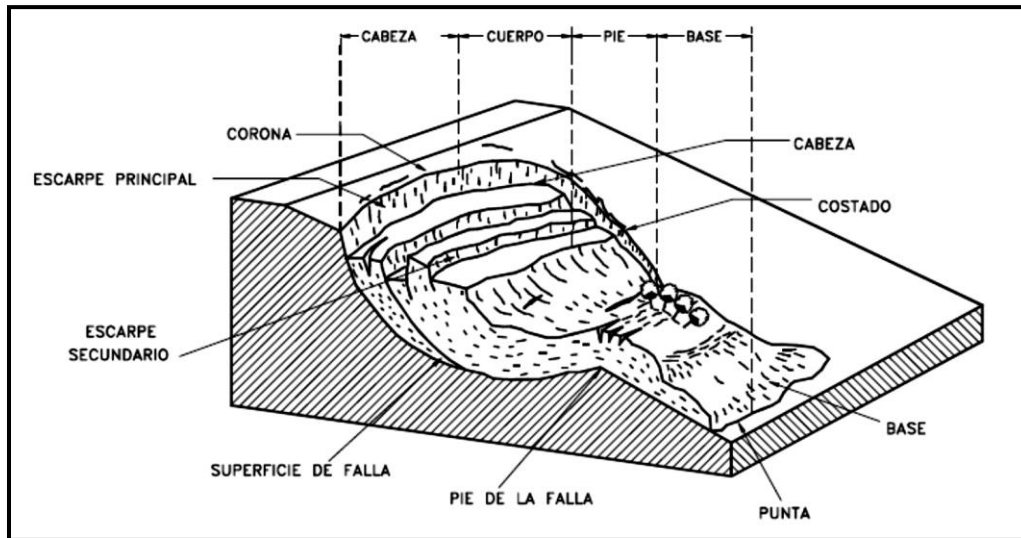


Figura 25.- Nomenclatura de un deslizamiento. Tomado de Varnes, 1978.

En la *figura 25* se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:

### 1. Escarpe principal

Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

### 2. Escarpe secundario

Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

### 3. Cabeza

Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

### 4. Cima

El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

### 5. Corona

El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

### 6. Superficie de falla

Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

### 7. Pie de la superficie de falla

La línea de intersección (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

### 8. Base

El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

### 9. Punta o uña

El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

### 10. Costado o flanco

Un lado (perfil lateral) del movimiento.

### 11. Superficie original del terreno

La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

### 12. Derecha e izquierda

Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie

## **Flujos**

Son movimientos de suelo y de fragmentos de rocas pendiente debajo de una ladera, en donde sus partículas se mueven entre sí dentro del volumen que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser muy lentos o incluso, muy rápidos; la velocidad está determinada por la cantidad de agua existente en el volumen de materiales.

Puesto que la velocidad depende de la pendiente o inclinación de la ladera, los materiales disponibles y la cantidad de agua, es común que ocurra durante y después de lluvias extraordinarias (precipitación intensa o continua) y en zonas donde las laderas están compuestas de materiales sueltos (no consolidados). Los flujos representan un gran peligro, ya que en cuestión de minutos, pueden transformar por completo el paisaje, e inclusive, nuestras comunidades.

Gran porcentaje de la pérdida de vidas humanas y de bienes materiales por inestabilidad de laderas ocurre debido a este tipo de movimientos.

En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos (figura 26), así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra.

Los flujos muy lentos o extremadamente lentos pueden asimilarse en ocasiones, a los fenómenos de reptación y la diferencia consiste en que en los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación la velocidad del movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura.

La ocurrencia de flujos está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales sub-superficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un flujo.

Algunos flujos pueden resultar de la alteración de suelos muy sensitivos tales como sedimentos no consolidados.

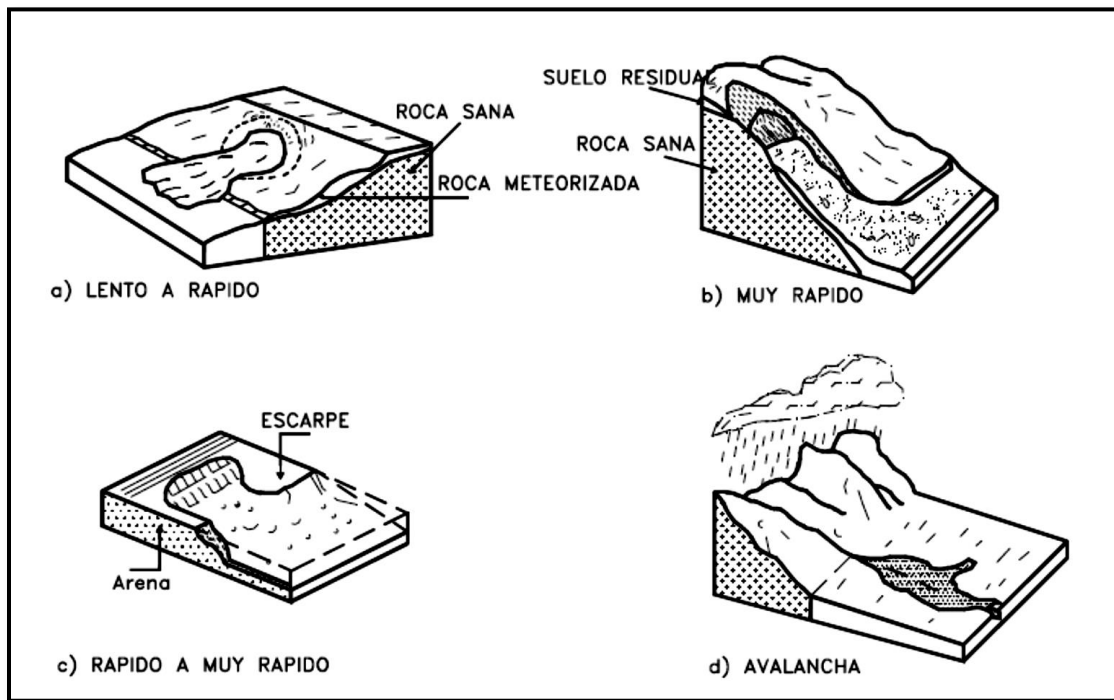


Figura 26.- Flujos de diferentes velocidades.

Hablando de la ocurrencia de estos fenómenos, se originan cuando al pie (parte inferior) o alguna otra parte del cuerpo de los cerros o montañas se ven afectadas por causas naturales o artificiales. Entre las causas naturales más comunes se encuentra el reblandecimiento del terreno por el agua de lluvia, los sismos, la erosión y socavación que causan los ríos al pie de

los cerros. Las causas artificiales están, en algunos casos, relacionadas con las excavaciones o cortes que se realizan para extraer materiales, construir carreteras o preparar el terreno para la construcción de casas. Además de estas causas, existen otros factores que determinan la inestabilidad de taludes; éstos son el clima, el tipo de roca (geología), la forma del terreno (topografía) y la deforestación.

Las regiones con pendientes fuertes o gran inclinación favorecen en muchos casos la inestabilidad de las laderas.

Sin embargo, este desequilibrio que se origina en ellas está determinado por el tipo de materiales que las componen y su resistencia a factores externos.

Las laderas pueden estar formadas por diferentes materiales, tales como rocas, fragmentos de rocas, suelo o una combinación de todos ellos. Estos materiales tienen diferente resistencia por lo que se comportan de manera distinta en las laderas. Los materiales más débiles tienden a caerse con mayor facilidad.

De acuerdo a la velocidad en que se pueden mover las laderas, sabremos cual es el posible grado de destrucción que pueden ocasionar. De igual modo, es muy importante considerar el volumen del material inestable, ya que de estos dos factores depende el impacto que se cause a las comunidades.

<b>Tabla 2.- Velocidad de los movimientos de las laderas y su posible impacto destructivo.</b>		
<b>Tomada de CENAPRED, 2001.</b>		
<b>VELOCIDAD</b>	<b>INTERPRETACIÓN DE LA VELOCIDAD</b>	<b>POSIBLE IMPACTO DESTRUCTIVO</b>
3 - 5 metros por segundo	Extremadamente rápido	Catástrofe de gran violencia
0.3 – 3 metros por segundo	Muy rápido	Pérdida de algunas vidas, gran destrucción
1.5 metros por día a 1.8 metros por hora	Rápido	Posible escape y evacuación, construcciones, posesiones y equipo destruido
1.5 a 13 metros por mes	Moderado	Estructuras bien construidas pueden sobrevivir
1.5 a 1.6 metros por año	Lento	Carreteras y estructuras bien construidas pueden sobrevivir si se les da el mantenimiento adecuado y constante
0.06 a 0.016 metros por año	Muy lento	Algunas estructuras permanentes construidas con criterios formales ingenieriles no sufren daños y si llegan a sufrir algún agrietamiento por el movimiento, pueden repararse.
	Extremadamente lento	No hay daño en las estructuras construidas con criterios formales de ingeniería.

Lo que se puede hacer al respecto para no afectar la estabilidad de una ladera y estar fuera de peligro, son las siguientes recomendaciones según CENAPRED, (2001):

1. No cortar los árboles, ni destruir la vegetación de la región.
2. No excavar las laderas. Evitar, especialmente, excavar al pie de éstas.
3. No permitir que el agua de los drenajes se infiltre en el terreno. En caso de detectar alguna fuga de agua, avisar inmediatamente a las autoridades de Protección Civil para que ellas se encarguen de agilizar los trabajos de reparación, evitando así que se reblandezca el terreno.
4. Revisar constantemente las paredes, pisos y techos en busca de posibles grietas, hundimientos, expansiones del terreno y formación de escarpes (escalonamientos). Si éstos se presentan, avisar inmediatamente a las autoridades de Protección Civil de tu comunidad.
5. Antes de iniciar alguna construcción, o hacer alguna excavación o instalación, consultar a las autoridades de Protección Civil.
6. Si se encuentra alguna grieta en la superficie del terreno, sobre alguna ladera, en la superficie del cerro, o al pie de éste, avisar inmediatamente a las autoridades de Protección Civil.

## 5.2.- Generalidades de Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

El proyecto de fondo mixto CONACYT-GDF tiene incluidas varias disciplinas con la finalidad de resolver la inestabilidad de taludes en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, y una de ellas es la Geotecnia que en base a diferentes técnicas y metodologías puede determinar el comportamiento del terreno.

La metodología principal consistió en el levantamiento de datos que se utilizaron para conocer la calidad del macizo rocoso utilizando el método estandarizado de Bieniawski (1989) denominado *Rock Mass Rating* o RMR.

De este se desprenden diversos conceptos que se evaluaron en los taludes, como son:

- 1) **Resistencia de la matriz rocosa.** Es la resistencia de la roca intacta, es decir, un bloque inalterado y sin discontinuidades de la roca, esta se puede estimar con pruebas de laboratorio con una prueba de resistencia a la compresión simple.
- 2) **RQD (Índice de calidad de la roca).** Se basa en la recuperación modificada de testigos a partir de perforaciones directas. Se obtiene una medida indirecta sumando la longitud total de testigos pero considerando únicamente aquellos trozos de testigos de longitud igual o superior a 10 cm, en estado sano y compacto. Es necesario un cierto criterio si el testigo se ha roto por el manejo, por el proceso de perforación o en el caso

de rocas sedimentarias estratificadas y metamórficas foliadas, no siendo tan exacto el método.

- 3) **Separación entre fracturas.** Cuando se caracterizan las discontinuidades, se deben describir y cuantificar parámetros como su separación.
- 4) **Propiedades de las discontinuidades.** La longitud o continuidad promedio de las discontinuidades es la extensión lineal de cada fractura, esta se promedia para obtener un mejor parámetro. La abertura que es la separación entre las paredes de la fractura medida de manera normal (perpendicular) al plano de discontinuidad. Su grado de rugosidad se estima visualmente, se basa principalmente en el desgaste de la superficie de fractura. Si es que hay relleno, se debe especificar de qué tipo y en qué proporción. Y el grado de alteración de la superficie de discontinuidad se estima de manera comparativa.
- 5) **Presencia de agua.** Este parámetro es sumamente condicionante, la presencia de agua en la roca, se puede estimar si se conoce el caudal, las condiciones de presión de agua – tensión en la roca o se puede describir visualmente la presencia del líquido.

Una vez determinados estos parámetros se realizó un censo cuyos datos se colectaron en una tabla, donde se especifica a que Circuito pertenece cada talud numerado, su ubicación GPS, la distancia en el circuito a la que se encuentra, así como el nombre de cada talud. Dicho censo se muestra a continuación en la tabla 3:

<b>Tabla 3.- Censo generado por Omar Velázquez Ángeles para la óptima clasificación de los Taludes de la Tercera Sección de Chapultepec.</b>									
Circuito	#	Nombre Talud	Inicia			Termina			Lado observado
			Cadenamiento	x	y	Cadenamiento	x	Y	
1 Long: 2700 m. Inicio: 477,880 2,146,255 Fin: 477,390 2,146,000	1	Hípico	<b>0+300</b>	477,640	2,146,042	<b>0+580</b>	477,540	2,145,992	Izquierdo
	2	Cañada	<b>0+700</b>	477,337	2,145,949	<b>0+950</b>	477,133	2,145,888	Derecho
	3	Cañada 2	<b>1+000</b>	477,095	2,145,805	<b>1+120</b>	477,035	2,145,729	Derecho
	4	Bahía	<b>1+200</b>	476,988	2,145,686	<b>1+220</b>	476,942	2,145,683	Derecho
	5	Desviación	<b>1+240</b>	476,873	2,145,672	<b>1+270</b>	476,859	2,145,666	Derecho
	6	Drenes	<b>1+350</b>	476,841	2,145,661	<b>1+550</b>	476,658	2,145,611	Derecho
	7	Prueba op.	<b>1+610</b>	476,586	2,145,627	<b>1+750</b>	476,666	2,145,685	Izquierdo
	8	Prueba	<b>1+630</b>	476,600	2,145,621	<b>1+750</b>	476,678	2,145,677	Derecho
	9	Escuela	<b>2+250</b>	476,996	2,146,025	<b>2+650</b>	477,386	2,146,029	Derecho
2 Long: 2010 m. Inicio: 476,870 2,145,670 Fin: T 13	10	Caídos	<b>0+250</b>	476,952	2,145,478	<b>0+500</b>	477,162	2,145,529	Derecho
	11	Planta	<b>0+850</b>	477,446	2,145,744	<b>0+925</b>	477,491	2,145,800	Derecho
	12	Curva	<b>1+100</b>	477,558	2,145,845	<b>1+425</b>	477,772	2,145,800	Derecho
	13	Alto	<b>1+600</b>	477,750	2,145,826	<b>2+000</b>	477,470	2,145,565	Derecho

Finalmente, se incluyeron todos los datos tanto de *RMR* así como el censo para realizar una ficha de identificación de cada talud.

De los resultados obtenidos de la parte Estructural y Geotécnica se puede hacer mención que las inestabilidades que se presentan en la mayoría de taludes con bloques caídos se debe a la intervención humana por la excavación que se realizaron en ellos para cuestiones de edificaciones, de construcciones de carreteras y muy antiguamente por la extracción de material para construcción.

Cabe mencionar que estos factores no son los únicos que pudieron llevar a causar las inestabilidades de los taludes, también es importante contemplar la composición mineralógica de los mismos, ya que como se abordará en el siguiente capítulo hay minerales que tienen características peculiares que llevan a tener comportamientos que favorecen las causas de desprendimiento de material rocoso, un factor que influye notablemente en los derrumbes como ya se ha mencionado es el deterioro, que comprende la alteración física y química de los materiales y su subsecuente desprendimiento o remoción. Este incluye además la alteración mineral, los efectos de relajación y la abrasión.

## **6. CARACTERIZACIÓN MINERAL DE TALUDES DE LA TERCERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC.**

6.1.- Caracterización mineral de los taludes de la de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

### 6.1.1. Introducción y ubicación

De acuerdo a lo tratado en el tema 5 y frente a la situación de inestabilidad que se tiene en los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, a continuación se abordará y se profundizará en la composición mineralógica del material muestreado en la zona de interés. Se dio inicio con el recorrido del lugar utilizando distintas herramientas de campo como lo son: picas, distanciómetros, brújula, lupa, libreta de campo, GPS, bolsas para muestras, palas, cinta métrica y cámara fotográfica. Una vez determinado el sitio a caracterizar se continuó con la descripción de 8 taludes a los que se les asignó un nombre de acuerdo a algún sitio o rasgo distintivo cercano al talud; así también se obtuvieron 25 muestras de mano a las que se les describió en campo, utilizando herramientas como la lupa con la que se determinó la mineralogía observable, además se midió in situ el espesor de los horizontes y el tamaño de los granos. Ésta información se sintetizó y depuró en gabinete generando tablas de clasificación de cada talud con sus unidades, dichas tablas serán descritas en el siguiente subtema. De las 25 muestras de mano se realizó una selección de material que estuviera presente en la mayoría de taludes, desde material pumicítico y material arcilloso principalmente, así como de diferentes fragmentos líticos cuyas características físicas coincidieran en la mayoría de los taludes, se determinó de acuerdo al color, a los minerales visibles, y a la alteración que presentan, todo ello con la finalidad de determinar diferentes características de cada uno de ellos desde la procedencia, la composición mineral así como la alteración que sufren de acuerdo a su



composición principalmente. Lo que se realizó mediante el microscopio petrográfico dio un total de 33 láminas delgadas las cuales son descritas en el Anexo I del presente trabajo.

La Tercera Sección del Bosque de Chapultepec está localizada en la delegación Miguel Hidalgo; se encuentra delimitada hacia el norte y al poniente por la colonia Lomas de Chapultepec; al oriente por el Panteón de Dolores y la avenida de Zaragoza y en su porción sur por la Avenida Constituyentes (figura 14).

De manera particular en el estudio realizado se establecieron dos Circuitos en los cuales están expuestos los taludes excavados en roca:

Circuito 1: Inicia de la incorporación de la Calle Zaragoza hacia Joaquín Clausell, de ahí se continúa hacia el poniente circulando en sentido de las manecillas del reloj, por el circuito antes mencionado hasta regresar al punto de inicio nuevamente, en este punto se indica el final del Circuito 1.

Circuito 2: Inicia en la incorporación a José María Velasco desde Joaquín Clausell, siguiendo todo el trazo en dirección oriente en sentido opuesto a las manecillas del reloj, hasta incorporarse de nuevo a la calle Zaragoza girando a la derecha, hasta la cercanía a la cañada que hay sobre dicha vialidad, en este punto es el final del Circuito 2, que coincide con el último talud estudiado como se observa en la figura 27.



Figura 27. Circuitos 1 y 2 en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

### 6.1.2. Descripción mineralógica

Se hizo una síntesis que contiene ubicación (Anexo II) y rasgos particulares de cada talud, tomando en cuenta los análisis granulométricos de las 25 muestras de los 8 diferentes taludes llevados a cabo por el M.C. Noé Santillán Piña y finalmente se sintetizará en tablas y con columnas litoestratigráficas la descripción obtenida en campo y gabinete de las unidades observadas en cada uno de los taludes levantados.

#### **Talud # 1 o Talud Alto**

El talud # 1 o Talud Alto se encuentra localizado en las siguientes coordenadas geográficas las iniciales son: X: 477679; Y: 2145725; Z: 2330 [m], y finaliza en: X: 477505; Y: 2145600; Z: 2250 [m], específicamente al final del circuito 2, viajando por la calle Zaragoza (comunica Av. México con Constituyentes) de norte a sur, llamado así porque es el que posee la mayor altitud de los taludes analizados llegando a los 18 metros.



La parte inicial del talud es de muy poca altitud y aumenta hasta llegar a su punto máximo pasados 300 metros aproximadamente. Se observa que la cantidad de caídos es muy reducida y está presente un fracturamiento que genera bloques inestables, es vertical principalmente asociado a raíces de árboles y su desprendimiento es en bloques paralelos.



Se observaron dos unidades principales: la superior denominada **T1-03 Talud # 1** que corresponde a un material granular de color blanco de composición pumicítica con una matriz arcillosa y abundante porosidad.

La segunda unidad denominada **T1-02 Talud #1**, corresponde a un estrato masivo con potencia variable, presenta color ocre claro a pardo, en algunas zonas se encuentra saturado de agua. Está constituido por arenas, arcillas y diseminados líticos de diferente composición mineralógica, el tamaño máximo de estos fragmentos no supera los 10 [cm]. Presenta una alteración avanzada a arcilla y su contacto con la unidad T1-03 Talud #1, muestra facilidad de erosión dejando material tumbado que cae en bloques.

Cabe mencionar que la parte superficial del talud corresponde a suelo y este está en un estado avanzado de alteración predominantemente por las raíces de árboles.

La siguiente tabla corresponde a las muestras recolectadas en el talud # 1, así como el nombre que se le asignó a cada una de ellas y una descripción general.

NOMBRE DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA	COLOR	ÍNDICE DE COLOR	TEXTURA	MINERALOGÍA	ALTERACIONES	ORIGEN	COMPOSICIÓN QUÍMICA	CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	OBSERVACIONES	FOTO EJEMPLAR DE MANO
T1-01 Talud #1	Es un material compacto, con tonalidades que van del ocre al pardo claro. Se fragmenta con facilidad; tiene diseminados líticos en muy poca proporción de tamaño variable no mayor a » 1cm. Está constituido principalmente de material muy fino (arcilla-arena muy fina). Tiene raíces de plantas y presenta poca porosidad.	Tonalidades ocre a pardo claro.	Félsico	Piroclástica	Está constituido principalmente de arcilla, se aprecian algunos cristales de ferromagnesios y cuarzo.	Arcillas	Piroclástico	Ácida	Toba cristalina vítrea con escasos fragmentos líticos		
T1-02 Talud #1	Es un estrato masivo con potencia variable, presenta tonalidades que van del ocre al pardo, en algunas zonas está saturada de agua. Está constituido por un material de arena fina y arcillas, con diseminados líticos cuya composición es variable desde tobas vítreas, tobas vítreo-cristalina y andesitas-basalto, cuyo tamaño corresponde al de la grava.	Tonalidades ocre claro a pardo	Félsico	Piroclástica	*Tobas vítreas: ferromagnesios, vidrio, cuarzo.* Tobas vítreas-cristalinas: cuarzo, biotita, plagioclasas, vidrio, ferromagnesios. *Andesitas-Basalto: feldespatos, ferromagnesios, cuarzo en poca cantidad.	Arcillas posiblemente provenientes del vidrio.	Piroclástico	Intermedia	Arena gruesa con fragmentos líticos de variadas composiciones.	Es un material muy suelto con facilidad de erosión y deja bloques tumbados en la acera.	

<p>T<sub>1</sub>-03 Talud #1</p>	<p>Es un material granular color blanco con una matriz arcillosas color pardo claro. Es deleznable, los granos varían su tamaño desde los 4mm a 1 cm como máximo. Se encuentran fragmentos pumíticos con fenocristales de anfíboles, cuarzo, plagioclasa y vidrio.</p>	<p>Pardo claro en la matriz y blanco el material granular.</p>	<p>Félsico</p>	<p>Piroclástica</p>	<p>* Pumicitas: cuarzo, fenocristales de anfíbol, plagioclasas, vidrio, micas, óxidos de hierro.</p>	<p>Arcillas posiblemente provenientes del vidrio.</p>	<p>Piroclástico</p>	<p>Ácida</p>	<p>Arena muy gruesa de Pómez.</p>	<p>Los granos son subredondeados a redondeados, algunos de ellos son esferulitas formadas por la alteración del vidrio.</p>	
<p>T<sub>1</sub>-04 Talud #1</p>	<p>Es un horizonte con fragmentos líticos de tamaño variable (entre 1[cm] y 10 [cm]), que van de subredondeados a subangulosos, se encuentran en contacto de tipo puntual y flotante principalmente. Su coloración es pardo oscuro y los fragmentos varían de gris claro, gris oscuro, rojizo y blanco. Se aprecia una tendencia de flujo en los fragmentos que se inclina entre 6° - 11° aproximadamente.</p>	<p>Pardo claro al fresco y de intemperismo es color ocre.</p>	<p>Intermedio</p>	<p>Piroclástica</p>	<p>*Pumicitas: cuarzo, fenocristales de anfíbol, plagioclasas, vidrio, micas, óxidos de hierro. *Andesitas: cuarzo, ferromagnesios, feldespatos. *Tobas vítreas: ferromagnesios, vidrio, cuarzo. *Tobas vítreas-cristalinas: cuarzo, biotita, plagioclasas, vidrio y ferromagnesios</p>	<p>Arcillas posiblemente provenientes del vidrio.</p>	<p>Piroclástico</p>	<p>Ácida</p>	<p>Arena muy gruesa mal clasificada de fragmentos líticos de variadas composiciones.</p>	<p>Hay fragmentos líticos muy oxidados que poseen un alto grado de alteración.</p>	



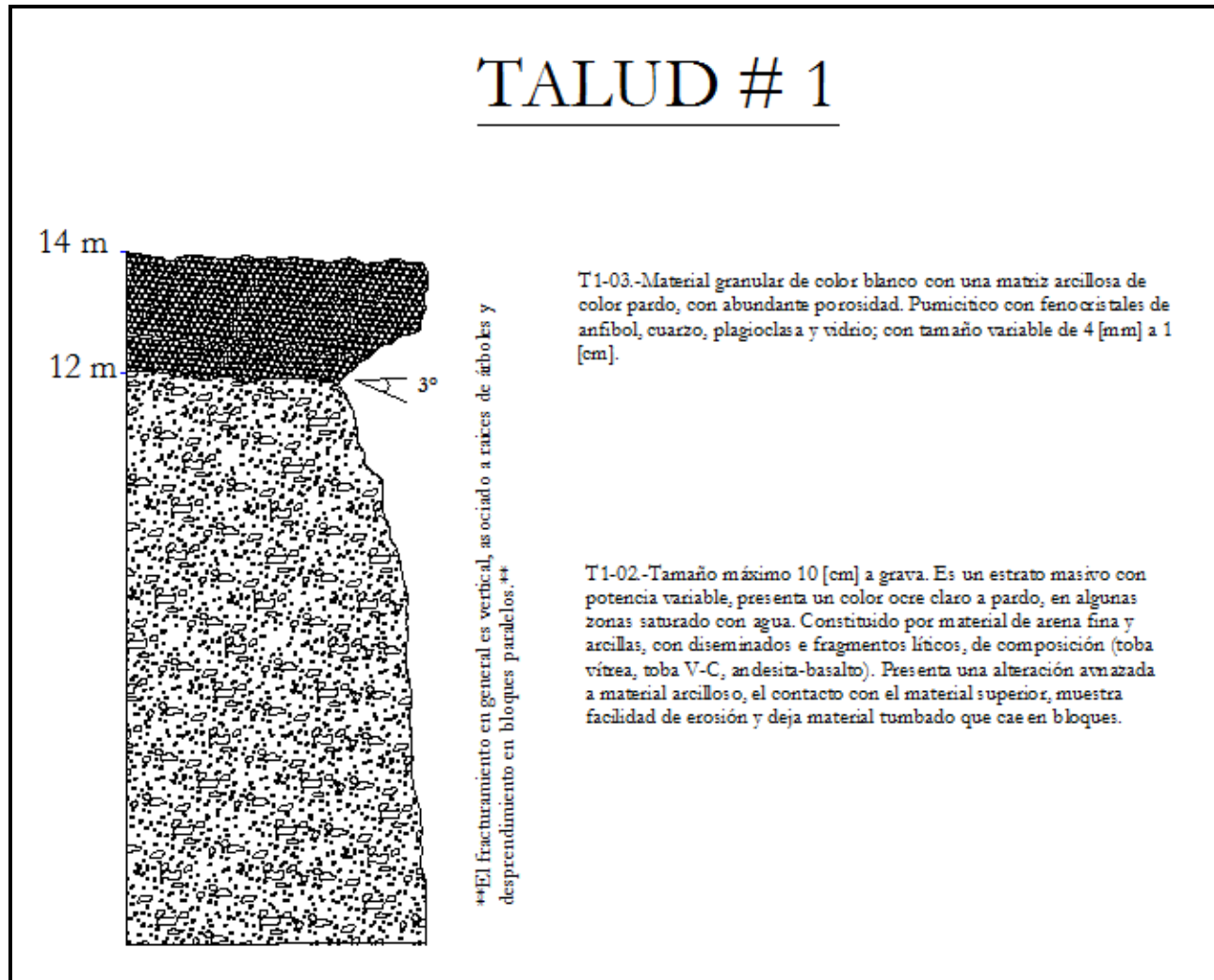


*Fotografía 2.- se muestra en un caído el contacto entre las dos unidades principales del talud # 1.*



*Fotografía 3.- se muestra la parte más alta del talud # 1 que corresponde a 18 metros. En el círculo rojo se aprecia las raíces de la vegetación que afecta al talud provocando desprendimientos de bloques.*


Columna estratigráfica del Talud # 1 o Alto que muestra a las dos unidades principales levantadas en campo además de una inclinación de 3° en el estrato superior respecto al inferior.



## Talud Bahía

El Talud Bahía está localizado en las coordenadas geográficas de inicio:  $X: 476988$ ;  $Y: 2145686$ ;  $Z: 2358$  [m] y finaliza en:  $X: 476942$ ;  $Y: 2145683$ . Se encuentra en el circuito 1 siguiendo en el sentido de las manecillas del reloj la Calle 5. Este talud mide aproximadamente 2.10 [m], se aprecian rocas de diferentes composiciones de tamaño variable desde milímetros hasta 30 [cm] aproximadamente. Los granos (rocas) están en contacto de tipo flotante, tangencial y puntual; contiene poca matriz. Los estudios granulométricos arrojan que el talud tiene una Moda (Mo) de  $-1.5 \phi$  lo que da tendencia a la grava fina, el diámetro promedio (Mz) es de  $0.85 \phi$ , lo que habla de una arena gruesa y finalmente su clasificación es muy mala lo que nos puede dar una idea de que el talud pudo tener un origen debido a un *Ash Flow* o un flujo, por todas las características anteriormente señaladas.

A continuación se presenta una tabla resumiendo, las características de la muestra representativa de este talud:

NOMBRE DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA	COLOR	ÍNDICE DE COLOR	TEXTURA	MINERALOGÍA	ALTERACIONES	ORIGEN	COMPOSICIÓN QUÍMICA	CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	OBSERVACIONES	FOTO EJEMPLAR DE MANO
Talud Bahía M1	La potencia del estrato es de 2.10 [m] aprox., se aprecian rocas de diferentes composiciones de tamaño variable desde milímetros hasta 30 [cm] aproximadamente. Los clastos están en contacto de tipo flotante, tangencial y puntual; contiene poca matriz.	El color de intemperismo es gris con tonalidades pardas. Al fresco es beige claro y los fragmentos tienen color variado (rojos, verdes, pardos).		Piroclástica	Andesitas y Andesitas Basálticas: ferro-magnesianos, feldespatos y plagioclasas. Pumicitas: vidrio, biotita, cuarzo. Tobas vítreas-cristalinas: Ferro-magnesianos, vidrio, cuarzo.	Arcilla posiblemente del vidrio.	Flujo Piroclástico	Ácida	Depósito de flujo piroclástico	Se señala que el origen del afloramiento es un flujo puesto que se observan características como: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ la angulosidad de los clastos (subanguloso-subredondeado).</li> <li>✓ diferente tamaño de los clastos.</li> <li>✓ no presentan orientación los clastos.</li> </ul>	

## Talud Caídos

El talud Caídos se encuentra localizado en las coordenadas geográficas de inicio:  $X: 477009$ ;  $Y: 2145500$ ;  $Z: 2373 [m]$ , y de fin:  $X: 477162$ ;  $Y: 2145529$ . Específicamente se localiza al inicio del circuito 2, en el circuito llamado José María Velazco luego del puente vehicular que pasa por encima de la cañada que atraviesa la zona de taludes. Se le denominó “Caídos” porque es el que presenta la mayor frecuencia de bloques desprendidos y además tiene los bloques inestables más grandes.



El talud tiene una altura de 10 metros aproximadamente, se determinaron 8 unidades diferentes que definen los eventos que le dieron lugar. Se observa un fracturamiento vertical que genera el desprendimiento de los bloques y se pudo notar un mayor número de caídos debido a la temporada de lluvia en que se asistió a realizar el levantamiento del talud que correspondió al mes de agosto.



Al inicio del talud se encuentra la mayor cantidad de bloques caídos y es posible determinar sus unidades adentrándose en la vegetación, además se aprecia una “cueva” debida a la extracción de material para construcción que actualmente es habitada por perros; para el final del talud algunos horizontes se acuñan y hay otros taludes que quedan expuestos.



En la siguiente tabla se describen las características físicas de cada unidad correspondiente al Talud Caídos:


NOMBRE DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA	COLOR	ÍNDICE DE COLOR	TEXTURA	MINERALOGÍA	ALTERACIONES	ORIGEN	COMPOSICIÓN QUÍMICA	CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	OBSERVACIONES	FOTO EJEMPLAR DE MANO
T <sub>C1</sub>	Es un material granular, con tonalidades que varían, en la matriz es del ocre al pardo y los granos color blanco. Con fragmentos de tamaño de arena fina a grava, son subredondeados a subangulosos	El color de intemperismo es pardo claro y al fresco es amarillo claro a ocre claro.	Félsico	Piroclástica	Los minerales presentes son: cuarzo, mica (biotita), diseminados en vidrio.	Arcillas y óxidos de hierro.	Vulcano-sedimentario	Ácida	Arena gruesa muy mal clasificada de pómez.	La muestra se encuentra en un alto grado de alteración del vidrio dando lugar a arcillas. Los granos se encuentran en contacto tangencial y puntual principalmente. Es un material deleznable, y su composición es ácida. Es un material muy ligero y posee un pequeño % de vacuolas.	



T <sub>C2</sub>	Es un material granular de tamaño variable de arena fina a grava, con poca matriz. Son granos que varían de subredondeados a subangulosos. Los contactos entre ellos son puntuales a tangenciales y paralelos. El color es blanco a pardo claro. Se encuentra presente cuarzo, plagioclasas, biotita, vidrio y óxidos de hierro.	Tonalidades blanco a ocre claro.	Félsico	Piroclástica	Está constituido principalmente cuarzo, plagioclasas, biotita, vidrio y óxidos de hierro.	Óxidos de Hierro	Piroclástico	Ácida	Grava fina mal clasificada de pómez.	La muestra tiene una granulometría bien clasificada desde el punto de vista geotécnico. Los minerales son faneríticos de forma eudral. Tiene mayor cantidad de vacuolas que la muestra Tc1. Es un material muy ligero.	
T <sub>C3</sub>	Es un material compacto, arcilloso, deleznable que contiene fragmentos de tobas vítreas dichos fragmentos son redondeados y muy escasos. Tiene algunas oquedades quizá por el intemperismo causado por los líquenes presentes en la muestra. En la matriz arcillosa se encuentran biotitas, cuarzo y microesferulitas por la posible desvitrificación.	Varía de amarillo claro a pardo oscuro.	Intermedio	Piroclástica	Está constituido principalmente de arcilla, se aprecian algunos cristales cuarzo y esferulitas producto de la desvitrificación.	Arcillas	Piroclástico	Ácida	Toba vítrea cristalina con pocos fragmentos líticos.	Los fragmentos líticos son de diferentes composiciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cuarzo-Feldespáticas.</li> <li>✓ Tobas vítreas.</li> <li>✓ Tobas vitro-cristalinas.</li> </ul>	

<p>T<sub>C4</sub></p>	<p>Es un material suelto con fragmentos líticos de diversas composiciones (andesitas, pumitas, tobas vítreas, tobas líticas) dichos fragmentos varían desde granos del tamaño de la arena fina a bloques de aproximadamente 7[cm] y su forma es subredondeada a subangulosa.</p>	<p>Pardo oscuro con fragmentos blanco, verde, rojo y gris.</p>	<p>Intermedio</p>	<p>Piroclástica</p>	<p>Está constituido de arcilla, cuarzo, plagioclasas, ferromagnesianos, vidrio y biotita. *Andesitas: cuarzo, plagioclasa, ferromagnesianos. *Tobas vítreas: cuarzo, biotita, vidrio. *Pumitas: vidrio, biotita, cuarzo</p>	<p>La matriz es vítrea y está alterada a arcilla</p>	<p>Vulcano-sedimentario</p>	<p>Intermedia-ácida</p>	<p>Grava fina mal clasificada de diversos fragmentos líticos.</p>	<p>La muestra tiene gran contenido de arcillas cuyo origen puede estar asociado a una degradación de la matriz vítrea y a posibles depósitos sedimentarios. Se tiene un gran contenido de fragmentos andesíticos.</p>	
<p>T<sub>C5</sub></p>	<p>Es un material compacto, arcilloso, muy deleznable que contiene fragmentos angulosos de andesita. Tiene algunas oquedades debidas al intemperismo causado por los líquenes presentes en la muestra. En la matriz arcillosa se encuentran biotitas, cuarzo y esferulitas por la posible desvitrificación.</p>	<p>Pardo claro. Y los fragmentos son gris claro a gris oscuro.</p>	<p>Intermedio</p>	<p>Piroclástica</p>	<p>Arcillas, cuarzo y biotita. *Andesita: cuarzo, plagioclasa, ferromagnesianos.</p>	<p>Arcillas</p>	<p>Vulcano-sedimentario</p>	<p>Intermedia</p>	<p>Toba vítrea-cristalina con poca cantidad de líticos.</p>	<p>La muestra es muy deleznable, presenta un alto grado de alteración y la presencia de andesitas revela distintos eventos de depósito. Además la angulosidad de las andesitas revela un depósito rápido y muy poco transporte.</p>	

Tc <sub>6</sub>	<p>Es un material suelto con fragmentos de andesita, toba vítrea y gran contenido de material fino. La granulometría es uniforme ya que los granos son de tamaño no mayor a 5 [cm], son subredondeados. El color de la matriz es pardo oscuro con alteración a arcillas con fragmentos líticos de color gris oscuro y gris claro, ocre y blanco en algunos casos.</p>	<p>Pardo oscuro con fragmentos color gris claro, gris oscuro, y en algunos casos blanco.</p>	Intermedio	Piroclástica	<p>Arcillas, cuarzo, plagioclasas, ferromagnesios, vidrio, biotita. *Andesitas: cuarzo, ferromagnesios, feldespatos. *Tobas vítreas: ferromagnesios, vidrio, cuarzo.</p>	Arcillas	Piroclástica	Intermedia	<p>Grava fina de diversos fragmentos líticos.</p>	<p>El tamaño de los granos, la forma sub-redondeado y el contenido de arcilla en esta muestra es mayor a diferencia de la muestra Tc4. En campo se aprecia un rumbo NE69°, 19°SW en la estratificación. Además como tamaño máximo bloques de andesitas de 30 y 45 [cm] de diámetro. Tiene fragmentos intrusivos diseminados.</p>	
Tc <sub>7</sub>	<p>La muestra se encuentra compacta, húmeda y con un gran contenido de arcilla. Se encuentran diseminados líticos color rojizo, no mayores a 1 [cm]. El espesor en campo es de 10 centímetros aproximadamente. Aflora en la parte más superficial.</p>	<p>Pardo oscuro como color de interperismo y color amarillo crema a blanco al fresco.</p>	Félsico	Sedimentaria	<p>Limos y Arcillas</p>	Arcillas	<p>Sedimentario. Roca carbonatada por precipitación y microorganismos: diatomeas de un medio lacustre.</p>	Carbonatos por precipitación.	<p>Roca carbonatada de gran fino asociada a limos y arcillas.</p>	<p>La muestra presenta carbonatación y se detallan características peculiares de este horizonte en el anexo petrográfico.</p>	

T <sub>C8</sub>	Es un material suelto del tamaño de la arena fina a grueso. Están incluidos fragmentos líticos con una posible composición andesítica cuyos minerales presentan un alto grado de alteración.	Presenta una matriz color ocre y los fragmentos de color gris oscuro y pardo claro.	Intermedio	Piroclástica	Arcillas, *Fragmentos de Andesitas: cuarzo, ferromagnesianos, feldespatos.	Arcillas	Piroclástico	Intermedia	Arena muy gruesa muy mal clasificada de andesitas.	
-----------------	--	---	------------	--------------	---	----------	--------------	------------	--	---

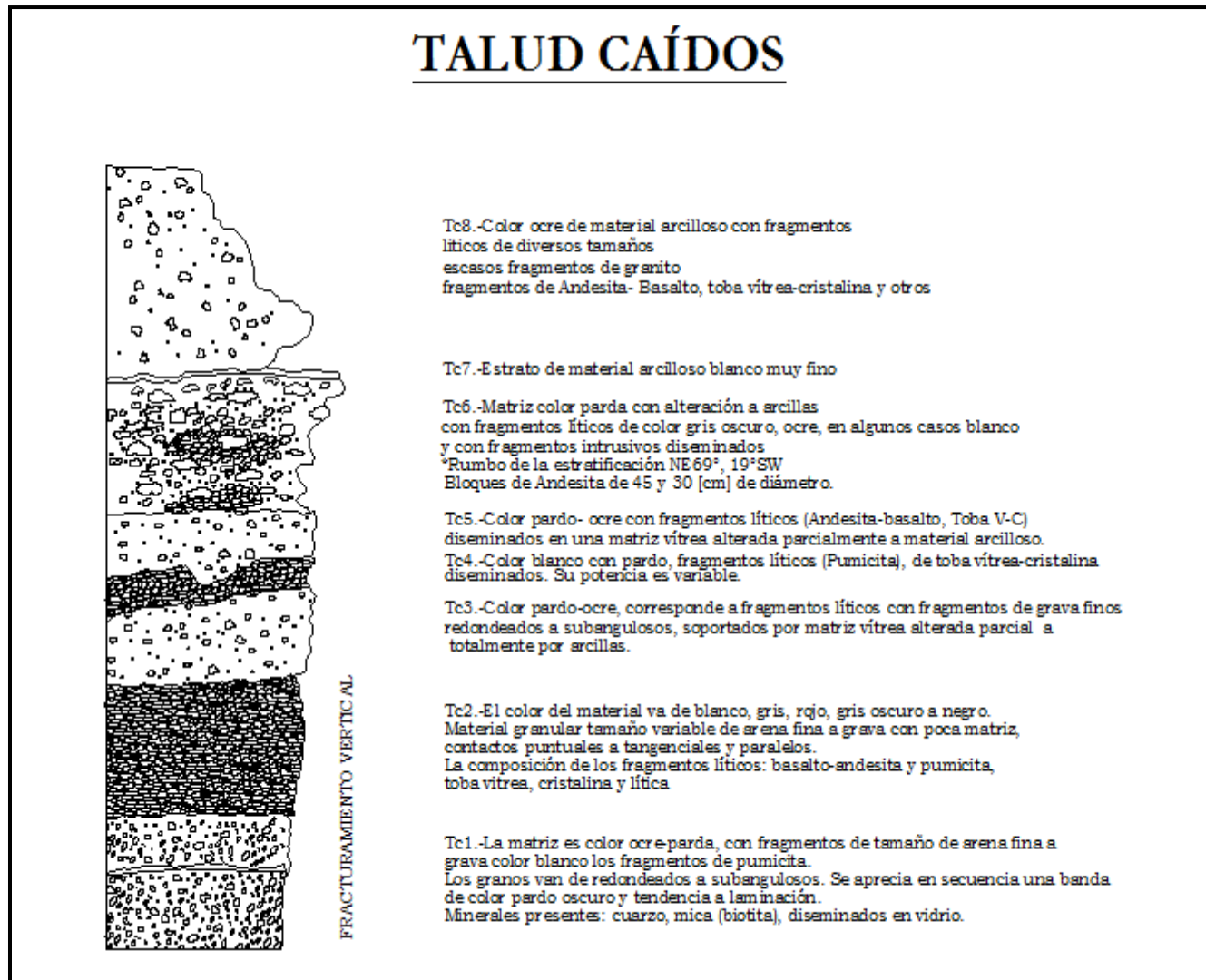


Fotografía 4: se muestran los bloques desprendidos del talud “caídos”, y un posible plano de deslizamiento del material.



Fotografía 5: Acercamiento de la pumicita en donde se aprecian los fragmentos color gris claro.


Columna Estratigráfica del Talud Caídos que muestra sus unidades principales así como sus características de campo.





## Talud Cañada

El talud cañada está localizado en las coordenadas geográficas de inicio y fin respectivamente de:  $X: 477273$  ;  $Y: 2145932$  ;  $Z: 2333[m]$  y  $X: 477084$  ;  $Y: 2145809$  ;  $Z: 2343[m]$ . Este talud tiene tres unidades principales que se denominaron **Talud Cañada Muestra 1**, **Talud Cañada Muestra 2** y **Talud Cañada Muestra3**, la altura es de aproximadamente 6 metros. Se puede decir que el origen de este talud es vulcano-sedimentario, puesto que se tienen clastos de tamaño variable desde arenas finas a grava según el análisis granulométrico realizado, así como fragmentos líticos de diversas composiciones químicas cuya forma es subredondeada principalmente.

La siguiente tabla contiene la descripción realizada en campo de las distintas unidades que corresponden al Talud Cañada:

NOMBRE DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA	COLOR	ÍNDICE DE COLOR	TEXTURA	MINERALOGÍA	ALTERACIONES	ORIGEN	COMPOSICIÓN QUÍMICA	CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	OBSERVACIONES	FOTO EJEMPLAR DE MANO
Talud Cañada M1	Es un material vulcanosedimentario. Contiene diseminados líticos pumíticos y posee gran cantidad de matriz. El tamaño de los fragmentos varía de milímetros a varios [cm]. Los clastos varían de subredondeados a subangulosos.	Pardo claro	Intermedio	Piroclástica	Arcillas. *Pumicitas: vidrio, cuarzo, biotita.	Arcilla proveniente del vidrio.	Piroclástico	Ácida	Arena media muy mal clasificada de pómez.		




<p>Talud Cañada M2</p>	<p>Es un material suelto con matriz arenosa cuya composición es pumicítica. Contiene diseminados líticos de diversas composiciones (Tobas V-C, Andesíticos muy alterados, Tobas vítreas). Dichos fragmentos se aprecian subredondeados con tamaño variable de 2 [mm] hasta 10 [cm].</p>	<p>Al fresco beige rosáceo y gris de intemperismo.</p>	<p>Intermedio</p>	<p>Piroclástica</p>	<p>*Andesitas: cuarzo, ferromagnesianos, feldespatos. *Pómez: vidrio, biotita, cuarzo. *Tobas vítreas-cristalinas: vidrio, ferromagnesianos, cuarzo.</p>	<p>Óxidos e hidróxidos de hierro y Arcillas.</p>	<p>Piroclástico</p>	<p>Ácida</p>	<p>Arena rosa gruesa muy mal clasificada de fragmentos líticos diversos.</p>	<p>La muestra contiene mayor material pumicítico y tobas con proporción al material andesítico.</p>	
<p>Talud Cañada M3</p>	<p>El espesor aproximado del material es de 4.20 metros. La muestra presenta fragmentos líticos de tamaño variable desde milímetros y alcanza hasta 35 [cm] así como de su composición.</p>	<p>Al fresco beige rosáceo y gris de intemperismo. Los fragmentos son de color rojo, blanco, verde, beige, gris.</p>	<p>Intermedio</p>	<p>Piroclástica</p>	<p>*Andesitas: cuarzo, ferromagnesianos, feldespatos. *Andesitas basálticas: ferromagnesianos, cuarzo, plagioclasas. *Basaltos: ferromagnesianos, plagioclasas. *Pómez: vidrio, biotita, cuarzo. *Tobas vítreas-cristalinas: vidrio, ferromagnesianos, cuarzo.</p>	<p>Óxidos e hidróxidos de hierro y Arcillas.</p>	<p>Piroclástico</p>	<p>Ácida</p>	<p>Grava fina muy mal clasificada de fragmentos líticos diversos.</p>	<p>La muestra contiene mayor cantidad de líticos de composición básica.</p>	


## Talud Drenes

El talud Drenes está localizado en las coordenadas geográficas de inicio y fin respectivamente:  $X: 476731$  ;  $Y: 2145604$  ;  $Z: 2375$  [m] y  $X: 476796$  ;  $Y: 2145641$  ;  $Z: 2363$  [m], específicamente viniendo del Parque Vía Reforma tomando la Avenida Montes Auvèrnia en dirección oriente, se le designó este nombre puesto que tiene tubos de PVC que sirven para drenar la humedad que presenta este talud. El espesor aproximado del talud es de 10 metros, se definieron dos unidades principales denominadas **Talud Drenes Muestra 1** y **Talud Drenes Muestra 2**. La primera unidad tiene 8 metros de espesor aproximadamente y corresponde a limo grueso según los análisis granulométricos, deleznable que contiene una gran cantidad de agua; la segunda unidad viene por debajo de la primera con una inclinación NE20° y según los análisis de granulometría corresponde a grava fina principalmente, y tiene fragmentos líticos de diversas composiciones y se presentan subredondeados.

A continuación se presenta la siguiente tabla que describe los datos recolectados en campo para este talud:

NOMBRE DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA	COLOR	ÍNDICE DE COLOR	TEXTURA	MINERALOGÍA	ALTERACIONES	ORIGEN	COMPOSICIÓN QUÍMICA	CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	OBSERVACIONES	FOTO EJEMPLAR DE MANO
Talud Drenes M1	Es un horizonte de aproximadamente 8 metros de espesor. Es un material limo-arcilloso, presenta humedad e intemperismo biológico. No hay diseminados líticos visibles.	Pardo claro de intemperismo y pardo oscuro al fresco.	Intermedio	Piroclástico	Arcillas, limos y monominerales	Arcillas provenientes del vidrio.	Piroclástico	Ácida	Toba vítrea-cristalina con pocos líticos.		



Talud Drenes M2	Es un material vulcanosedimentario de color pardo claro con disseminados líticos de diversas composiciones y con gran cantidad de matriz. El tamaño de los fragmentos varía de milímetros hasta 15 [cm] aproximadamente. Los clastos varían de subredondeados a subangulosos.	Pardo claro	Intermedio	Piroclástico	Arcillas *Pumicitas: vidrio, biotita, cuarzo. *Andesitas: plagioclasas, cuarzo, ferromagnesianos	Arcillas	Piroclástico	Ácida	Grava fina de diversos fragmentos líticos.		
-----------------	---	-------------	------------	--------------	--	----------	--------------	-------	--	--	---







*Fotografía 6: se muestran los drenes utilizados para solucionar el problema de humedad que presenta el material de este talud.*



## Talud Escuela


El talud escuela se encuentra localizado en las coordenadas geográficas de inicio y fin respectivamente:  $X: 476979$ ;  $Y: 2146014$ ;  $Z: 2234 [m]$  y  $X: 477289$ ;  $Y: 2146095$ ;  $Z: 2358 [m]$ , específicamente al final del circuito 1 y se le asignó este nombre dado que es el más cercano a la escuela de la zona de Lomas de Chapultepec que se encuentra entre Montes Auvernia y Montes Apalaches, al otro lado de la calle frente al helipuerto Virreyes. Tiene una altura promedio de 12 metros, así como una orientación visible Este – Oeste. Se definieron ocho unidades que corresponden a material de diverso origen y tamaño. Cabe resaltar que la unidad 6 o como se le asignó el nombre de Tesc 1D contiene diferentes eventos que le dieron lugar (*fotografía*) pero las intercalaciones corresponden a material similar así que se le consideró como una sola unidad. A continuación se expone en la siguiente tabla los datos recolectados en campo:

NOMBRE DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA	COLOR	ÍNDICE DE COLOR	TEXTURA	MINERALOGÍA	ALTERACIONES	ORIGEN	COMPOSICIÓN QUÍMICA	CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	OBSERVACIONES	FOTO EJEMPLAR DE MANO
Talesci	La muestra corresponde a un material arcilloso con fragmentos líticos diseminados cuyo espesor es de 2 metros.	Pardo claro	Intermedio	Piroclástica	Arcillas Andesitas: Plagioclasa, cuarzo, ferromagnesianos. Tobas V-C: vidrio, cuarzo, biotita, ferromagnesianos.	Arcilla	Piroclástico	Ácida	Arcilla con diseminados líticos.	Tiene segregación de carbonato de 1 [cm] de espesor.	

Tesc 1	La muestra tiene un espesor de 2 metros, contiene fragmentos líticos de tamaño variable desde arenas muy finas hasta bloques de 60 [cm] de diámetro. La composición de los fragmentos líticos es variable (andesitas, andesitas-basalto, basalto, tobas vítreas, tobas cristalinas). Los fragmentos son subangulosos a subredondeados.	Pardo oscuro de intemperismo y ocre al fresco. Los fragmentos líticos varían de gris oscuro, gris claro y pardo claro.	Intermedio	Piroclástica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Andesitas: cuarzo, plagioclasa, ferromagnesianos.</li> <li>✓ Tobas vítreas: cuarzo, biotita, vidrio.</li> <li>✓ Tobas vítreas-cristalinas: cuarzo, biotita, plagioclasas, vidrio, ferromagnesianos.</li> </ul>	Arcilla en la matriz.	Piroclástico	Ácida	Grava fina de diversos fragmentos líticos.	Los fragmentos líticos de mayor tamaño tienden a ser subangulosos.	
Tesc 1A o Tesc UM	Material fino, con espesor aproximado de 10 [cm], poco compacto, granular, granos de forma subangulosa a subredondeada, son de composición andesítica,	Gris oscuro	Intermedio	Piroclástica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Andesita: plagioclasa, cuarzo, ferromagnesianos.</li> <li>✓ Arcilla.</li> </ul>	Arcilla	Piroclástico	Ácida	Arena muy gruesa de andesitas mal clasificada.		

Tesc 1B	Material granular con fragmentos subredondeados que se encuentran en contacto de tipo puntual y tangencial. Tiene un espesor de 1.20 [m].	Gris claro con tonalidades parduzcas.	Intermedio	Piroclástica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Andesitas: plagioclasas, cuarzo, ferro-magnesianos.</li> <li>✓ Arcilla</li> </ul>	Arcilla	Piroclástico	Ácida	Grava Fina de andesitas muy mal clasificada.	A diferencia de la muestra Tesc 1 A, el tamaño de los fragmentos es mas grueso.	
Tesc 1C	Material fino con diseminados líticos de diferente tamaño no mayor a 3 [mm], de composición pumíctica principalmente. Presenta humedad y gran contenido de raíces de plantas. Su espesor es de 1.70 [m].	Pardo claro	Intermedio	Piroclástica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Arcilla</li> <li>✓ Pumicitas: vidrio, cuarzo, biotita.</li> </ul>	Arcilla	Piroclástico	Ácida	Arena fina muy mal clasificada.		

Tesc 1D o Tesc UI	Es un horizonte pumítico con intercalaciones de material arcilloso de un centímetro de espesor, se definen 4 principales. El espesor es de 4 metros.	Blanco con pardo claro.	Félsico	Piroclástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Arcilla</li> <li>✓ Pumicitas: vidrio, cuarzo, biotita.</li> </ul>	Arcilla	Piroclástico	Ácida	Arena muy gruesa mal clasificada de pómez.	El color de la pumicita cambia de blanco a pardo.	
Tesc 1E	Material compacto con fragmentos pumicíticos de tamaño no mayor a 3 [mm] diseminados en una matriz arcillosa. Presenta un espesor de 2 [m].	Pardo claro.	Intermedio	Piroclástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Arcilla</li> <li>✓ Pumicitas: vidrio, cuarzo, biotita.</li> </ul>	Arcilla	Piroclástico	Ácida	Arena gruesa muy mal clasificada.	El material presenta poca humedad.	

Tesc 1F	Material completamente arcilloso, saturado de agua contiene raíces de plantas.	Pardo oscuro	Intermedio	Piroclástico	Arcilla	Arcilla	Piroclástica	Ácida	Suelo arcilloso.	A diferencia de la muestra Tesc 1 E, este material contiene mayor cantidad de agua y es mas deleznable.	
---------	--	--------------	------------	--------------	---------	---------	--------------	-------	------------------	---	---

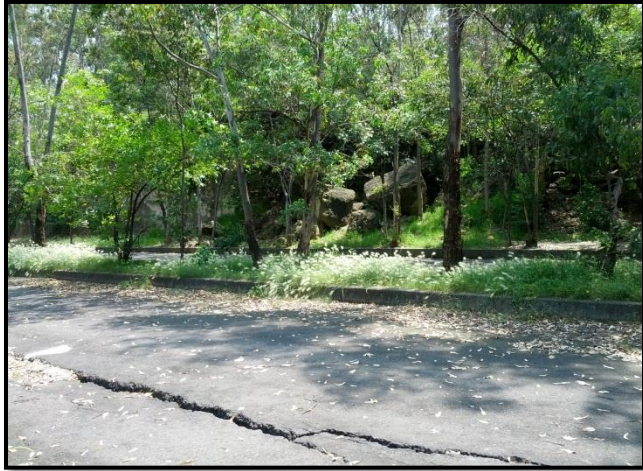


*Fotografía 7: se muestran cinco unidades expuestas del talud escuela en el sitio de mayor altura.*



*Fotografía 8: se señala la evidencia de un paleocanal en la intercalación de material pumicítico y horizontes arcillosos*





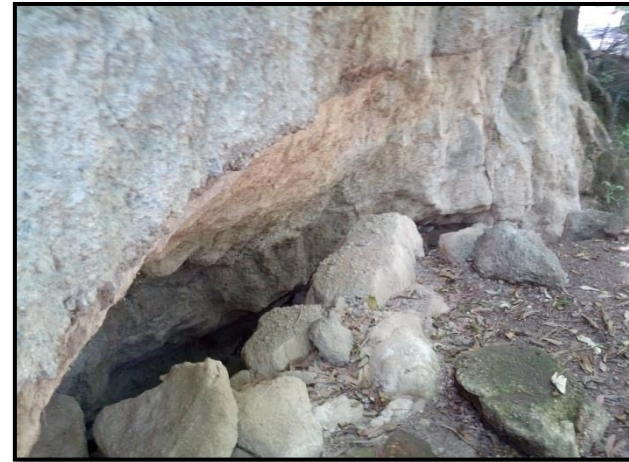
*Fotografía 9: en el talud Escuela se observa un fracturamiento que afecta también a las avenidas aledañas.*



*Fotografía 10: se muestra el efecto que tienen las raíces de árboles y plantas sobre las unidades del talud escuela.*



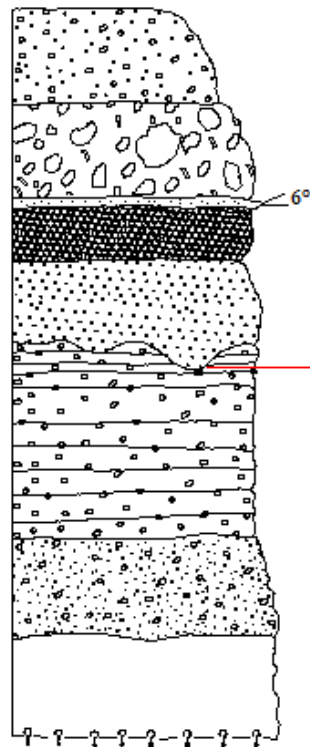
*Fotografía 11: se muestra el tamaño de los bloques desprendidos del talud escuela, que invaden la banqueta e impiden el paso peatonal.*



*Fotografía 12: se aprecia una oquedad en el material pumicítico, se ha mencionado que dicho material se explotaba para construcción.*

Columna Estratigráfica del Talud Escuela que muestra sus unidades principales así como sus características de campo.

## TALUD ESCUELA



Fragmentos líticos diseminados de 3 [cm] como máximo, de diferentes composiciones pero predominan los fragmentos andesíticos. Tiene segregación (estratos) de carbonato de 1 [cm] de espesor. Espesor 2 [m]. Punto GPS.- Talesci

Este horizonte es color pardo oscuro de intemperismo y color ocre al fresco. Tiene fragmentos líticos de tamaño variable desde mm hasta 60cm aprox; son subangulosos a subredondeados. Espesor 2 [m] Punto GPS.- Tesc1

Material fino, espesor 10 [cm], poco compacto. Los clastos son subredondeados a subangulosos. Punto GPS.- TescUM

Fragmentos gruesos subredondeados que mantienen contactos puntuales, tangenciales, etc. El espesor es de 1.20 [m]

Material fino color pardo, con un gran contenido de agua de posible composición pumicítica. Espesor 1.70 [m]. Punto GPS.- Tesc 2

### PALEOCANAL

Intercalaciones de material pumicítico con horizontes arcillosos de 1 [cm] de espesor máximo (se definen 4), es probable la existencia de paleorelieve en el que se ve un relleno que indica un canal. Muestra Tesc 1D. Punto GPS.- Tesc UI. Espesor 4[m]. El color de la pumicita cambia de blanco a pardo.


Material fino con fragmentos pumicíticos diseminados con matriz arcillosa. Espesor 2[m]. Punto GPS.- Tesc 1e



Material fino (arcilloso) color pardo oscuro, se encuentra saturado de agua y raíces de plantas. Muestra Tesc 1f. Se encuentra una falla con rumbo SW17°, 44° NW.



## Talud Hípico


El talud Hípico se encuentra localizado en las coordenadas de inicio y fin respectivamente:  $X: 477621$  ;  $Y: 2146027$  ;  $Z: 2290[m]$  y  $X: 477602$ ;  $Y: 2146005$  ;  $Z: 2316 [m]$ . Específicamente en la calle Montes Apalaches y su intersección con J. Clausel en dirección oriente, se le denominó Talud Hípico por su cercanía con el Club Hípico de la Ciudad de México. Se definieron tres unidades principales para este talud **Talud Hípico M1**, **Talud Hípico M2** y **Talud Hípico M3**. A continuación se describe la información colectada en campo en la siguiente tabla:



NOMBRE DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA	COLOR	ÍNDICE DE COLOR	TEXTURA	MINERALOGÍA	ALTERACIONES	ORIGEN	COMPOSICIÓN QUÍMICA	CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	OBSERVACIONES	FOTO EJEMPLAR DE MANO
Talud Hípico Muestra 1	Es un horizonte de aproximadamente 2 metros de espesor. El material está compuesto por arcilla, monominerales de cuarzo, biotita, y fragmentos pumicíticos menores de 3 [mm]. Dicho material es deleznable, granular y se observa un fuerte intemperismo biológico.	Pardo oscuro	Intermedio	Piroclástica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Arcilla</li> <li>✓ Pumicitas: vidrio, cuarzo, biotita.</li> </ul>	Arcilla	Piroclástico	Ácida	Arena gruesa muy mal clasificada		

<p>Talud Hípico Muestra 2</p>	<p>Es un horizonte de aproximadamente 64[cm] de espesor. El material está compuesto por material arcilloso contiene fragmentos pumicíticos menores de 3 [cm] cuyo color es pardo claro de intemperismo y blanco al fresco. El horizonte es compacto pero el material es deleznable.</p>	<p>Ocre</p>	<p>Intermedio</p>	<p>Piroclástica</p>	<p>✓ Arcilla ✓ Pumicitas: vidrio, cuarzo, biotita.</p>	<p>Arcilla</p>	<p>Piroclástico</p>	<p>Ácida</p>	<p>Arena media mal clasificada</p>		
<p>Talud Hípico Muestra 3</p>	<p>Es un material granular con un espesor aproximado de 2.25 [m]. Los granos se encuentran en contacto flotante y puntual principalmente; el tamaño varía desde 1[mm] a 2[cm] contiene poca matriz y son de forma redondeados a subredondeados.</p>	<p>Pardo claro</p>	<p>Intermedio</p>	<p>Piroclástica</p>	<p>✓ Pumicitas: vidrio, cuarzo, biotita.</p>	<p>Arcilla</p>	<p>Piroclástico</p>	<p>Ácida</p>	<p>Arena media mal clasificada de pómez.</p>	<p>El horizonte está afectado por intemperismo biológico.</p>	

## Talud Prueba (TB)

El talud Prueba se encuentra localizado en las coordenadas de inicio y fin respectivamente: X: 476,600; Y: 2,145,621 y X: 476,678; Y: 2,145,677; específicamente en la calle de Monte Auvernia en dirección al sur. Se denominó prueba por que se pretendían realizar pruebas geotécnicas en el talud de resistencia en el material. En campo se identificaron tres unidades principales que se nombraron: **TB1**, **TB2** y **TB3**. A continuación se describirá la información recolectada en campo:

NOMBRE DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA	COLOR	ÍNDICE DE COLOR	TEXTURA	MINERALOGÍA	ALTERACIONES	ORIGEN	COMPOSICIÓN QUÍMICA	CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	OBSERVACIONES	FOTO EJEMPLAR DE MANO
TB 1	Es un material fragmentado, muy deleznable tiene granulometría diversa desde el tamaño de la arena muy fina a la arena muy gruesa, con un predominio del material fino (de manera visual), los granos son redondeados a subredondeados. Se encuentran fragmentos líticos color pardo claro diseminados.	Pardo claro a ocre	Intermedio	Piroclástica	Se encuentran minerales como biotita y cuarzo. *Pumitas: vidrio, biotita, cuarzo.	Arcillas	Piroclástico	Ácida	Arena media muy mal clasificada de pómez		

TB 2	Es un material constituido de fragmentos andesíticos, tobas vítreas y tobas cristalinas; el tamaño de los granos varía desde las arcillas hasta las gravas y son subredondeados a subangulosos. En los fragmentos andesíticos se encuentran alterados principalmente los feldespatos.	Tonalidad pardo claro a Ocre. Los fragmentos líticos varían de gris oscuro, gris claro y pardo claro.	Intermedio	Piroclástica	Arcillas; se encuentran monominerales como biotita y cuarzo. *Tobas vítreas: ferromagnesianos, vidrio, cuarzo.* *Tobas vítreas-cristalinas: cuarzo, biotita, plagioclasas, vidrio, ferromagnesianos. *Andesitas: feldespatos, ferromagnesianos, cuarzo en poca cantidad.	Arcillas	Piroclástico	Ácida	Arena gruesa mal clasificada de diversos fragmentos líticos		
TB 3	Es un material constituido de fragmentos de tobas cristalinas, tobas vítreas y andesitas, en dichos fragmentos se encuentran alterados principalmente los feldespatos. El tamaño varía de la arena a la grava.	La arcilla presenta una coloración pardo oscura y los fragmentos verde a gris claro y gris oscuro, amarillo crema y rojos.	Intermedio	Piroclástica	Arcillas; se encuentran minerales como biotita y cuarzo. *Tobas vítreas: ferromagnesianos, vidrio, cuarzo. *Tobas vítreas-cristalinas: cuarzo, biotita, plagioclasas, vidrio, ferromagnesianos. *Andesitas: feldespatos, ferromagnesianos, cuarzo en poca cantidad.	Arcillas	Piroclástico	Ácida	Arena muy gruesa muy mal clasificada de diversos fragmentos líticos.		

## 6.2.- Petrografía de muestras de los taludes de la de la 3<sup>ra</sup> sección del Bosque de Chapultepec.

### 6.2.1. Metodología de trabajo

Una vez definidas las unidades de los ocho taludes correspondientes a la 3<sup>ra</sup> sección del Bosque de Chapultepec que se detallaron en el subtema anterior, se continuó con la siguiente etapa que corresponde a la aplicación de la técnica de microscopía óptica de polarización o mejor conocido como Petrografía. Esta técnica se ocupa de los aspectos descriptivos de las rocas, tales como su estructura, textura, composición, clasificación y la relación que guardan las fases minerales presentes.

Para poder emplear este método es necesario preparar una sección y/o lámina delgada, a partir de una muestra de material, que permita el paso de la luz a través de ella, empleando un microscopio óptico de polarización (petrográfico). A grandes rasgos, el procedimiento es el siguiente: se realiza un corte transversal a la muestra para obtener una esquirla de aproximadamente 2 [cm<sup>2</sup>] de área por 3 [mm] de espesor; esa esquirla será montada sobre un porta objetos utilizando termoplástico para adherirla al porta objetos. Una vez que la muestra ha sido montada, se deberá desbastar utilizando un abrasivo como el carborundum o carburo de silicio hasta que la esquirla tenga un espesor de 30 micras y posteriormente se aplicará sobre ella una resina, anteriormente se utilizaba bálsamo de Canadá pero por cuestiones ecológicas se ha ido sustituyendo con otro tipo de resinas que tengan la misma calidad del bálsamo de Canadá.

Una vez que se tienen listas las láminas delgadas, se procede a examinarlas al microscopio óptico de polarización, aplicando descripciones de mineralogía óptica así como tablas de clasificación petrológica y de estimación visual de porcentajes.

De las 25 muestras que se recolectaron en los taludes de la 3<sup>a</sup> sección de Chapultepec se seleccionaron finalmente 33 diferentes materiales, desde material suelto arcilloso que debido a sus propiedades provoca desprendimientos y es propenso al fracturamiento; además fragmentos líticos presentes en todos los taludes y que presentan en su mayoría una alteración considerable, todo esto con la finalidad de determinar su composición y dar como conclusión la susceptibilidad que presentan dichos materiales, esto se abordará más adelante.

Para ello se realizó una tabla (Tabla 4), en la que aparecen los grupos minerales de las muestras, todos ellos corresponden a minerales típicos de depósitos volcánicos. A continuación se describirán las propiedades de cada uno de los grupos minerales presentes en las muestras y que dieron lugar a la tabla de clasificación de fases minerales:

- ✚ Cuarzo: El cuarzo es un mineral incoloro; aparece como cristal prismático eudral en las vetas pero de forma anedral si se encuentra reemplazando otros minerales; no presenta clivaje, su relieve es bajo y su birrefringencia débil. Las maclas son comunes en el cuarzo pero rara vez se observan en secciones delgadas y son cristales uniaxiales del sistema hexagonal.

- ✚ Feldespatos: Este grupo mineral es el más importante ya que constituye cerca del 60% de la superficie terrestre. Los feldespatos pueden dividirse en dos grandes subgrupos: los feldespatos alcalinos o potásicos y los feldespatos sódico-cálcicos o plagioclasas. En términos generales, presentan un clivaje perfecto en dos direcciones y bajo relieve; todos son cristales biaxiales y el maclado es muy común, casi universal en las plagioclasas. Los minerales pertenecientes al grupo de las plagioclasas consisten en mezclas isomórficas de los miembros inicial y final de la serie: la albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) y la anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ). Ópticamente es posible determinar el tipo de plagioclasa presente en una muestra empleando el método de Michel Levy o método de la macla. Dicho método consiste en orientar el mineral en la platina del microscopio sobre el eje cartesiano de las ordenadas y medir el ángulo de extinción de las maclas tanto en el sentido de las agujas del reloj como a la inversa; de los valores obtenidos se suma un promedio y posteriormente se compara con la curva del ángulo máximo de extinción para las plagioclasas, obteniendo así el tipo al que corresponde el mineral analizado.
- ✚ Micas: las micas constituyen un grupo muy bien definido de silicatos de aluminio, sodio, calcio, hierro y magnesio. Se caracterizan por tener un clivaje perfecto en una sola dirección y marcada birrefringencia. Todas las micas pertenecen al sistema monoclinico.
- ✚ Piroxenos: El grupo de los piroxenos incluye algunos de los minerales más importantes en la formación de las rocas. Los piroxenos se pueden dividir en dos subgrupos dependiendo el sistema cristalográfico al que pertenecen: ortopiroxenos (sistema ortorrómbico) o clinopiroxenos (sistema monoclinico). La composición de los piroxenos es variable, pero en términos generales, los piroxenos muestran un crucero típico con un ángulo aproximado de  $93^\circ$ , clivaje paralelo, maclado relativamente común en planos gemelos y son minerales biaxiales.
- ✚ Anfíboles: Los anfíboles son más o menos parecidos a los piroxenos y se pueden dividir en dos subgrupos, los que pertenecen al sistema ortorrómbico y los que pertenecen al sistema monoclinico. A pesar de que el grupo de los anfíboles es uno de los grupos minerales más complejos, en términos generales se presentan como minerales prismáticos elongados, con clivaje paralelo y crucero característico que intersecta en  $56^\circ$  y  $124^\circ$ . Tienen baja birrefringencia y el maclado y sonado es bastante común.
- ✚ Olivino ( $\text{Mg, Fe}_2\text{SiO}_4$ ): Este mineral es una mezcla isomórfica intermedia de los miembros extremos (fosforita y fayalita) del grupo mineral al que pertenece. En láminas delgadas, el olivino es incoloro y no presenta pleocroísmo; su hábito va de anedral a subdral, su clivaje es imperfecto y es común encontrar fracturas irregulares; su relieve es muy alto, su birrefringencia es fuerte y su extinción es paralela a los bordes del mineral. Rara vez presenta maclado y ocasionalmente zoneamiento, aunque esta última propiedad no es diagnóstica; sus figuras de interferencia son biaxiales y es muy susceptible de ser alterado hidrotermalmente debido al intemperismo.
- ✚ Minerales opacos: Son aquellos que no permiten la transmisión de la luz en secciones delgadas para microscopios petrográficos. Ya que la identificación de estos minerales

requiere de un microscopio de luz reflectante y muestras pulidas, mediante petrografía sólo se puede hacer una descripción de la forma y la cantidad de los minerales. Aunque la Petrología de algunas rocas pueden llevar a la identificación de los mismos asociándolas a fases minerales y a ciertas características físicas.

- ✚ Cloritas: Este grupo está conformado por silicatos de hierro, magnesio y aluminio, con apariencia micácea. Generalmente son verdes, pleocróicas, pertenecen al sistema monoclinico, clivaje perfecto en una sola dirección y débil birrefringencia.
- ✚ Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ): Es un mineral opaco, de color negro metálico bajo luz reflejada pero algunas variedades son de color rojo translúcido. Se encuentra en cristales anedrales como inclusiones de otros minerales. La hematita no es un constituyente original de las rocas ígneas, pero es frecuente encontrarla como un mineral secundario.
- ✚ Arcilla: Son minerales muy abundantes en rocas sedimentarias, pueden ser hallados en venas y también aparecen como productos de alteración de rocas ígneas y metamórficas. Los minerales más corrientes de arcilla pertenecen al grupo de caolín, montmorillonita, palygorsquita e hidrómicas. Todos son de estructura cristalina muy fina o metacoloïdales y aparecen en agregados en forma de escamas o agregados densos de diferentes tipos. Los minerales de arcilla más importantes presentan características especiales en secciones delgadas. Sin embargo, por lo general estos minerales son difíciles de identificar a no ser que se empleen métodos ópticos coordinados de rayos X, térmicos y químicos. También es importante emplear la micrografía óptica de algunos minerales de arcilla.
- ✚ Vidrio volcánico: Corresponde a un mineraloide muy común con frecuencia de importancia geológica. En secciones delgadas es incoloro o tiene tonalidades gris o rojizo, por lo general es masivo, a veces vesicular, perlítico y con frecuencia tiene esferulitas; tiene un relieve bajo a moderado, birrefringencia débil a nula, y generalmente el vidrio volcánico está más o menos desvitrificado. Los productos de alteración, por lo general son bastante indefinidos, pues los feldespatos, tridimita, cristobalita o montmorillonita son el resultado de una desvitrificación.
- ✚ Fragmentos líticos: Pedazos diminutos de roca que siguen conservando los elementos constitutivos de la misma.

### 6.2.2. Análisis de la información.

Una vez determinada la metodología, se obtuvieron las descripciones minerales encontradas en las 33 muestras y se procedió a interpretar la información. De los 8 taludes se obtuvo la siguiente relación de muestras:

<b>Tabla 4.- Relación de las muestras de los taludes de la Tercera Sección de Chapultepec analizadas en el microscopio óptico</b>		
<i>TALUD</i>	<i>NOMBRE DE LA MUESTRA</i>	<i>LÁMINA DELGADA</i>
Talud Prueba	TB1	TB1-1
	TB2	TB2-1
		TB2-2
		TB2-3
	TB3	TB3-1
		TB3-2
TB3-3		
Talud Caídos	TC1	TC1-1
	TC2	TC2-1
	TC3	TC3-1
	TC4	TC4-1
		TC4-2
	TC5	TC5-1
		TC5-2
	TC6	TC6-1
		TC6-2
	TC7	TC7-1
TC8		TC8-1
Talud # 1 o Talud Alto	T1-01 (talud#1)	T1-01-1 Talud 1
	T1-04(Talud #1)	T1-03-1 Talud 1
	T1-03(Talud #1)	T1-04-1 Talud 1
		T1-04-2 Talud 1
		T1-04-3 Talud 1
Talud Escuela	Tesc 1D= Tesc UI	Tesc UI-1
	Tesc 1A= Tesc UM	Tesc UM-1
	Tesc1 = U2	Tesc1-1
Talud Bahía	Talud Bahía M1	TBM1-1
Talud Cañada	Talud Cañada M3	Talud Cañada M3-1
		Talud Cañada M3-2
		Talud Cañada M3-3
Talud Cañada M2	Talud Cañada M2-1	
Talud Hípico	Talud Hípico M1	Talud Hípico M1-1
Talud Drenes	Talud Drenes M1	Talud Drenes M1-1

Se realizó la descripción de cada una de las muestras recolectadas en un formato especial que se muestra en el Anexo I, en el que se describen las características macroscópicas y microscópicas que permitieron darle nombre y composición a cada uno de los materiales.

De esa información y de acuerdo a la tabla 4 que se realizó para todas las muestras, se ingresó en un programa de cómputo llamado *SPSS IBM Cluster Analysis* o Análisis de conglomerados, este programa realiza agrupación de datos tomando en cuenta la proximidad que existe entre los mismos; es decir contrasta todos los datos que se deseen analizar y forma un dendrograma



que junta los casos similares. Debido a esta característica, este método se empleó para agrupar información de las muestras de acuerdo a su contenido mineral, vidrio y fragmentos líticos.

Por otro lado, se realizaron diagramas ternarios generados por el programa *Pro Sim Ternary diagram*, ilustrando de manera gráfica cómo se comportan los componentes de una roca en este caso “Tobas”, para su clasificación, y posteriormente pueden ser contrastados con diagramas ya establecidos como el de Pettijohn (1975) para saber cuál es el tipo de material analizado. Este método compara 3 componentes a la vez recalculando nuevamente los porcentajes, tomando como base dichos componentes. También se utilizó el programa libre *QAPF 1.2* de la Universidad Complutense de Madrid de la Facultad de Ciencias Geológicas, que realiza el cálculo de porcentajes basándose en el diagrama de Streckeisen (1973) y se deben de utilizar ciertos criterios para designar de acuerdo con su composición modal a las rocas ígneas, además se incluyen todas las rocas de aspecto “ígneo”, independientemente de su origen. Los límites deben trazarse en donde cae el mínimo de rocas para evitar indecisiones.

Este diagrama tiene un doble triángulo en el que los vértices están definidos de la siguiente manera:

- ✚ Q=MINERALES DE SÍLICE (cuarzo, tridimita y cristobalita).
- ✚ A=FELDESPATOS ALCALINOS (ortoclasa, microclina, sanidino, anortoclasa, pertitas y albita con An 0-5).
- ✚ P=PLAGIOCLASAS (An5-100) y ESCAPOLITAS.
- ✚ F=FELDESPATOIDES (leucita, sodalita, nefelina, pseudoleucita, nefelina, noseana, hauyna, analcima y cancrinita).

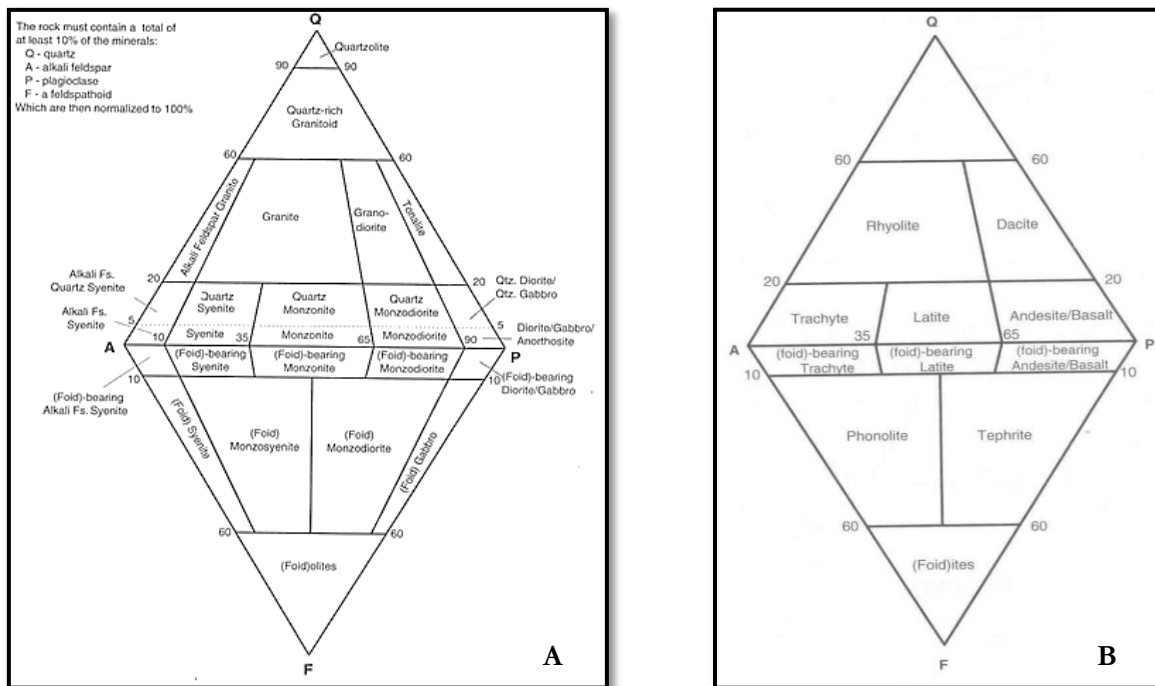


Figura 28: A) Diagrama de Streckeisen para rocas faneríticas con más del 10% de (cuarzo+ feldespato+feldespatoides).

B) Diagrama de Streckeisen para clasificación y nomenclatura de rocas volcánicas

Según la metodología descrita anteriormente, se procederá a describir y señalar las principales fases minerales de las muestras seleccionadas de los taludes de la 3ra sección de Chapultepec, y que podrán ser consultadas a detalle en el Anexo I del presente trabajo.

### Talud # 1 o Talud Alto

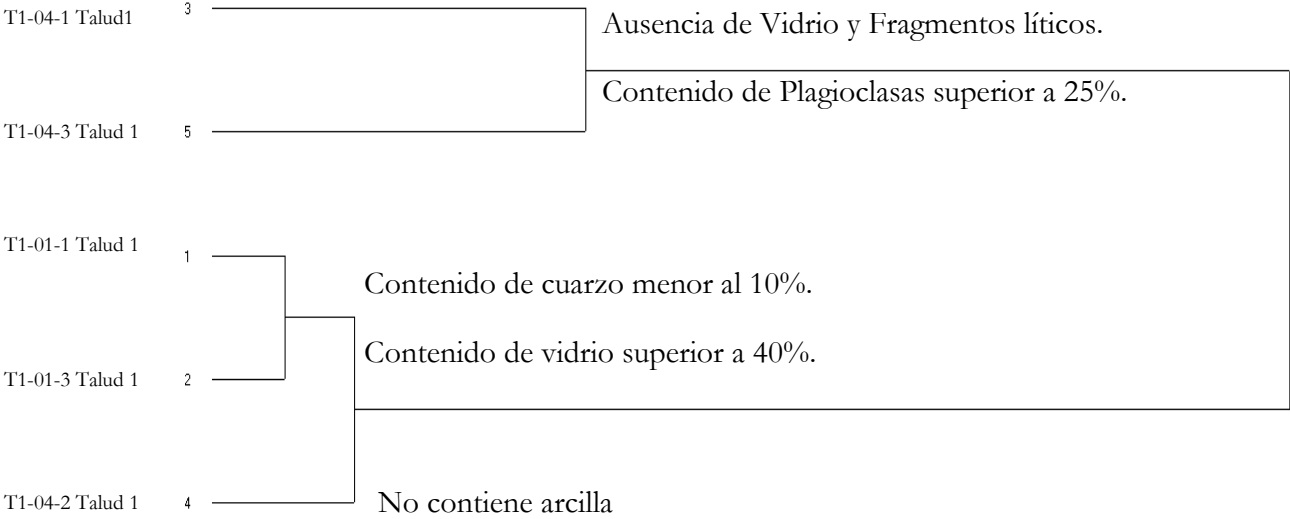
Del talud # 1 o Alto, se seleccionó material arcilloso y líticos presentes en el talud que cuentan con características peculiares y dicha información determinada en el microscopio petrográfico se sintetizó de la siguiente manera:

MUESTRA	FASES MINERALES [%]													
	Cuarzo	Feldespato Alcalino	Plagioclasa	Vidrio	Biotita	Hornblenda	Augita	Clorita	Sericita	Minerales Opacos	Óxidos de Hierro	Arcilla	Fragmentos de roca	Zircón
T1-01-1 Talud 1	10	6	8	44.12	6	x	6	x	x	3	2	10	4.41	x
T1-01-3 Talud 1	9	6	4	49.296	8	5	4	x	x	3	3	8	1.408	x
T1-04-1 Talud 1	32	5	28	x	x	x	x	9	5	8	3	10	x	x
T1-04-2 Talud 1	6	8	9	47.06	7	4	2	x	x	3	2	x	11.77	x
T1-04-3 Talud 1	x	24.01	52.84	x	9.61	7.648	2.88	x	x	2.88	x	x	x	0.096

De la tabla de fases minerales para el Talud # 1 o Alto, se puede determinar su alto contenido de vidrio y cuarzo, dándonos así la referencia de un medio ácido principalmente en las muestras *T1-01-1 Talud 1*, *T1-01-3 Talud 1* y *T1-04-2 Talud 1* que corresponde a Tobas vitro-cristalinas tal y como se observará en el diagrama ternario en el que se incluyen todas las tobas de los taludes de la 3ra Sección de Chapultepec que se encuentra al final de este capítulo. Acerca de los fragmentos líticos encontrados que corresponden a las muestras *T1-04-1 Talud 1* y *T1-04-3 Talud 1* se observa un contraste en cuanto a su composición mineralógica, la primera corresponde a un material granítico que presenta una alteración avanzada principalmente en los feldespatos y la segunda corresponde a una Andesita Basáltica con porosidad y como mineral accesorio diferente de los demás se encontró un zircón.

Los fragmentos líticos que se seleccionaron en este talud, nos indica un aporte de material muy diverso que corresponde al material generado a lo largo de varias decenas de milenios por la

Sierra de las Cruces, esto se ha comentado en el subtema 2.2.3. En el siguiente dendrograma se determinó la clasificación de las muestras de acuerdo a la tabla de fases minerales utilizada anteriormente para el Talud # 1 o Alto, y quedan definidas de la siguiente forma:



*Figura 29.- Dendrograma de las muestras del Talud # 1 o Alto formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales.*

De la figura 29 podemos observar que se generaron dos clases principales para el talud # 1 o Alto diferenciándose por el contenido de vidrio y de cuarzo. Es de resaltar que una de esas clases puede a su vez dividirse en subclases como se aprecia lo ocurrido con las muestras T1-01-1 Talud # 1 y T1-01-3 Talud #1 según exista alguna diferencia de composición en ellas.

## Talud Bahía

De este talud se definió una unidad que corresponde a un flujo piroclástico y por lo cual contiene material lítico de diversas composiciones. Se tomó por lo cual un fragmento lítico anguloso que contrastaba con el material predominante y la composición de dicho fragmento se sintetiza en la siguiente tabla de fases minerales:

MUESTRA	FASES MINERALES [%]													
	Cuarzo primario	Cuarzo secundario	Feldespato Alcalino	Plagioclasa	Vidrio	Biotita	Hornblenda	Augita	Clorita	Sericita	Minerales Opacos	Óxidos de Hierro	Arcilla	Fragmentos de roca
Talud Bahía M1-1	20	10	10	20	5	x	x	x	x	x	15	20	x	x

Se concluyó una vez realizado el estudio petrográfico (Anexo I), que la muestra corresponde a una Riolita que ha sido sometida a un proceso de silicificación, lo que puede dar indicios de que estuvo en un ambiente de mayor acidez al que le dio origen, esto mismo se aprecia en la incorporación de cristales de cuarzo policristalinos llamados así en los porcentajes de minerales como *cuarzo secundario* a diferencia de los cuarzos que presentan halos de disolución denominados *cuarzo primario*.

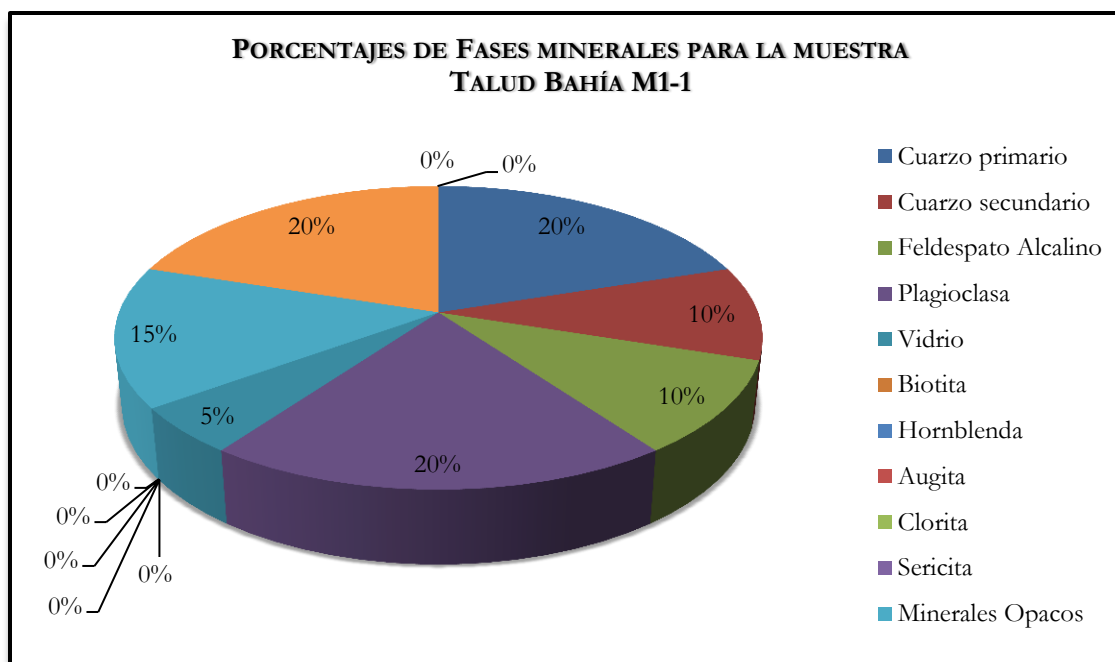


Figura 30.- Gráfico que muestra el porcentaje de los minerales presentes en la muestra analizada para el talud Bahía que corresponde a una Riolita.

## Talud Caídos

El Talud Caídos corresponde a uno de los más importantes en cuanto a contenido de unidades se refiere, dichas unidades se encuentran presentes en la mayor parte de los taludes de la Tercera Sección de Chapultepec. Por lo que se seleccionaron muestras de cada unidad definida en campo, desde material arcilloso y tobáceo como las muestras *TC1-1*, *TC2-1*, *TC3-1*, *TC5-1*, *TC7-1* y *TC8-1*; aunque cabe destacar la muestra *TC7-1* que contrasta completamente con lo típico de la zona, dicha muestra corresponde a una roca carbonatada asociada a limos y arcillas que presenta microfósiles identificados como diatomeas y que son indicadores de ambientes acuáticos ya sea lagos o lagunas dándonos así una referencia del clima que presentaba la zona en el pasado y asociarla también al intemperismo de tipo químico que está muy presente en las rocas que se han analizado y a los minerales que se alteran debido a estos procesos. Además se analizaron fragmentos líticos de diversas composiciones como las muestras: *TC4-1*, *TC4-2*, *TC5-2*, *TC6-1*, *TC6-2* y *TC8-2*, que de acuerdo a lo observado en el microscopio petrográfico se determinó que corresponden a Andesitas principalmente y variaciones como Andesita de

MUESTRA	FASES MINERALES [%]													
	Cuarzo	Feldespato Alcalino	Plagioclasa	Vidrio	Biotita	Hornblenda	Augita	Clorita	Sericita	Minerales Opacos	Oxidos de Hierro	Arcilla	Fragmentos de roca	Carbonatos
TC <sub>1-1</sub>	2.52	3.78	2.52	66.18	10.08	2.52	x	x	3.78	x	1.27	x	7.35	x
TC <sub>2-1</sub>	2.03	10.84	4.07	57.14	13.56	6.78	x	x	1.36	x	1.36	x	2.86	x
TC <sub>3-1</sub>	5.88	3.92	9.8	35.3	15.68	9.8	x	x	x	x	1.97	x	17.65	x
TC <sub>4-1</sub>	7	15	35	x	15	10	3	5	x	10	x	x	x	x
TC <sub>4-2</sub>	3	15	45	5	10	8	4	x	x	10	x	x	x	x
TC <sub>5-1</sub>	6.42	8.97	3.85	50	8.97	x	2.56	x	x	2.56	x	x	16.67	x
TC <sub>5-2</sub>	3	17	45	3	17	2	6	x	3	4	x	x	x	x
TC <sub>6-1</sub>	8.23	17.66	35.29	x	11.77	5.88	4.71	2.35	5.88	8.23	x	x	x	x
TC <sub>6-2</sub>	18.56	30.93	25.78	x	8.25	x	3.09	2.06	5.15	5.15	1.03	x	x	x
TC <sub>7-1</sub>	5	2	3	2	2	x	x	x	x	10	x	40	11	25
TC <sub>8-1</sub>	6.15	2.45	3.69	41.66	6.15	2.45	x	x	6.15	6.15	2.45	12.28	10.42	x
TC <sub>8-2</sub>	7	18	35	x	8	x	x	x	10	20	2	x	x	x

Biotita; y también Riolitas.

En el siguiente dendrograma se determinó la clasificación de las muestras de acuerdo a la tabla de fases minerales utilizada anteriormente para el Talud Caídos:

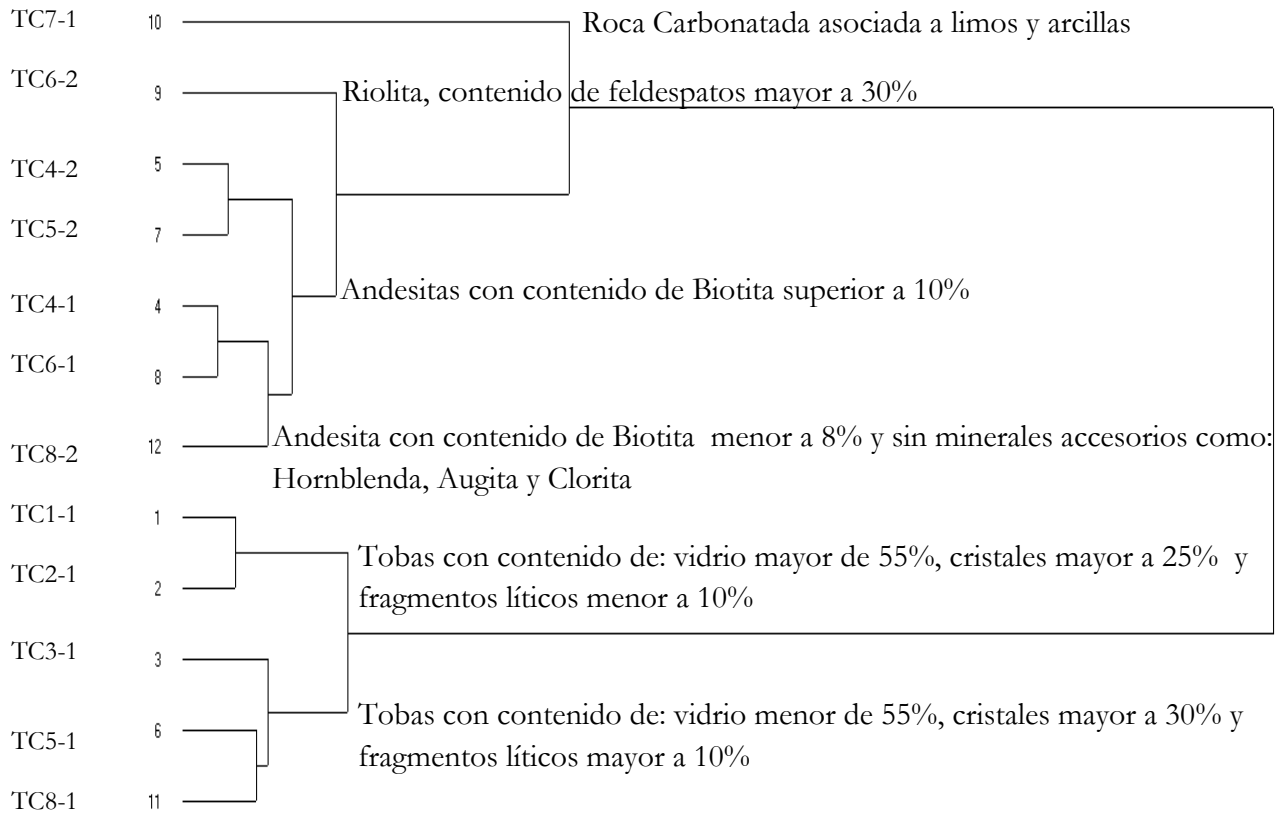


Figura 31.- Dendrograma de las muestras del Talud caídos formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales.

Se aprecia en la figura 31 las clases que tiene el talud Caíos según sea su composición mineralógica de las muestras seleccionadas y que permite determinar que hay un gran contenido de subclases y por lo tanto diferentes materiales pero por fines prácticos se toman las características mineralógicas que tengan en común.

## Talud Cañada

En el talud cañada se seleccionaron únicamente fragmentos líticos por el gran contenido de los mismos que presentan las unidades de este talud, desde fragmentos del tamaño de la grava gruesa hasta arena fina.

De acuerdo al análisis realizado la muestra *Talud Cañada M2-1* corresponde a una Dacita, la muestra *Talud Cañada M3-1* a un Basalto, la muestra *Talud Cañada M3-2* a una Andesita Basáltica, la muestra *Talud Cañada M3-3* a una Riolita. Este talud contiene la mayor variedad de fragmentos líticos a diferencia de los demás taludes de la 3ra Sección de Chapultepec.

MUESTRA	FASES MINERALES [%]													
	Cuarzo	Feldespato Alcalino	Plagioclasa	Vidrio	Biotita	Hornblenda	Olivino	Augita	Clorita	Sericita	Minerales Opacos	Óxidos de Hierro	Arcilla	Fragmentos de roca
Talud Cañada M <sub>2-1</sub>	15	5	25	x	3	x	x	x	x	10	2	35	5	x
Talud Cañada M <sub>3-1</sub>	5	10	45	3	x	5	5	8	3	x	8	8	x	x
Talud Cañada M <sub>3-2</sub>	4.55	9.09	36.37	x	2.73	x	x	13.63	13.63	9.09	9.09	1.82	x	x
Talud Cañada M <sub>3-3</sub>	25	20	15	10	x	x	x	x	x	x	15	15	x	x

En el siguiente dendrograma se determinó la clasificación de las muestras de acuerdo a la tabla de fases minerales utilizada anteriormente para el Talud Cañada:

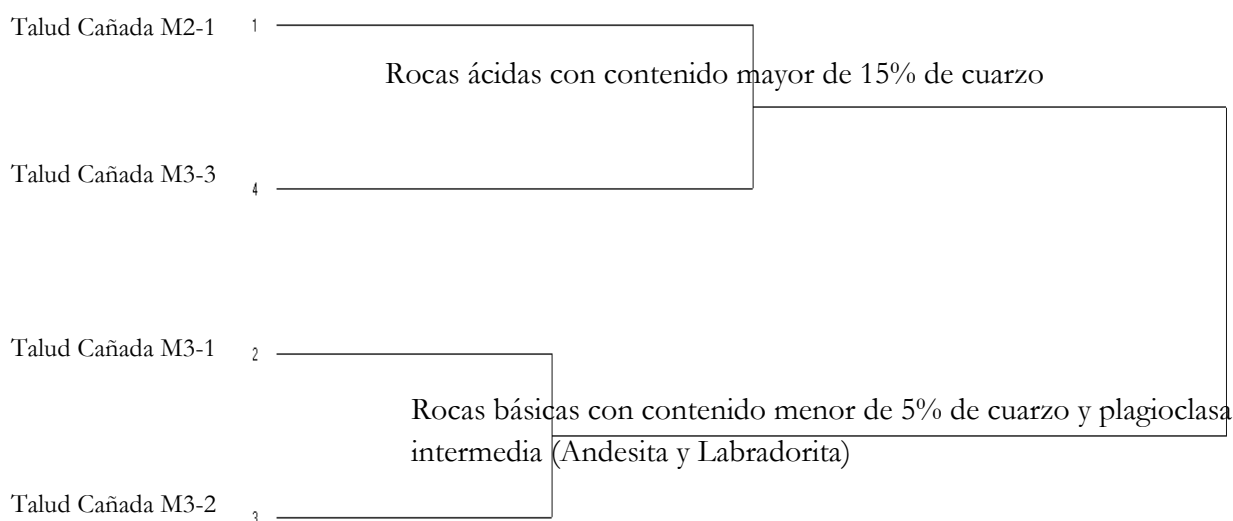


Figura 32.-Dendrograma de las muestras del Talud Cañada formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales. Se aprecian 2 clases bien definidas de acuerdo a la composición de dicho talud.

## Talud Drenes

Este talud está compuesto de una unidad cuyo material arcilloso tiene un gran contenido de agua y que es tratado precisamente con la implementación de drenes y se hizo únicamente la lámina delgada de dicho material asignándole la clave *Talud Drenes M1-1* y su composición corresponde a una Toba vítrea – cristalina con pocos fragmentos líticos de diversas composiciones como lo son andesíticos, pumíticos, toba vitro-cristalina, cuarzo –feldespáticas principalmente.

MUESTRA	FASES MINERALES [%]												
	Cuarzo	Feldespato Alcalino	Plagioclasa	Vidrio	Biotita	Hornblenda	Augita	Clorita	Sericita	Minerales Opacos	Óxidos de Hierro	Arcilla	Fragmentos de roca
Talud Drenes M1-1	8	5	10	43.75	5	2	x	x	x	3	1	3	18.75

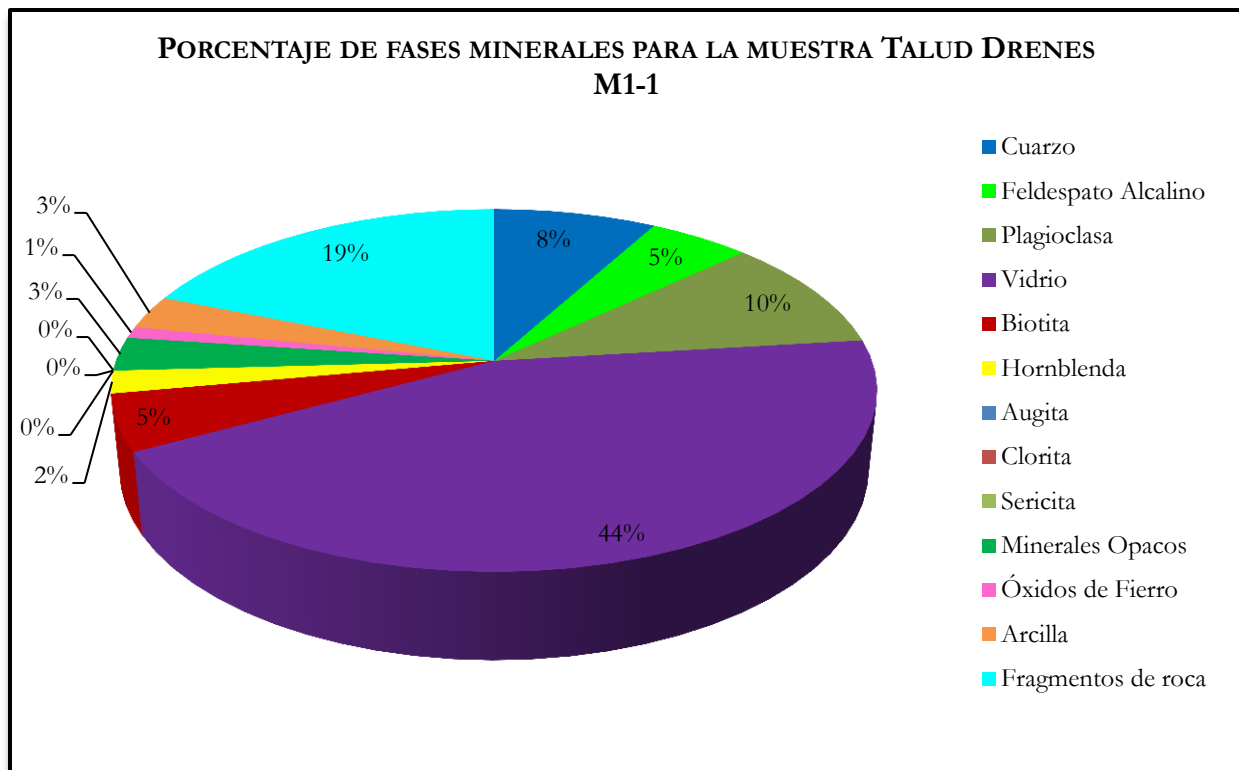


Figura 33.- Gráfico que muestra la composición mineral de la muestra analizada para el talud Cañada y corresponde a un material tobáceo cuya composición es vitro-cristalina.

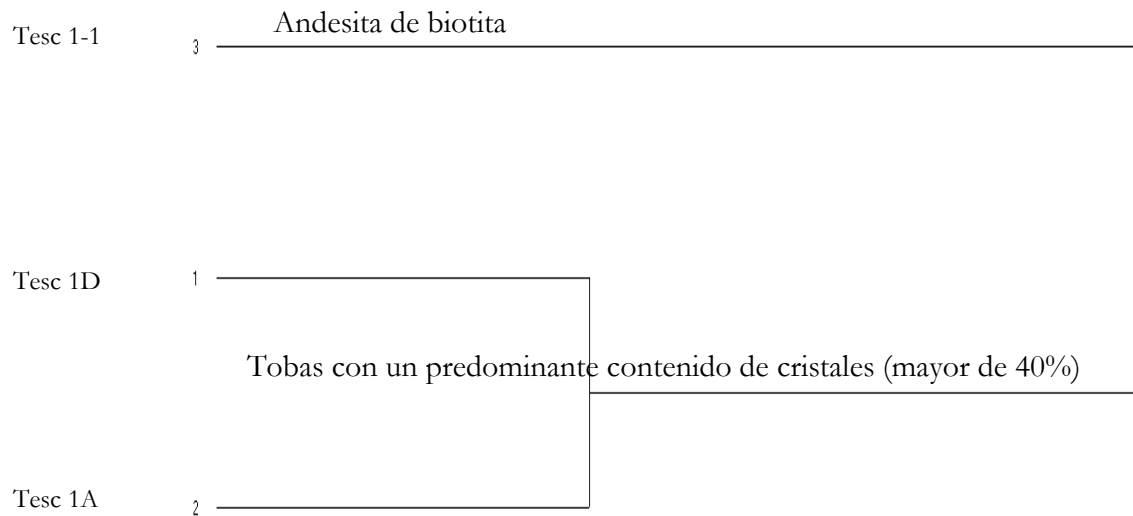


## Talud Escuela

Al igual que el Talud Caídos, el Talud Escuela es de los taludes más importantes en la 3ra. Sección de Chapultepec por su gran contenido de unidades y cabe señalar que algunas tienen características similares con las del Talud Caídos; también es importante considerar la inestabilidad que presenta por tener unidades deleznable y que se encuentran desprendidas del talud, además tiene un fracturamiento que se puede observar tanto en las unidades que lo conforman y en las avenidas aledañas (fotografía). Se seleccionaron 3 materiales diferentes los dos primeros a los que se les asignó la clave *Tesc 1D* y *Tesc 1A*, y corresponden a Tobas vitro-cristalina y a Toba cristalina lítica con matriz vítrea respectivamente; dichos materiales se encuentran presentes en otros taludes estudiados y el material *Tesc 1A* es característico por qué su contenido de líticos corresponde a andesitas a lo que se le asignó el nombre a esta unidad como arena muy gruesa de andesitas. Y en lo que respecta al tercer material este es un fragmento lítico con clave *Tesc 1-1* y se determinó que corresponde a una Andesita con un grado de alteración considerable. Todo lo anterior se sintetiza con la siguiente Tabla de fases minerales que se presenta a continuación:

MUESTRA	FASES MINERALES [%]												
	Cuarzo	Feldespato Alcalino	Plagioclasa	Vidrio	Biotita	Hornblenda	Augita	Clorita	Sericita	Minerales Opacos	Óxidos de Hierro	Arcilla	Fragmentos de roca
<b>Tesc 1D</b>	11.20	14.94	3.73	41.18	3.73	x	2.24	x	5.24	3.73	2.24	X	11.77
<b>Tesc 1A</b>	5	7	10	25	4	6	3	x	x	x	x	5	35
<b>Tesc 1-1</b>	6.25	18.75	50	x	12.5	x	x	x	6.25	x	6.25	X	x

En el siguiente dendrograma se determinó la clasificación de las muestras de acuerdo a la tabla de fases minerales utilizada anteriormente para el Talud Escuela:



*Figura 34.-Dendrograma de las muestras del Talud Escuela formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales.*

En la figura 34 se aprecia que las muestras analizadas del talud Escuela tienen dos clases bien definidas, una de ellas corresponde a tobas vitro-cristalinas y la otra clase esta dada por un fragmento lítico de composición andesítica.

## Talud Hípico

De las tres unidades que se describieron del talud Hípico, se seleccionó para laminar material de la unidad Hípico M1 que corresponde a un material granular clasificado como arena gruesa que está afectada por intemperismo biológico a la que se le asignó el nombre de *Talud Hípico M1-1* cuyos resultados arrojaron que se trata de un material tobáceo con predominantes fragmentos líticos y con la misma cantidad de vidrio que de cristales.

MUESTRA	FASES MINERALES [%]												
	Cuarzo	Feldespato Alcalino	Plagioclasa	Vidrio	Biotita	Hornblenda	Augita	Clorita	Sericita	Minerales Opacos	Óxidos de Hierro	Arcilla	Fragmentos de roca
Talud Hípico M1-1	10.35	3.47	5.94	26.67	1.48	x	x	x	x	0.99	0.49	3.95	46.66

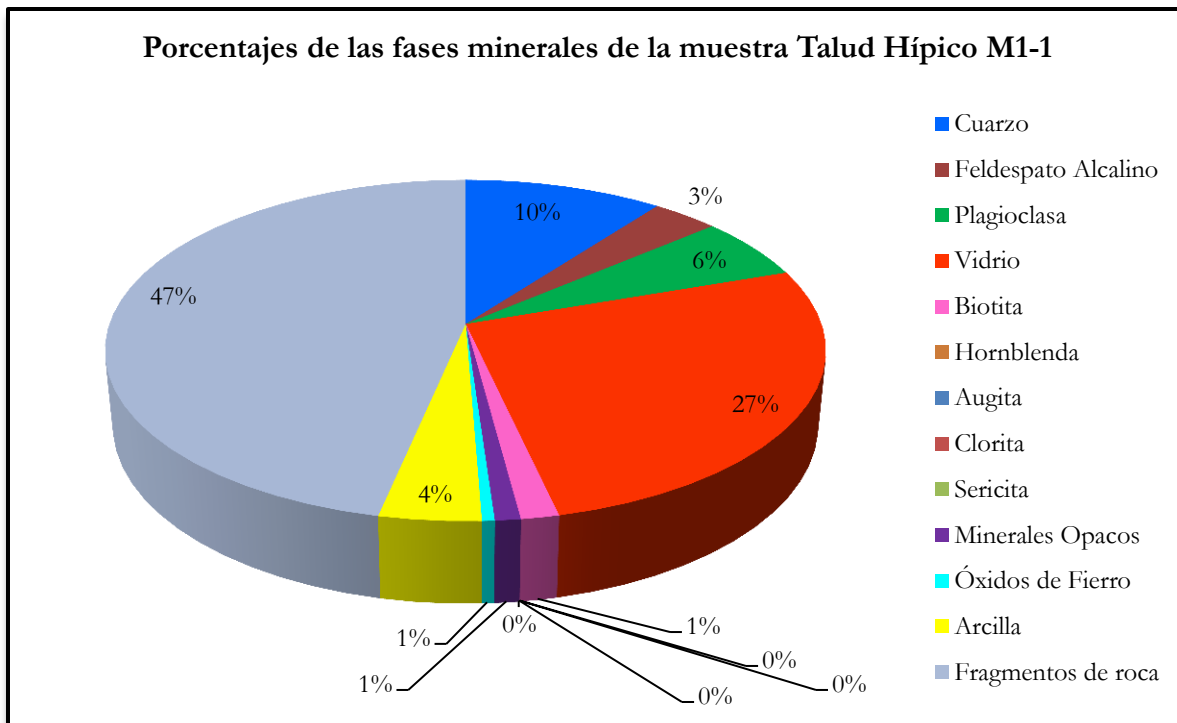


Figura 35.- Gráfico que muestra la composición minera de la muestra analizada para el talud Hípico, que corresponde a un material tobáceo con predominantes fragmentos líticos.

## Talud Prueba (TB)

De las seis muestras seleccionadas de las unidades del talud prueba, la muestra *TB1-1* corresponde a una toba vítrea cristalina con fragmentos líticos que tienen diversas composiciones como son: andesitas, tobas y rocas cuarzo feldespáticas. Las demás muestras a las que se les asignó la clave *TB2-1*, *TB2-2*, *TB3-1*, *TB3-2* y *TB3-3* corresponden principalmente a andesitas y andesitas de Hornblenda principalmente.

MUESTRA	FASES MINERALES [%]												
	Cuarzo	Feldespato Alcalino	Plagioclasa	Vidrio	Biotita	Hornblenda	Augita	Clorita	Sericita	Minerales Opacos	Óxidos de Hierro	Arcilla	Fragmentos de roca
<b>TB1-1</b>	4	7	9	50	3	2	1	2	x	3	x	7	12.5
<b>TB2-1</b>	5	16	48	5	12	x	7	x	x	5	2	x	x
<b>TB2-2</b>	8	20	40	x	5	x	8	x	x	4	15	x	x
<b>TB3-1</b>	3	10	55	3	8	10	5	x	2	4	x	x	x
<b>TB3-2</b>	5	15	55	x	4	x	3	x	8	8	2	x	x
<b>TB3-3</b>	3	18	55	3	4	x	2	x	5	8	2	x	x

En el siguiente dendrograma se determinó la clasificación de las muestras de acuerdo a la tabla de fases minerales utilizada anteriormente para el Talud Prueba:

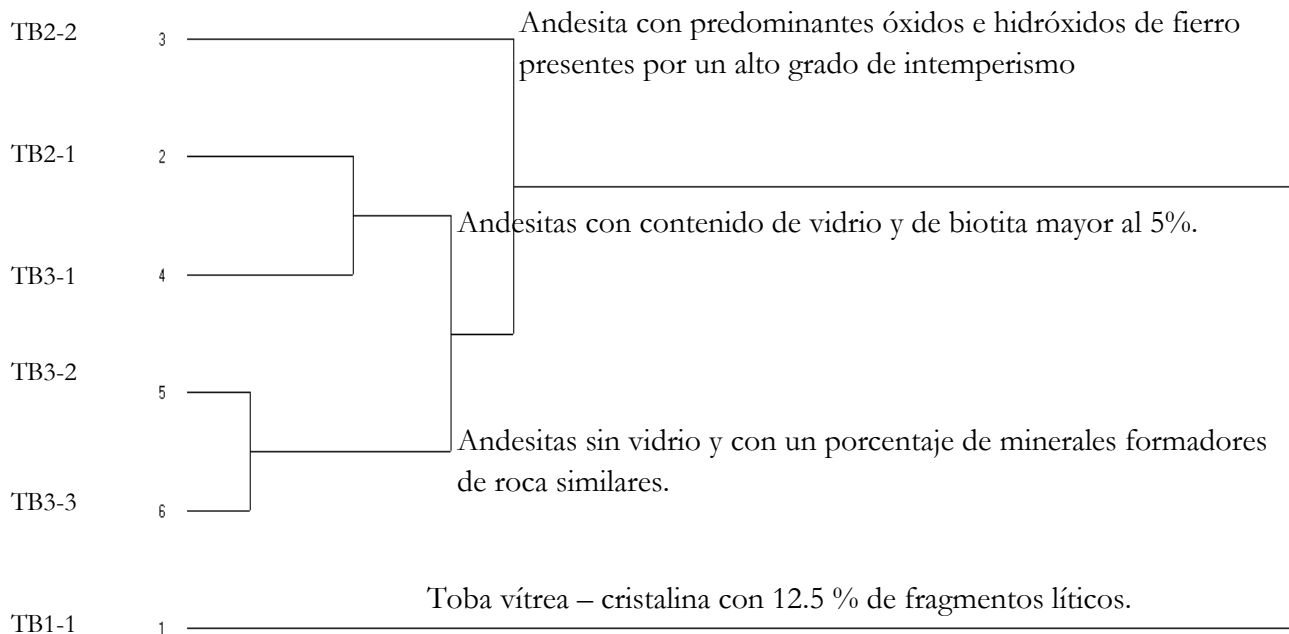


Figura 36.-Dendrograma de las muestras del Talud Prueba formado a partir de Cluster Analysis para determinar fases minerales.

### 6.2.3. Resultados

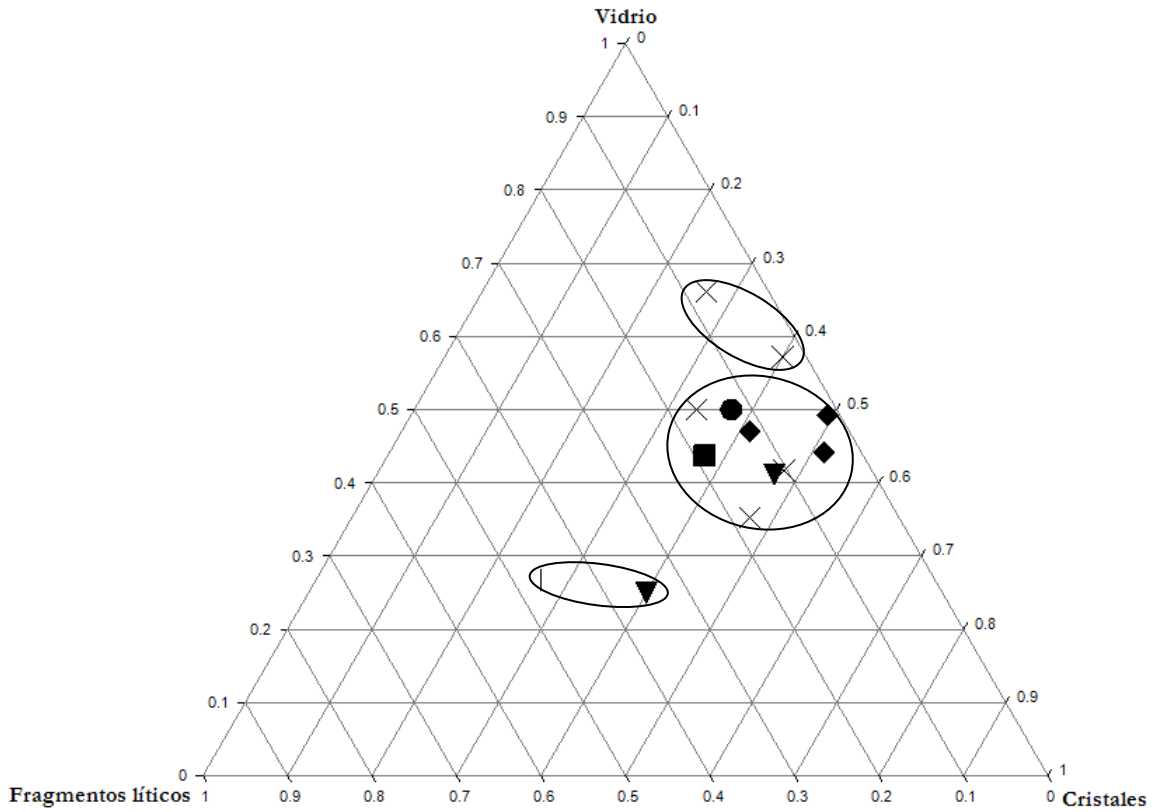
El análisis estadístico que se realizó mediante los dendrogramas permite visualizar de forma ordenada las clases de las muestras analizadas mediante similitudes en la composición de cada uno de los materiales de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

Se determinaron dos clases principales que corresponden a material tobáceo y a fragmentos líticos de diferentes composiciones que generaron a su vez subclases.

De este análisis se determinó un predominante aporte de material andesítico, aunque cabe mencionar que se tiene presencia de material ácido como: riolitas, dacitas y material granítico que nos hacen reconstruir el ambiente de formación del material de la Formación Tarango y por consiguiente de la cámara magmática que les dio origen llegando así a definir el tipo de erupciones asociadas al material encontrado.

Cabe mencionar que el material tobáceo que se analizó contiene un elevado porcentaje de vidrio y con la finalidad de sintetizar dicha información y de conocer cuántas clases o familias existen se muestra a continuación un diagrama ternario para los taludes analizados de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec que contienen dicho material y posteriormente un dendrograma:

### Tobas de la 3ra Sección del Bosque de Chapultepec



- ◆ Talud #1 o Alto
- × Talud Caídos
- Talud Drenes
- ▼ Talud Escuela
- | Talud Hípico
- Talud Prueba

Figura 37.-Diagrama Ternario de las tobas de los Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec creado mediante el programa Pro Sim Ternary diagram.

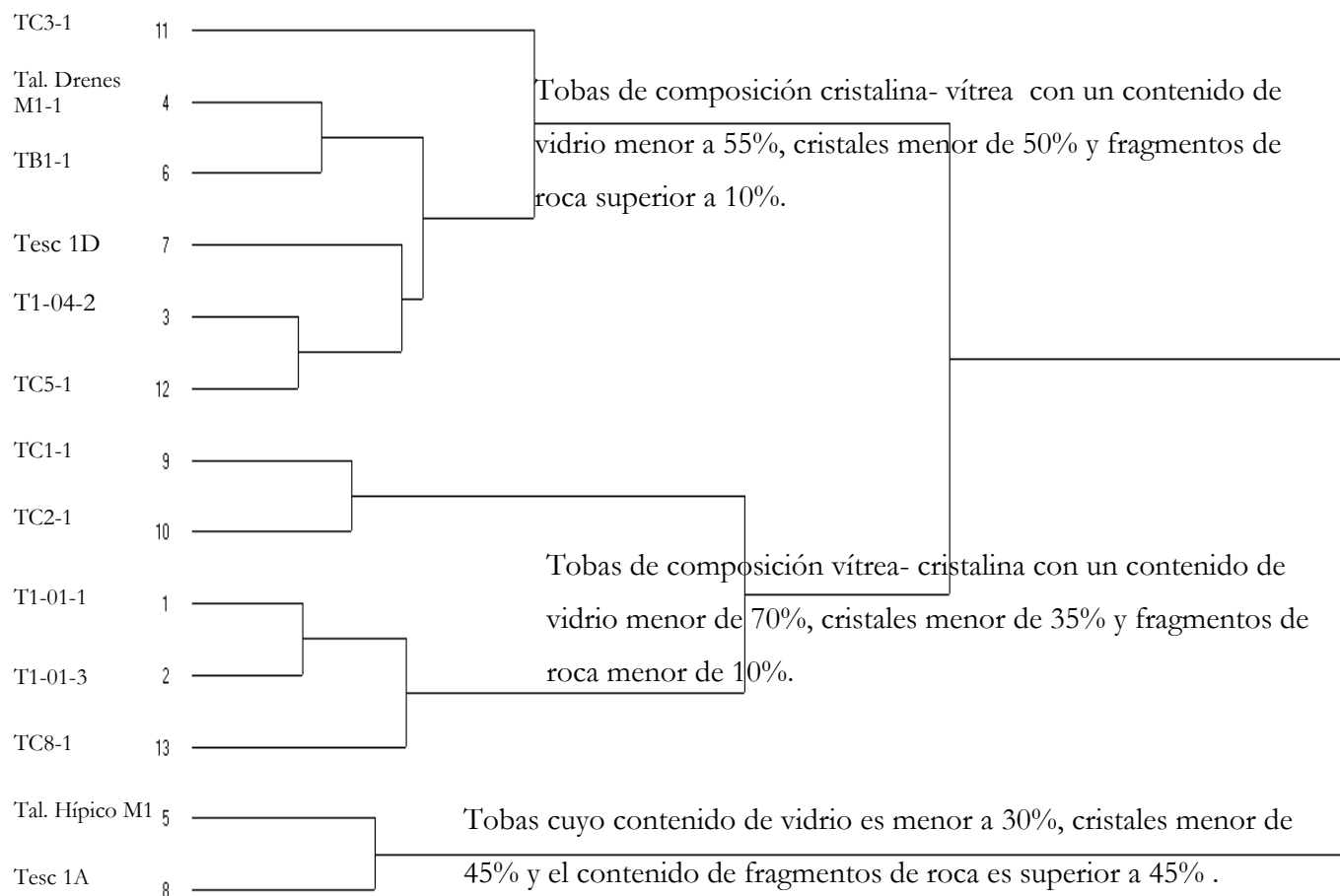


Figura 38.-Dendrograma de las tobas de los Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec formado a partir de Cluster Analysis en dónde los parámetros utilizados son el contenido de vidrio, cristales y fragmentos de roca.

De acuerdo a los esquemas presentados anteriormente es posible evidenciar las tres familias o clases de las tobas pertenecientes a los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

Describiendo en primera instancia al diagrama ternario, se aprecian encerrados de acuerdo al componente principal (vidrio, cristales o fragmentos de roca) de cada uno de los grupos. Se puede definir a la primer familia a las **Tobas vítreas- cristalinas** con escasos fragmentos líticos y están dadas por muestras del talud Caídos.

La segunda familia y más predominante en los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec corresponde a **Tobas cristalinas- vítreas** y cabe resaltar que contienen aproximadamente la misma cantidad de vidrio que de cristales y escasos fragmentos líticos y corresponden a muestras de los taludes: caídos, prueba, drenes, alto y escuela.

Finalmente la tercera familia corresponde a *Tobas líticas cristalinas con matriz vítrea* y en cuanto a abundancia son las más escasas de todos los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

Lo mencionado acerca de los grupos que se formaron de las Tobas de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, se puede ver de otra manera en la *figura 37* dando así forma de realizar un comparativo del alto contenido de vidrio que existe en los taludes que se han estado estudiando a lo largo de este trabajo y que es un factor determinante en cuanto a la estabilidad de los taludes ya que como se vio en el subtema 5.1., la alteración física y química determinará el comportamiento del material; y el vidrio representa un material muy fácil de alterarse generando esferulitas y arcillas principalmente que representan un material difícil de tratar. La alteración de este material se describe en el Anexo I y se puede verificar cada una de las muestras analizadas y en algunas fotos se aprecian los minerales de mayor susceptibilidad de alteración, como lo son: feldespatos, anfíboles, piroxenos, vidrio y micas principalmente.

En cuanto a los fragmentos líticos seleccionados de algunas unidades de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec para su estudio en láminas delgadas, se obtuvieron distintos familias o clases de acuerdo a su composición química, determinados mediante el siguiente dendrograma:

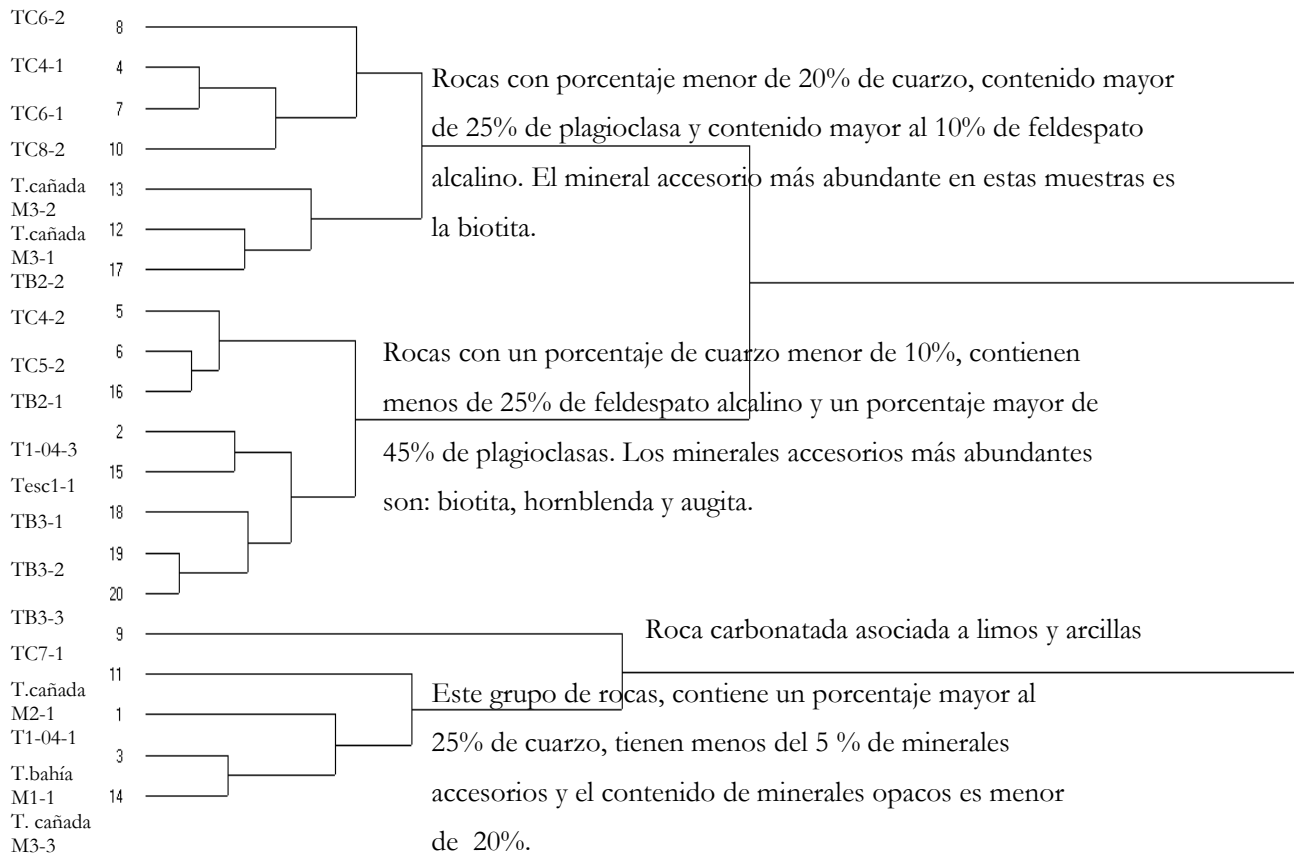


Figura 39.- Dendrograma de los fragmentos líticos seleccionados de las unidades de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec formado a partir de Cluster Analysis en donde los parámetros utilizados son el contenido de cuarzo, feldespatos alcalinos, plagioclasas y minerales accesorios.



De la figura 39 se pueden determinar diferentes grupos de roca de acuerdo al contenido de minerales primarios como son el cuarzo, los feldespatos alcalinos y las plagioclasas, pero sin dejar de lado los minerales accesorios presentes como son la biotita (mayor contenido), hornblenda y augita principalmente. Aunque es de resaltar el gran contenido de subclases o subgrupos que existen debido a alguna variación en la composición de los fragmentos analizados y se concreta que los fragmentos líticos predominantes son de composición andesítica, asignándoles el nombre de andesita de biotita y andesita de hornblenda e incluso andesitas basálticas de acuerdo al porcentaje de minerales esenciales presentes en cada muestra según sea el caso. Cabe destacar que no sólo se hallaron fragmentos de roca cuyas composiciones son intermedia-básica, también se encontraron fragmentos de ambientes de formación ácidos como lo son riolitas, dacitas y rocas graníticas.

Todos los fragmentos descritos presentan además en diferente grado alteración y ello lo demuestra la gran cantidad de minerales secundarios como los óxidos e hidróxidos de fierro, las arcillas, cloritas y sericita.

Por toda esta diversidad de características presentes en los fragmentos líticos analizados, se puede determinar que coinciden con las emanaciones de los volcanes andesíticos de la Sierra de las Cruces y de sus productos debidos a las violentas erupciones que les dieron lugar. Es importante mencionar que los fragmentos de composición ácida se debieron posiblemente a una diferenciación magmática ya sea por contaminación cortical, cristalización fraccionada o mezcla de magmas generando productos distintos al magma original (andesítico) y al llevarse a cabo las violentas erupciones que dieron lugar a la topografía de la zona poniente, específicamente en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec se incorporaron al material expulsado.

## 7. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN GENERAL.

En el presente trabajo se ha enfatizado la utilización de la técnica de Petrografía como determinativa en el estudio de las unidades de los taludes de la Tercera Sección de Chapultepec; es importante mencionar y se ha contemplado que dicha técnica presenta ciertas limitantes si no se cuenta con un microscopio que tenga contador de partículas lo que lleva a utilizar estimaciones visuales al criterio del petrógrafo, en este caso fue bajo estas condiciones cómo se llevó a cabo el estudio. Dando prioridad a la caracterización mineral en campo y con muestras recolectadas en los diferentes taludes se caracterizaron megascópicamente. Dichas muestras ya se definieron en el subtema 6.1.2 y se relacionaron con la microscopía para poder determinar las unidades principales de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec; hay que señalar que los taludes tipo o que presentan mayor información en cuanto a unidades litoestratigráficas se refiere son los taludes Caídos y Escuela (figura 42).

En el entendimiento, se realizaron gráficas para analizar y comprender la relación y correlación entre las diferentes unidades líticas y materiales recolectados, con lo cual considero se hace más sencillo el llegar a las conclusiones propuestas y respecto del contenido de unidades se debe revisar en el Anexo II el esquema correspondiente a las “*Columnas litoestratigráficas de los Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec*” realizadas con el software *Stratigrapher* de *Geostri*. En dicho esquema se aprecia la medida en metros de cada talud representada con una escala ubicada de lado izquierdo, además se aprecia la litología y el color que presentan las unidades en campo y finalmente del lado derecho el nombre que se le asignó de acuerdo a los análisis granulométricos, la información recolectada en campo y los estudios petrográficos llevados a cabo que se pueden consultar en el Anexo I, en el cual se puede ver detalladamente la composición mineralógica de los diversos fragmentos líticos seleccionados procedentes de las distintas unidades, así como unidades tobáceas y arcillosas características de la zona. Del análisis de esta información se determinaron las siguientes unidades:

- 1.- arena gruesa de pómez.
- 2.- arena gruesa con fragmentos líticos de diversas composiciones.
- 3.- arena muy gruesa con fragmentos andesíticos.
- 4.- grava fina con fragmentos líticos de diversas composiciones.
- 5.- material tobáceo (vitro-cristalino con pocos fragmentos líticos).
- 6.- grava fina de pómez.
- 7.- arena gruesa rosácea con fragmentos líticos de diversas composiciones.
- 8.- arena pumicítica con matriz arcillosa.
- 9.- material arcilloso con fragmentos líticos de diversas composiciones.

- 10.- arena fina de pómez.
- 11.- arena fina de pómez con horizontes arcillosos.
- 12.- material arcilloso saturado de agua.
- 13.- material tobáceo (lítico-cristalino con matriz vítrea).
- 14.- arena media de pómez con una alta cantidad de raíces de plantas.
- 15.- grava con fragmentos líticos de diversas composiciones.
- 16.- roca carbonatada asociada a limos y arcillas.

De las unidades mencionadas anteriormente, es importante señalar la presencia de vidrio en todos los taludes independientemente de la granulometría poseen cantidades en menor o mayor medida de este material. Se pudo determinar que existen distintas familias o clases de material tobáceo según la figura 37 que corresponde a un diagrama ternario en el que se le colocaron en sus vértices el contenido de vidrio, cristales y fragmentos de roca y permitió determinar que existen tres clases o familias de material tobáceo en los taludes de la Tercera Sección de Chapultepec, que corresponden a:

- 1.- la primera clase se definió como **Tobas vítreas- cristalinas** con escasos fragmentos líticos y están dadas por muestras del talud Caídos.
- 2.- la segunda clase y más predominante en los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec corresponde a **Tobas cristalinas- vítreas** y cabe resaltar que contienen aproximadamente la misma cantidad de vidrio que de cristales y escasos fragmentos líticos y corresponden a muestras de los taludes: caídos, prueba, drenes, alto y escuela.
- 3.- la tercera familia corresponde a **Tobas líticas cristalinas con matriz vítrea** y en cuanto a abundancia son las más escasas de todos los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

Se menciona lo anterior, porque debido a sus propiedades físicas y químicas el vidrio es un material propenso a la alterabilidad ya sea por su carácter amorfo (por su carencia de estructura cristalina) y por la facilidad que tiene de alterarse a elevadas o bajas temperaturas lo que da lugar a nuevos materiales con un arreglo diferente al del vidrio como lo son los argilominerales lo que representa un factor en la inestabilidad de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec tal y como se ha tratado en el tema 5 del presente trabajo.

Posteriormente se realizó con la finalidad de corroborar los resultados obtenidos en el diagrama ternario de la figura 37 un dendrograma (figura 38) que permitiera comparar el porcentaje obtenido para cada muestra analizada. Para este apartado se realizó un gráfico que permita comparar el contenido de vidrio, cristales y fragmentos de roca y determinar así la abundancia de cada mineral, se muestra a continuación:

## COMPARACIÓN PORCENTUAL DE LAS TOBAS DE LOS TALUDES DE LA TERCERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC

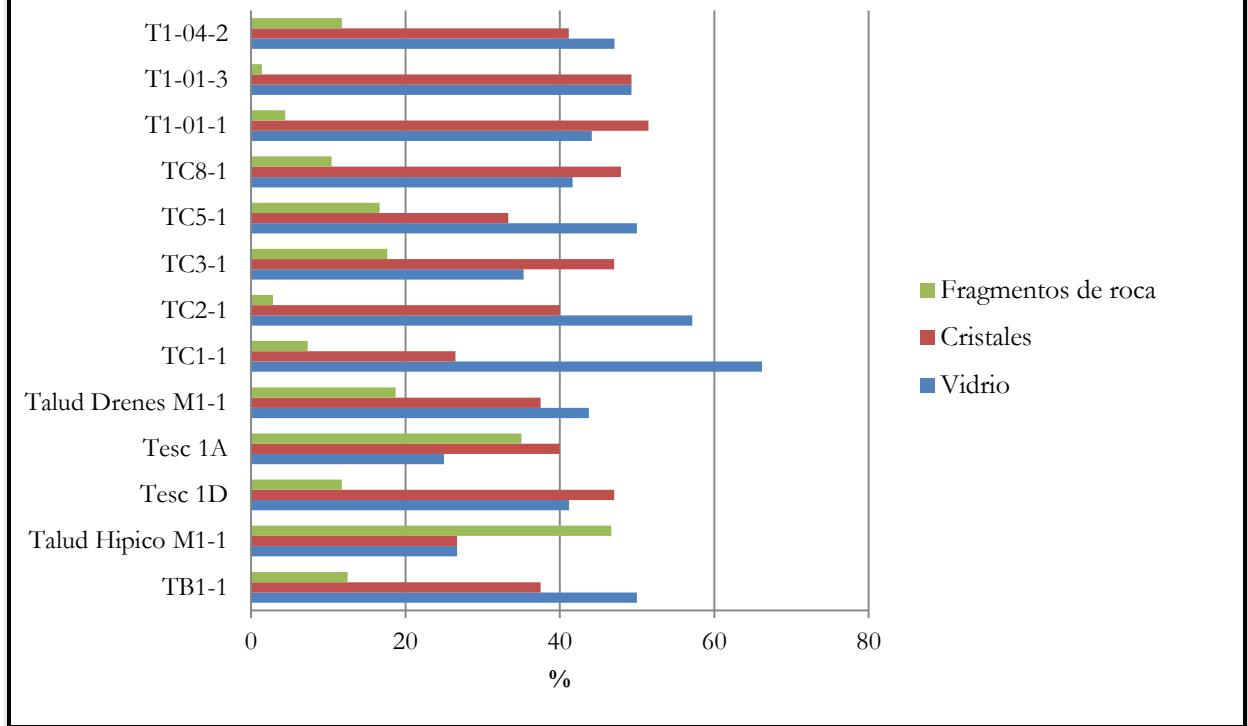


Figura 40.- Comparación porcentual del contenido de vidrio de las tobas de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.

Para poder apreciar las texturas típicas de alteración y desvitrificación de las rocas ácidas con alto contenido de vidrio se recomienda revisar el Anexo I.

En lo que respecta a unidades que contienen arcilla y como se mencionó anteriormente son materiales procedentes de la alteración del vidrio o de Feldespatos; esto se puede referir a una relación directamente proporcional entre la alteración y la porosidad de una roca ya que al haber un mayor contenido de “poros” o espacios libres se toma inmediatamente en cuenta a la relación entre la alteración y el peso de agua absorbida por el material. Esto se observó en algunas unidades de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec que presentan humedad y es relevante porque el contenido de agua es un factor muy importante en la estabilidad de taludes por el comportamiento que tiene el material según sea la cantidad de agua existente, únicamente se menciona lo que se describió físicamente, puesto que el área de geotecnia del proyecto ha contemplado de manera óptima las condiciones presentes en estas unidades.

Es de mencionar que para tener una mejor descripción y para ser precisos en la composición mineralógica del material existente en los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec y de cualquier material que contenga arcilla es importante utilizar ciertos métodos

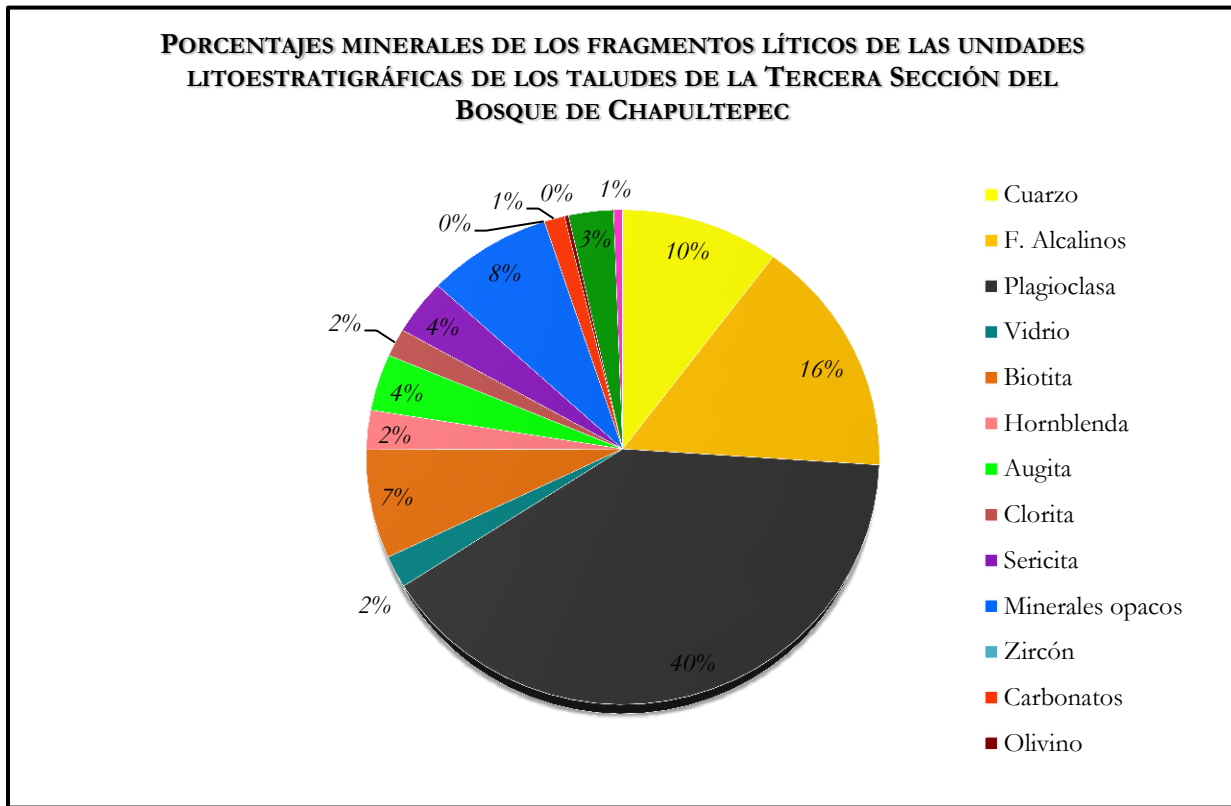
que complementen los estudios que se lleven a cabo. Se comenta lo anterior por que hubiera sido factible realizar estudios de Difracción de rayos X a algunas muestras que presentan arcillas ya que aun utilizando el máximo aumento al que llega el microscopio petrográfico (500x) no es posible determinar con precisión su composición, se puede intuir de qué tipo de arcilla se trata de acuerdo al origen de la zona de estudio pero no es determinativo ni se tiene la certeza que así sea siempre; como es el caso específico de la muestra **TC7** que es una muestra contrastante con todas las unidades descritas, ya que hay presencia de carbonatos asociados a limos y arcillas además de la existencia de diatomeas que son un indicio de cambios en el hábitat de la zona es decir se habla de presencia de cuerpos de agua. Sin embargo, de acuerdo a la composición química de la zona y del alto contenido de sílice presente en la misma, pudo haber sido factor para la aparición y subsistencia de dichos micro organismos porque como es bien sabido las diatomeas presentan su pared celular o frústula compuesta de (SiO<sub>2</sub>) así como su testa, esto lo hacen para sobrevivir a ataques de otros microorganismos. La relevancia de conocer estos aspectos es para poder utilizar la historia geológica de un lugar con la finalidad de solucionar situaciones actuales que pudiesen haber existido en el pasado y que pudieran llegar a repetirse y causar problemas a la vida moderna.

De acuerdo a la figura 42 que se muestra más adelante, los taludes Caídos y Escuela corresponden a los de mayor contenido de unidades litoestratigráficas y que pueden servir como taludes tipo de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec. Dichas unidades corresponden a eventos de diferente magnitud ya sea por el tiempo y la frecuencia en que se realizaba la emanación de material (*muestra Tesc 1D*), así como la transportación de los mismos (*muestra TC1*) y el origen del material (*muestra Tesc 1A*) esto por mencionar algunos ejemplos; principalmente se puede determinar en base a estas características texturales y de fábrica que las unidades pueden ser comparadas ya sea con la columna tipo de la Formación Tarango (*figura 21*) y darse cuenta que la zona de estudio corresponde a la Formación Tarango Inferior, por lo que se puede considerar que las diferencias que hay se deben a varios factores como la exposición de cada una de ellas al intemperismo principalmente de tipo biológico debido a la presencia de raíces de plantas y de árboles que además de alterar el material, y que representan uno de los principales motivos de la inestabilidad de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec. Debido a esta situación de la vegetación perjudicial se plantea la opción de utilizar otro tipo de vegetación para tratar la inestabilidad de taludes como se ha hecho en algunos otros casos dando como resultados: una erosión mínima del suelo, un alto porcentaje del agua filtrado en el suelo, la humedad de las laderas se mantiene equilibrada, principalmente.

En cuanto a los fragmentos líticos que se han mencionado ampliamente a lo largo del presente trabajo, se recomienda consultar la figura 39 así como el Anexo I correspondiente a cada talud. Allí se podrá observar que hay una abundancia de fragmentos andesíticos que son típicos del vulcanismo que dio origen a la zona poniente de la Cuenca de México ya sea con un porcentaje mayor de biotita o de hornblenda, aunque es destacable que existen fragmentos con alto contenido de cuarzo principalmente riolitas, dacitas y algunas rocas graníticas; además de

fragmentos básicos como basaltos y andesitas basálticas que llegan a contrastar con lo típico de la zona y es importante mencionar que dichos fragmentos deben su origen a una diferenciación magmática ya sea por contaminación cortical, cristalización fraccionada o mezcla de magmas generando productos distintos al magma original (andesítico) y al llevarse a cabo las violentas erupciones que dieron lugar a la topografía de la zona poniente, específicamente en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec se incorporaron al material expulsado.

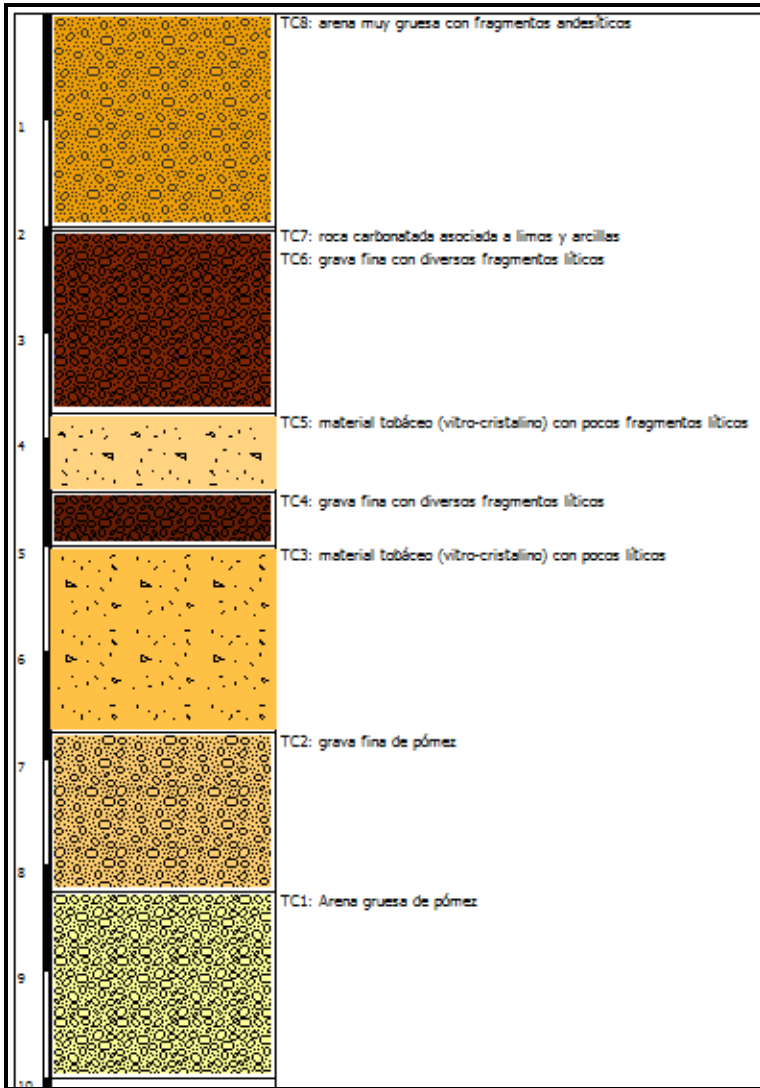
Simultáneamente se ha realizado el siguiente gráfico que muestra el porcentaje de los minerales que componen a los diversos fragmentos líticos:



*Figura 41.- Porcentajes de los minerales que componen los diversos fragmentos líticos presentes en las unidades litoestratigráficas de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec.*

Es clara la abundancia de plagioclasas en los fragmentos líticos y en general de todas las muestras colectadas de acuerdo al método del ángulo de extinción de las plagioclasas se determinó que las plagioclasas presentes son: Andesita principalmente, Oligoclasa y Labradorita, ésta última es la de menor abundancia, tal como se ha identificado en los estudios petrográficos y que se ha sintetizado en la figura 39, dicha figura muestra las clases que se determinaron mediante el contenido de cuarzo, feldespatos, plagioclasas y minerales accesorios aunque se puede observar de forma consistente cuál es el mineral predominante en el gráfico anterior. Se recomienda revisar el Anexo I para cualquier detalle acerca de las propiedades ópticas de los minerales presentes.

## Talud Caídos



## Talud Escuela

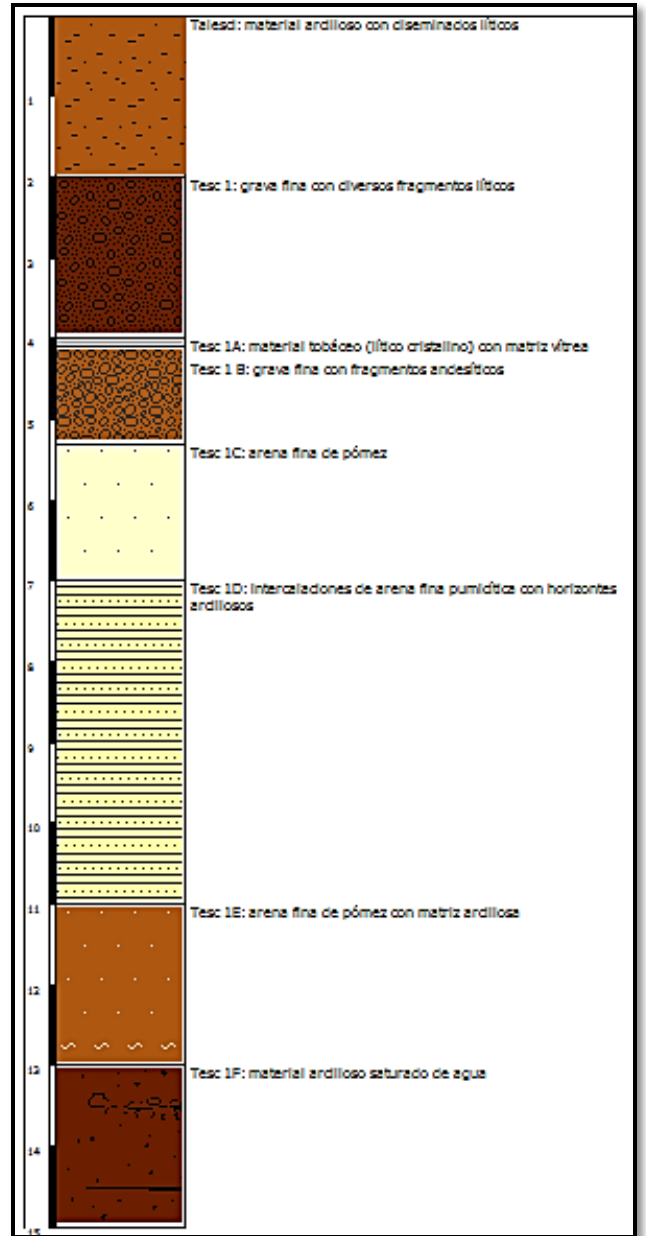


Figura 42.- Columnas litoestratigráficas de los taludes Caídos y Escuela respectivamente generadas a través del programa Stratigrapher de Geostru.

Finalmente queda abierta la posibilidad de realizar otros estudios como ya se mencionó, para poder tener certeza de la evolución y de la tasa a la cual se alteraran los materiales presentes en los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, desafortunadamente por cuestiones de tiempo y presupuesto no se pudieron realizar en el presente trabajo, no obstante y pese a las limitaciones se ha logrado la caracterización mineralógica a nivel microscópico y megascópico de las unidades pertenecientes a la Formación Tarango Inferior que generan inestabilidad a los taludes ya mencionados para su posterior uso por expertos de otras ramas que participan en este proyecto de estabilidad de taludes.

Se destaca el uso que se ha hecho de Software de índole geológica para simplificar la obtención de resultados y mostrar de una manera gráfica y precisa puntos importantes como lo son el contenido de vidrio en el material tobáceo con los diagramas ternarios generados con *ProSim Ternary diagram*, la determinación de dendrogramas con *SPSS IBM Cluster Analysis* o Análisis de conglomerados con la finalidad de jerarquizar ya sea por el porcentaje de minerales primarios y así generar familias o clases y poderlos ubicar de una manera simplificada. A su vez se utilizó el programa libre *QAPF 1.2* de la Universidad Complutense de Madrid de la Facultad de Ciencias Geológicas, que realiza el cálculo de porcentajes basándose en el diagrama de Streckeisen (1973) y así determinar el tipo de roca al que pertenece. Finalmente se utilizó el programa *Stratigrapher* de GeoStru para poder generar columnas litoestratigráficas y tener una mejor visualización de las unidades descritas en campo. Dejando así la propuesta de utilizar las herramientas que existen actualmente para corroborar y actualizar la geología de la Cuenca de México ya que son muy pocos estudios a detalle los que se han realizado para una ciudad tan importante y compleja como lo es la Ciudad de México y la problemática que presenta al estar construida en material tan inestable como lo es el de la zona de taludes de la Tercera Sección de Chapultepec.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ✓ **Aguayo Camargo J.E.**, Marín Córdova S., Sánchez Díaz F. (1989)  
*Evolución Geológica de la Cuenca de México. “Simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del valle de México”.*  
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.
  
- ✓ **CENAPRED** (2001)  
*“Cartilla de diagnóstico preliminar de inestabilidad de laderas.”*  
1era edición,  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Noviembre 2001
  
- ✓ **Comisión de Vialidad y Transporte Urbano** (1986)  
*“Características Geológicas y Geotécnicas del Valle de México”*  
Secretaría General de Obras
  
- ✓ **De la Fuente León José Carlos** (2011)  
*“Barro Local, Barro Foráneo. El movimiento de cerámica a través del corredor Teotihuacano hacia la costa del Golfo durante el Período Clásico.”*  
Tesis de Licenciatura  
Secretaría de Educación Pública, Escuela Nacional de Antropología e Historia.
  
- ✓ **Enríquez Santillán Carlos Adrián** (2012)  
*“El Bosque de Chapultepec y la transformación de su entorno.”*  
Tesis de Licenciatura  
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
  
- ✓ **Fuentes Menes Adrián Octavio** (2011)  
*“Elaboración de un Sistema de Información Geográfica para definir el peligro en las zonas minadas en la Delegación Álvaro Obregón, México D.F.”*  
Tesis de Licenciatura  
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
  
- ✓ **García Palomo Armando** (2008)  
*“El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central.”*  
Revista Mexicana de las ciencias geológicas v.25 no. 1, 2008  
Páginas: 158-178

- ✓ **Gómez-Tuena Arturo** (2005)  
*“Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana”*  
 Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana  
 Volumen Conmemorativo del Centenario  
 Temas Selectos de la Geología Mexicana  
 Tomo LVII, núm. 3, 2005, p. 227-283
  
- ✓ **Gutiérrez de Mac Gregor, González Sánchez Jorge, Zamorano Orozco José Juan** (2005)  
*“La cuenca de México y sus Cambios demográfico-espaciales “*  
 Temas Selectos de Geografía de México  
 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
  
- ✓ **Harker Alfred** (2006)  
*“Petrology for Students”*  
 Elibron Classics  
 Cambridge.
  
- ✓ **Heinrich, W.M.** (1972)  
*“Petrografía Microscópica.”*  
 2a. Edición  
 Barcelona  
 Omega, 1972
  
- ✓ **Kerr Paul F.** (1965)  
*“Mineralogía Óptica”*  
 Mc. Graw Hill Book Company, INC.  
 Ediciones Castillo, Madrid.
  
- ✓ **Lugo-Hubp José, Cordero Estrada Maricarmen, Zamorano Orozco José Juan** (1995)  
*“Relieve, litología y Riesgos en la Zona Urbana de la delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, México.”*  
 Revista Mexicana de las Ciencias Geológicas volumen 12, no. 1  
 Páginas: 52-67  
 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología  
 México, Distrito Federal.
  
- ✓ **Mac Kenzie, W.S., C.H. Donaldson y G.Guilford** (1996)  
*“Atlas de rocas ígneas y sus texturas.”*  
 Barcelona  
 Masson, 1996.

- ✓ **Mac Kenzie, W.S.,** C.H. Donaldson y G.Guilford (1996)  
*“Minerales formadores de rocas en lámina delgada.”*  
 Barcelona  
 Masson, S.A., 1996.
  
- ✓ **Marsal Raúl J.,** Mazari Marcos (1969)  
*“El subsuelo de la Ciudad de México”*  
 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería
  
- ✓ **Melgarejo, J .C.,** (1997)  
*“Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada.”*  
 Barcelona  
 Edicions de la Universitat de Barcelona, 1997.
  
- ✓ **Mooser, Federico y colaboradores (1986)**  
*“Características geológicas y geotécnicas del valle de México”*  
 México: Covitur: Secretaría General de Obras.
  
- ✓ **Nicholson D.T., Hencher S. (1997)**  
*“Assesing potential for deterioration of engineered rock slopes”.*  
 The Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment.  
 Athens.
  
- ✓ **Ragan D.M.,** Sheridan M.F. (1972)  
*“Compaction of Bishop Tuff.”*  
 Geological Society of America, Special Bulletin.
  
- ✓ **Reyes Pimentel T. (2008)**  
*“Sismicidad en el poniente de la Ciudad de México resultados en la parte norte de la delegación Álvaro Obregón”*  
 Tesis de licenciatura.  
 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
  
- ✓ **Romero Terán Esther (2001)**  
*“Geología del Complejo Volcánico San Miguel, al Sur-Poniente de la Cuenca de México.”*  
 Tesis de Maestría, Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra  
 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica

- ✓ **Ruíz González Gabriel** (1998)  
*“Análisis Geotécnico para la excavación del Proyecto corporativo opción Montes Urales III, en Lomas de Chapultepec, D.F.”*  
 Tesis de Licenciatura  
 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Acatlán.
  
- ✓ **Santoyo Villa Enrique** (2005)  
*“Síntesis Geotécnica del Valle de México”*  
 TGC  
 México, 2005.
  
- ✓ **Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda** (2010)  
*“Programa Parcial de Desarrollo Urbano Polanco en la Delegación Miguel Hidalgo”*  
 1 julio 2010
  
- ✓ **Silva Romo Gilberto**, Mendoza Rosales Claudia (2010)  
*“Manual para el Trabajo Geológico de Campo.”*  
 DGAPA, UNAM  
 Proyecto PAPIME PE-101909  
 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
  
- ✓ **Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.**, (1992)  
*“Experiencias Geotécnicas en la zona poniente del Valle de México”*  
 México D.F.  
 19 de junio de 1992.
  
- ✓ **Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.** (1989)  
*“Simposio sobre tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México”*  
 México, 1989.
  
- ✓ **Streckeisen, A.L.** (1979)  
*“Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melitic rocks: recommendations and suggestions of the IUGS Subcomision on the Systematics of Igneus Rocks.”*
  
- ✓ **Varnes D.J. (1958).**  
*“Landslides types and processes”.*  
 Special report 29: Landslides and engineering practice (E.B. Eckel, ed.) HRB, National Research Council, Washington, D.C.

- ✓ **Varnes D.J. (1978).**  
*"Slope movement types and processes"*.  
Special report 176: Landslides: Analysis and control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB,  
National Research Council, Washington, D.C.
- ✓ **Vázquez-Sánchez E.,** Jaimes Palomera L.R. (1989).  
*Geología de la cuenca de México. "Simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del valle de México"*.  
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.
- ✓ **Zúñiga Arista Ángel,** (2006)  
*"La capa dura y su extensión a las lomas en el marco geológico del SW de la cuenca de México"*.  
Tesis de licenciatura.  
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

# ANEXO I

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Talud Bahía<sub>M1-1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 476944 ; Y: 2145685 ; Z: 2358 [m]



**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:** Es una muestra de forma angulosa, compacta, que presenta un avanzado grado de alteración principalmente en los feldespatos. La mineralogía presente corresponde a plagioclasa, arcillas y minerales opacos.

*Color:* gris oscuro con incrustaciones color beige al fresco; y gris claro de color de intemperismo.

*Índice de color:* Máfico

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

*Textura:* granular subedral.

*Matriz:* arcillosa y plagioclasas alteradas.

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Cuarzo primario	20	Óxidos de Hierro	20	Minerales Opacos	15
Cuarzo secundario	10				
Plagioclasa	20				
Feldespato	10				

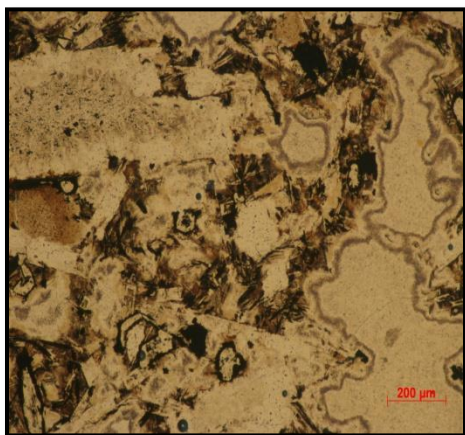
Vidrio: 5%

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

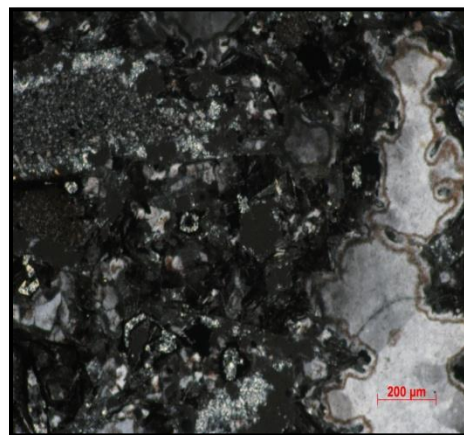
- ✚ **Cuarzo:** se aprecia policristalino en forma de vetillas (*cuarzo secundario*); también como cristales subedrales, subredondeados con sus bordes engolfados (*cuarzo primario*) en este tipo de cuarzo los cristales presentan halos de disolución.
- ✚ **Plagioclasas:** se observan como cristales alargados y subedrales; se encuentran muy alterados producto de la disolución y el reemplazamiento.
- ✚ **Feldespato:** cristales tabulares, de grano fino, los que están visibles presentan bajo grado de alteración.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran en venas y reemplazando máficos. Se observan tonalidades rojizas que varían desde rojo intenso (hematita), a castaños dando lugar a limonita.
- ✚ **Arcilla:** se encuentra principalmente en la matriz y por el producto de la alteración de los feldespatos.
- ✚ **Vidrio:** se aprecia en forma radial.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

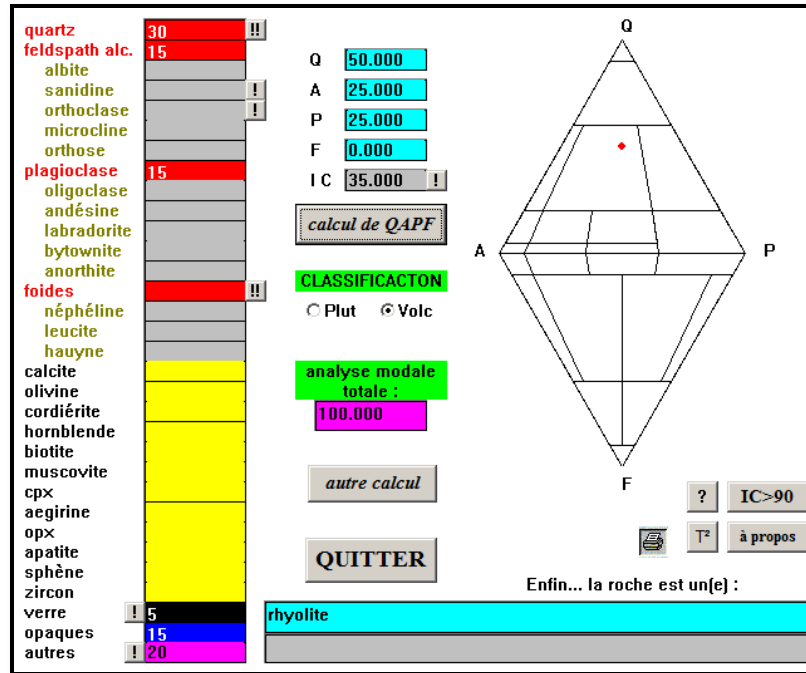
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



## DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida.

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Riolita

OBSERVACIONES: Se observa que la muestra ha sido sometida a un proceso de silicificación, lo que puede dar indicios de que estuvo en un ambiente de mayor acidez al que le dio origen, esto mismo se aprecia en la incorporación de cristales de cuarzo policristalinos llamados así en los porcentajes de minerales como *cuarzo secundario* a diferencia de los cuarzoes que presentan halos de disolución denominados *cuarzo primario*.

Se aprecian pseudomorfos, así como minerales ferromagnesianos que han sido reemplazados por óxidos e hidróxidos de hierro. Los cristales de plagioclasa y feldespatos fueron reemplazados por sílice.

Posiblemente la roca presentó porosidad lo que fue ocupado por tridimita o cristobalita.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Talud M<sub>2,1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477183; Y: 2145901; Z: 2339 [m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: Es una muestra que tiene una forma subangulosa, es compacta pero se encuentra fracturada y en algunas de dichas fracturas se aprecia cuarzo secundario. Presenta una oxidación general, la mineralogía visible corresponde a cuarzo y plagioclasas.

*Color:* castaño rojizo al fresco; y pardo claro con marcas negras de color de intemperismo.

*Índice de color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* granular anedral

*Matriz:* criptocristalina muy alterada y oxidada.

Mineralogía:

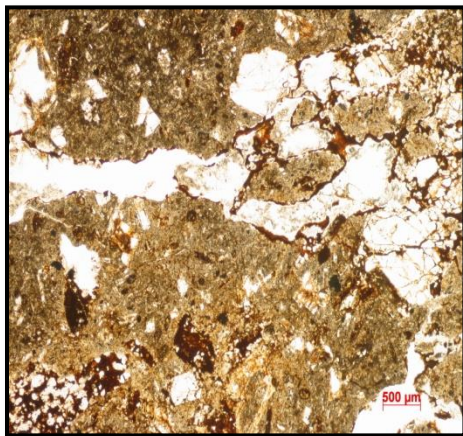
Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Cuarzo	15	Óxidos de Hierro (Hematita)	35	Biotita	3
Plagioclasa	25	Sericita	10	Minerales Opacos	2
Feldespato	5	Arcilla	5		

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

- ✚ **Cuarzo:** está en forma de cristales anedrales y engolfados y en vetillas que presentan formas policristalinas.
- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** se aprecian en forma de fenocristales subedrales, alterados en los bordes.
- ✚ **Feldespato:** la mayoría se encuentran alterados y corroídos.
- ✚ **Óxidos de Hierro (Hematita):** se encuentran presentes en la matriz, en forma de masas y rellenando intersticios entre el cuarzo principalmente.
- ✚ **Sericita:** se encuentra rellenando intersticios.
- ✚ **Arcilla:** está presente como alteración de los feldespatos y la plagioclasa.
- ✚ **Biotita:** se aprecia muy poco sus propiedades ópticas puesto que se encuentran muy alterados los cristales de este mineral y presentan una gran oxidación.
- ✚ **Minerales opacos:** son cristales de forma subedral a eudral; posiblemente se trate de magnetita.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

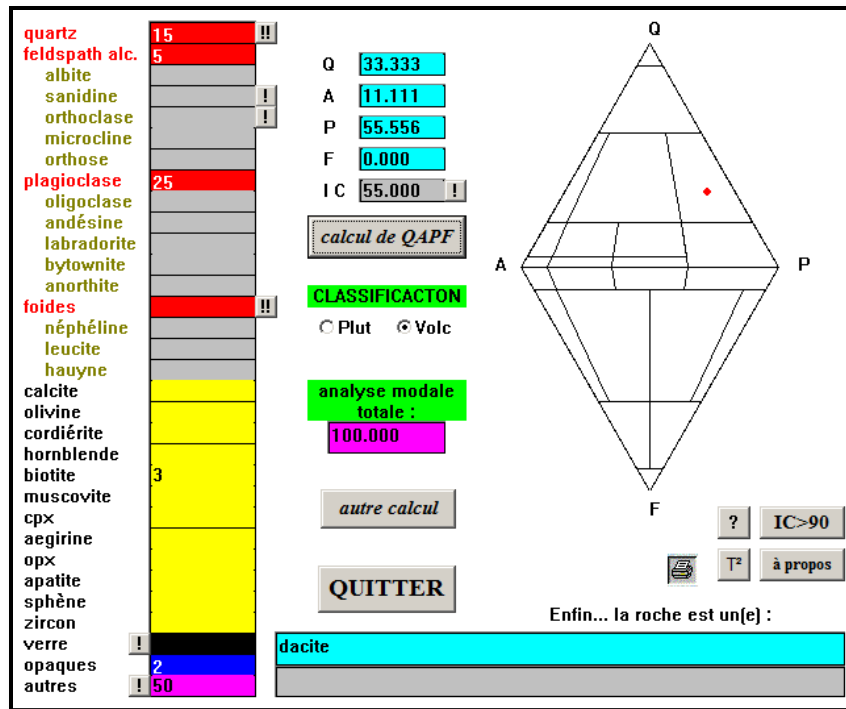
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Dacita

OBSERVACIONES: Se tiene reemplazamiento de minerales ferromagnesianos por óxidos de fierro, razón por la cual es difícil determinar sus propiedades ópticas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Talud Cañada M<sub>3,1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477084 ; Y: 2145809 ; Z: 2343[m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La muestra tiene forma subangulosa, es densa, tiene poco grado de alteración. Entre la mineralogía que se puede observar son fenocristales de plagioclasa, ferromagnesianos y óxidos de hierro principalmente.

*Color:* gris claro al fresco; y gris oscuro de color de intemperismo.

*Índice de color:* Máfico.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* Glomeroporfídica.

*Matriz:* microlítica cuya composición corresponde a andesina y vidrio.

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Plagioclasa	45	Óxidos de Hierro	8	Minerales Opacos	8
Cuarzo	5	Olivinos fantasma	5	Augita	8
Feldespatos	10	Clorita	3	Hornblenda	5

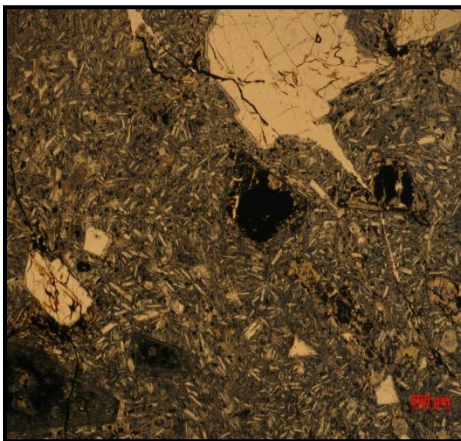
Vidrio: 3 %

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

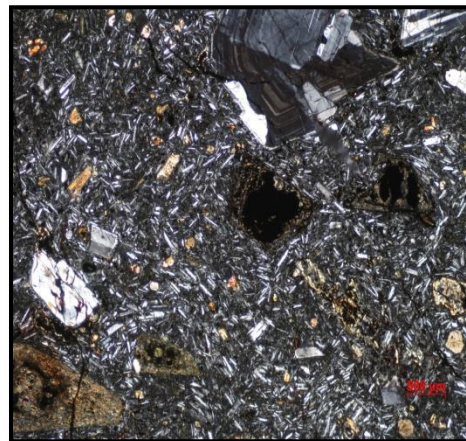
- ✚ **Plagioclasa (Labradorita):** Se encuentra en forma de microlitos distribuidos en la matriz; también en fenocristales agrupados en determinadas partes de la roca, presentan corrosión al interior y disolución en los bordes.
- ✚ **Cuarzo:** se encuentran escasamente y tienen forma de cristales anedrales y engolfados.
- ✚ **Feldespato:** tienen forma de microlitos principalmente en la matriz; aparecen también algunos fenocristales que presentan corrosión.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** aparecen como cristales subedrales – anedrales que rellenan intersticios.
- ✚ **Minerales opacos:** aparecen diseminados, tienen formas anedrales a subedrales. Posiblemente se trate de magnetita.
- ✚ **Augita:** se encuentran con forma eudral - subedral de ocho lados y tabulares principalmente, algunos presentan minerales opacos intercrecidos; tienen bordes corroídos y presentan disolución interior lo que ocasionó que sólo permanecieran sus formas.
- ✚ **Hornblenda:** cristales subedrales, la mayoría presenta alteración y un deterioro que deja ver sólo una parte del cristal.
- ✚ **Clorita:** se encuentra reemplazando a cristales de olivino parcialmente.
- ✚ **Olivino fantasma:** se observan parcialmente reemplazados por clorita principalmente, de forma subedral - anedral. Podría decirse que hay alteración del mismo a iddingsita debido a la presencia de óxidos de hierro.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

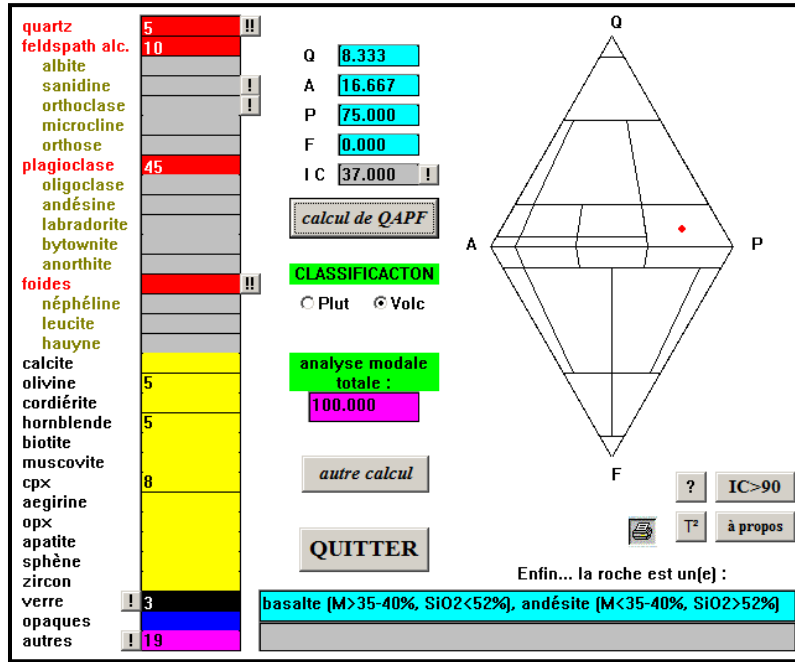
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Básica.

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Basalto

OBSERVACIONES: Contiene vesículas. Tiene olivino alterado que ha sido reemplazado por mica, clorita o celadonita.

La alteración es muy abundante en esta roca.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

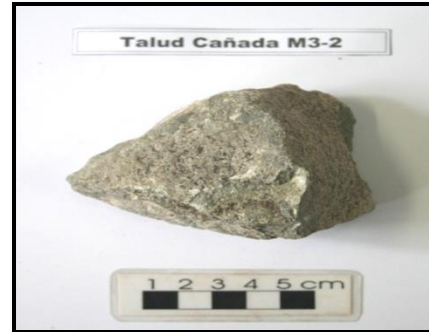
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

---

NO. DE MUESTRA: Talud Cañada M<sub>3,2</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477084; Y: 2145809; Z: 2343[m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: Es una muestra compacta, densa, de forma subangulosa, presenta poco grado de alteración. Los minerales presentes son: plagioclasas y ferromagnesianos principalmente.

*Color:* verde grisáceo al fresco; y verde parduzco como color de intemperismo.

*Índice de color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* pilotaxítica.

*Matriz:* microlítica de composición feldespática.

Mineralogía:

<b>Primarios</b>	<b>%</b>	<b>Secundarios</b>	<b>%</b>	<b>Accesorios</b>	<b>%</b>
Plagioclasa	36.37	Clorita	13.63	Minerales Opacos	9.09
Cuarzo	4.55	Sericita	9.09	Augita	13.63
Feldespato	9.09	Óxidos de Fierro	1.82	Biotita	2.73

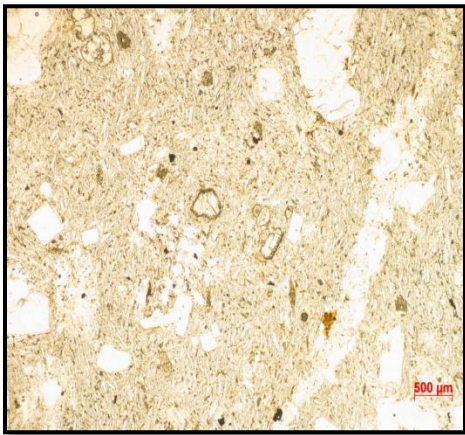


#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

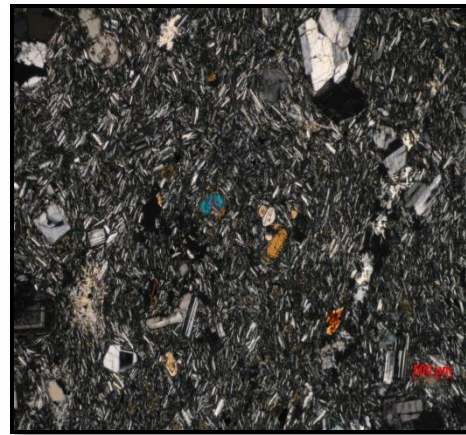
- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** se encuentra en forma de fenocristales algunos son zonados; también se encuentra en la matriz en forma de microlitos.
- ✚ **Cuarzo:** se encuentran en forma de cristales anedrales en muy poca proporción.
- ✚ **Feldespato:** se encuentran presentes en la matriz principalmente en forma de microlitos.
- ✚ **Clorita:** se encuentra intersticialmente entre los microlitos de plagioclasa y feldespato.
- ✚ **Sericita:** se encuentra intersticialmente entre los microlitos de plagioclasa y feldespato.
- ✚ **Biotita:** tiene forma tabular y dichos cristales están muy alterados que difícilmente conserva sus propiedades ópticas.
- ✚ **Augita:** se encuentran cristales de ocho lados euedrales a subedrales.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela*

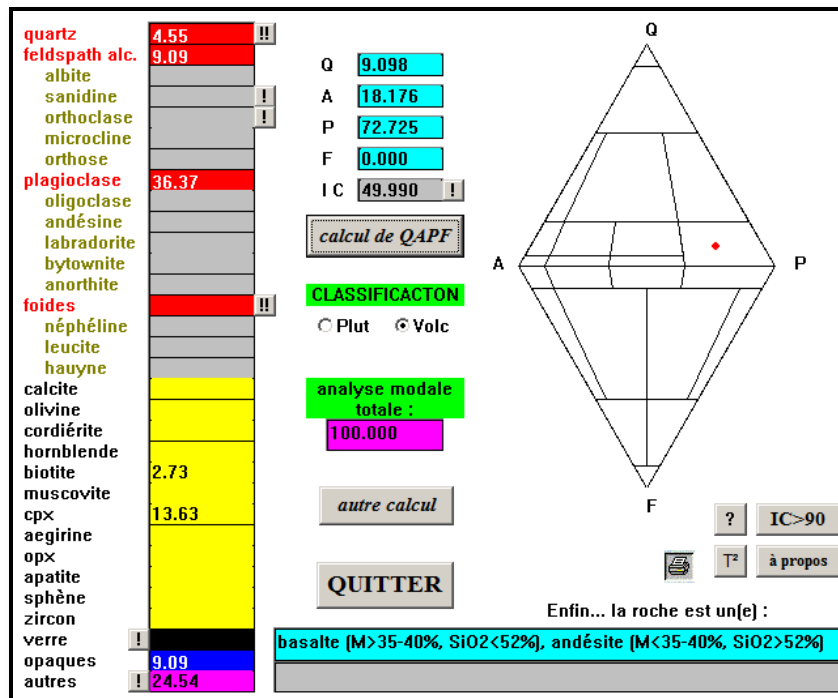


*Nicoles cruzados*





## DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia- Básica.

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Andesita Basáltica.

OBSERVACIONES: Se observan glomeropórfidos de plagioclasa.

Se observa en el cuarzo bordes de reacción o mejor conocidos como de corona, esto es que se aprecian microlitos semifundidos rodeándolo y como no se pudieron asimilar se observan de esta manera.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Talud Cañada M<sub>3-3</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477084 ; Y: 2145809 ; Z: 2343[m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La muestra es compacta, subangulosa, densa. La mineralogía presente corresponde a cuarzo, fenocristales de feldespatos alterados, minerales opacos y minerales tabulares.

*Color:* Gris intermedio con tonalidades blancas al fresco; y pardo claro con tonalidades gris de intemperismo.

*Índice de color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* las texturas presentes son diversas, microcristalina y esferulítica de forma puntual.

*Matriz:* criptocristalina.

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Cuarzo primario	15	Óxidos de Hierro	15	Minerales Opacos	15
Cuarzo secundario	10				
Feldespato	20				
Plagioclasa	15				

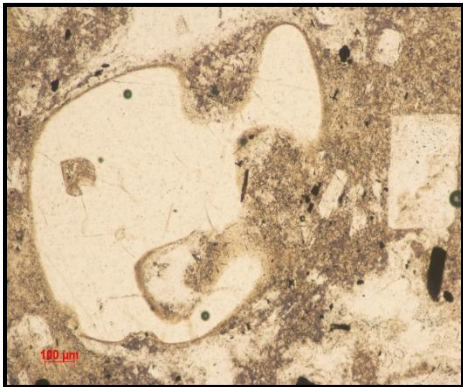
Vidrio: 10%

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

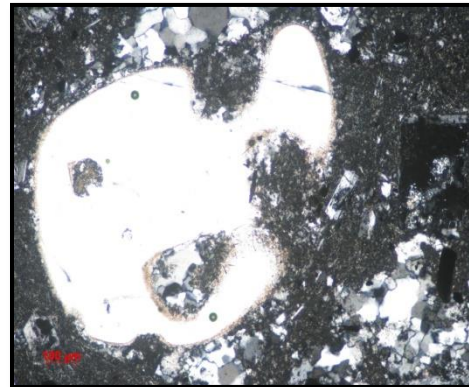
- ✚ **Cuarzo:** se aprecia policristalino en forma de vetillas (*cuarzo secundario*); también como cristales subedrales con sus bordes engolfados y algunos cristales están redondeados (*cuarzo primario*).
- ✚ **Feldespato:** presentan un avanzado grado de alteración y de corrosión, están en forma de fenocristales principalmente.
- ✚ **Plagioclasa (Oligoclasa):** los cristales tienen forma subedral- anedral están muy corroídos y alterados. Tienen esta composición por que están incorporadas.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran reemplazando a los cristales de ferromagnesianos originando cristales conocidos como pseudomorfos.
- ✚ **Minerales Opacos:** son cristales de forma euedral a subedral diseminados, posiblemente se trata de magnetita.
- ✚ **Arcilla:** está presente rellenando intersticios.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

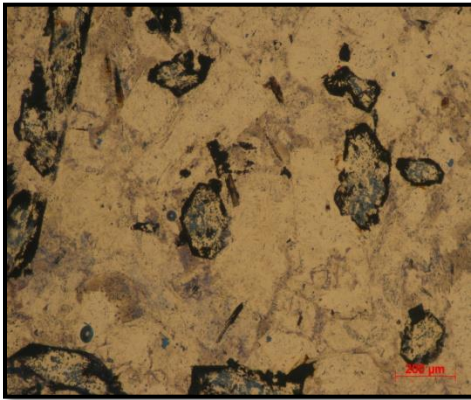
*Luz paralela(1)*



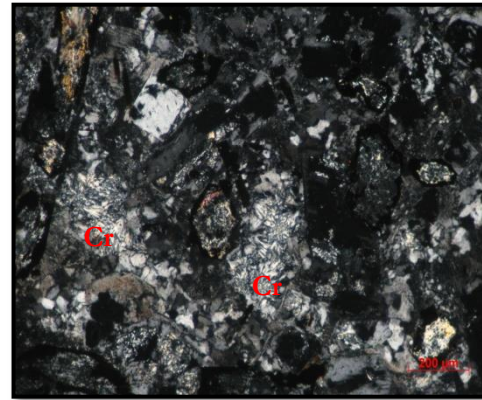
*Nicoles cruzados(1)*



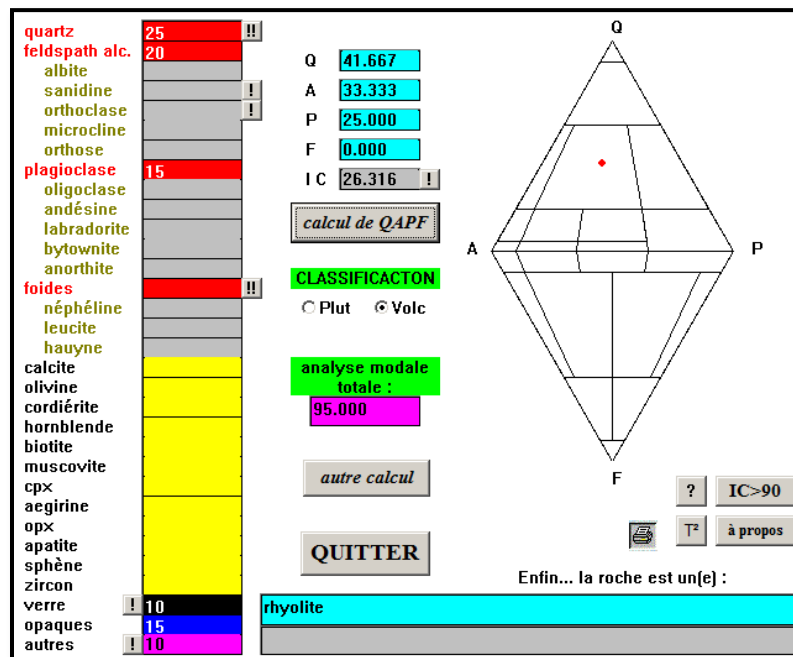
Luz paralela(2)



Nicoles cruzados(2)



### DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Riolita

OBSERVACIONES: Se observa que la muestra ha sido sometida a un proceso de silicificación, lo que puede dar indicios de que la muestra estuvo en un ambiente de mayor acidez al que le dio origen, esto mismo se aprecia en la incorporación de cristales de cuarzo policristalinos llamados en los porcentajes de minerales como *cuarzo secundario* a diferencia de los cuarzoes con bordes redondeados y engolfados denominados *cuarzo primario*. (Microfotografía 1)

Los minerales ferromagnesianos han sido reemplazados por óxidos de hierro dando lugar a pseudomorfos o minerales fantasma; esto se ejemplifica en la microfotografía 2 en los minerales con alto relieve y euedrales.

Posiblemente se tiene tridimita o cristobalita como se señala en la microfotografía (2), de forma fibrosa.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Talud M<sub>2,1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477183; Y: 2145901; Z: 2339 [m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: Es una muestra que tiene una forma subangulosa, es compacta pero se encuentra fracturada y en algunas de dichas fracturas se aprecia cuarzo secundario. Presenta una oxidación general, la mineralogía visible corresponde a cuarzo y plagioclasas.

*Color:* castaño rojizo al fresco; y pardo claro con marcas negras de color de intemperismo.

*Índice de color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* granular anedral

*Matriz:* criptocristalina muy alterada y oxidada.

Mineralogía:

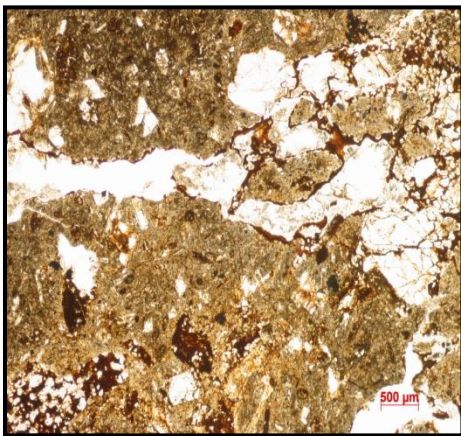
Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Cuarzo	15	Óxidos de Hierro (Hematita)	35	Biotita	3
Plagioclasa	25	Sericita	10	Minerales Opacos	2
Feldespato	5	Arcilla	5		

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

- ✚ **Cuarzo:** está en forma de cristales anedrales y engolfados y en vetillas que presentan formas policristalinas.
- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** se aprecian en forma de fenocristales subedrales, alterados en los bordes.
- ✚ **Feldespato:** la mayoría se encuentran alterados y corroídos.
- ✚ **Óxidos de Hierro (Hematita):** se encuentran presentes en la matriz, en forma de masas y rellenando intersticios entre el cuarzo principalmente.
- ✚ **Sericita:** se encuentra rellenando intersticios.
- ✚ **Arcilla:** está presente como alteración de los feldespatos y la plagioclasa.
- ✚ **Biotita:** se aprecia muy poco sus propiedades ópticas puesto que se encuentran muy alterados los cristales de este mineral y presentan una gran oxidación.
- ✚ **Minerales opacos:** son cristales de forma subedral a eudral; posiblemente se trate de magnetita.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

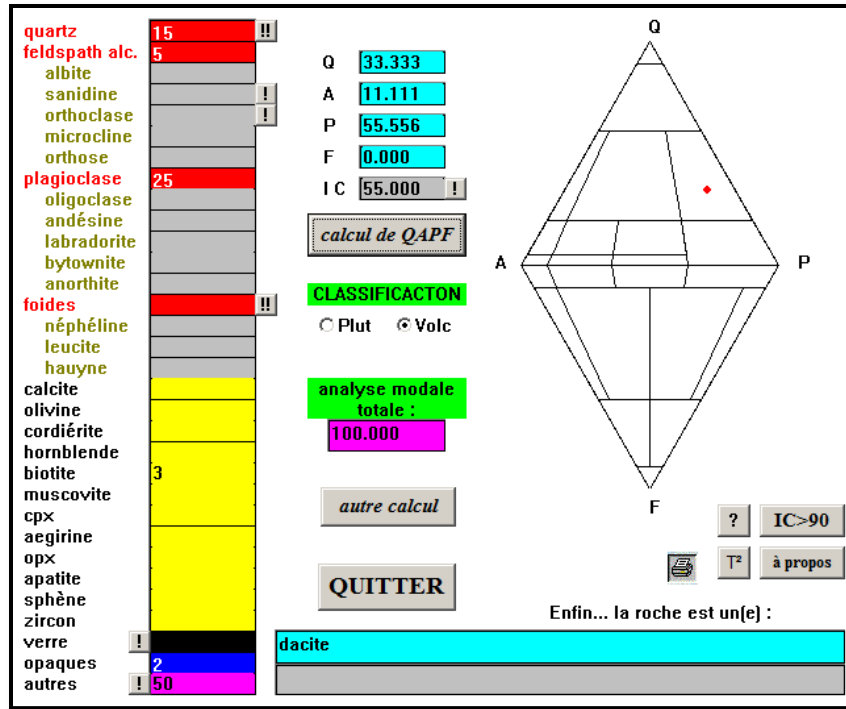
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Dacita

OBSERVACIONES: Se tiene reemplazamiento de minerales ferromagnesianos por óxidos de fierro, razón por la cual es difícil determinar sus propiedades ópticas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Talud Cañada M<sub>3,1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477084 ; Y: 2145809 ; Z: 2343[m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La muestra tiene forma subangulosa, es densa, tiene poco grado de alteración. Entre la mineralogía que se puede observar son fenocristales de plagioclasa, ferromagnesianos y óxidos de hierro principalmente.

*Color:* gris claro al fresco; y gris oscuro de color de intemperismo.

*Índice de color:* Máfico.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* Glomeroporfídica.

*Matriz:* microlítica cuya composición corresponde a andesina y vidrio.

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Plagioclasa	45	Óxidos de Hierro	8	Minerales Opacos	8
Cuarzo	5	Olivinos fantasma	5	Augita	8
Feldespatos	10	Clorita	3	Hornblenda	5

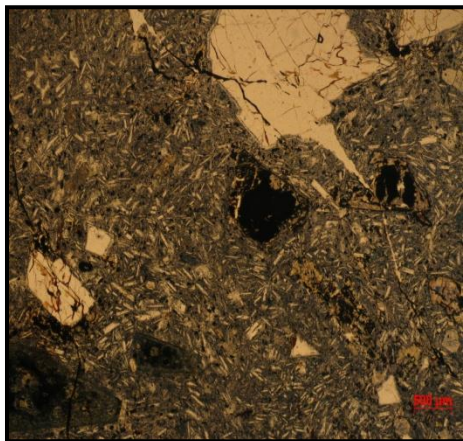
Vidrio: 3 %

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

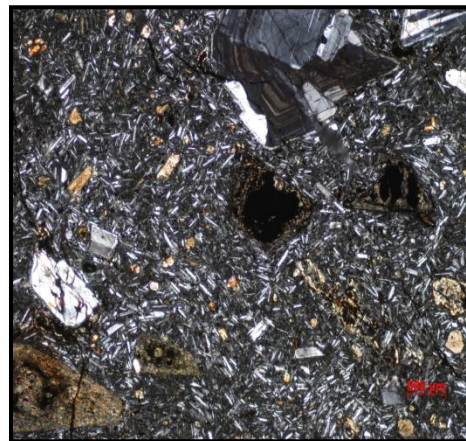
- ✚ **Plagioclasa (Labradorita):** Se encuentra en forma de microlitos distribuidos en la matriz; también en fenocristales agrupados en determinadas partes de la roca, presentan corrosión al interior y disolución en los bordes.
- ✚ **Cuarzo:** se encuentran escasamente y tienen forma de cristales anedrales y engolfados.
- ✚ **Feldespato:** tienen forma de microlitos principalmente en la matriz; aparecen también algunos fenocristales que presentan corrosión.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** aparecen como cristales subedrales – anedrales que rellenan intersticios.
- ✚ **Minerales opacos:** aparecen diseminados, tienen formas anedrales a subedrales. Posiblemente se trate de magnetita.
- ✚ **Augita:** se encuentran con forma eudral - subedral de ocho lados y tabulares principalmente, algunos presentan minerales opacos intercrecidos; tienen bordes corroídos y presentan disolución interior lo que ocasionó que sólo permanecieran sus formas.
- ✚ **Hornblenda:** cristales subedrales, la mayoría presenta alteración y un deterioro que deja ver sólo una parte del cristal.
- ✚ **Clorita:** se encuentra reemplazando a cristales de olivino parcialmente.
- ✚ **Olivino fantasma:** se observan parcialmente reemplazados por clorita principalmente, de forma subedral - anedral. Podría decirse que hay alteración del mismo a iddingsita debido a la presencia de óxidos de hierro.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

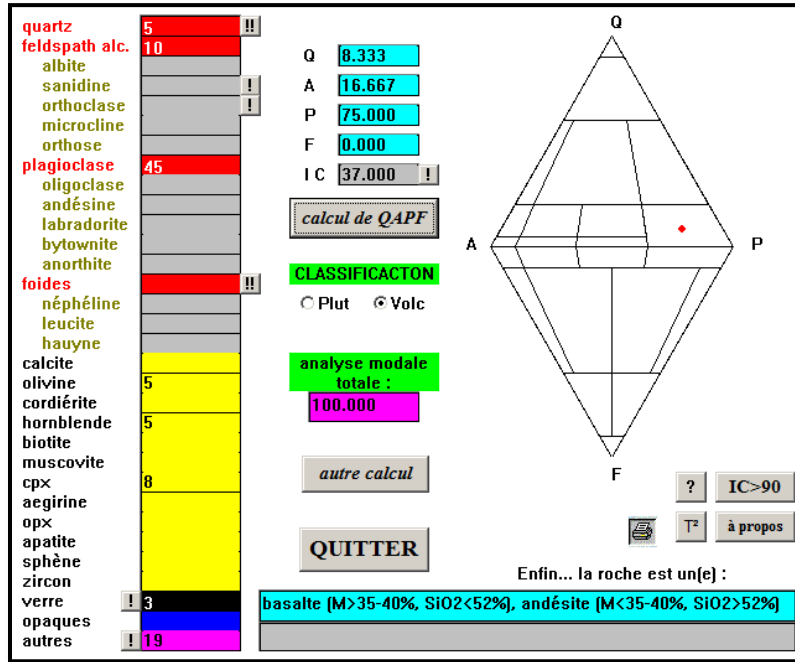
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Básica.

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Basalto

OBSERVACIONES: Contiene vesículas. Tiene olivino alterado que ha sido reemplazado por mica, clorita o celadonita.

La alteración es muy abundante en esta roca.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

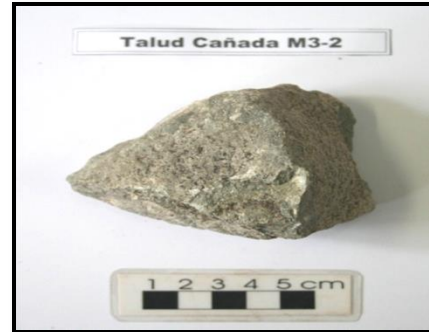
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

---

NO. DE MUESTRA: Talud Cañada M<sub>3,2</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477084; Y: 2145809; Z: 2343[m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: Es una muestra compacta, densa, de forma subangulosa, presenta poco grado de alteración. Los minerales presentes son: plagioclasas y ferromagnesianos principalmente.

*Color:* verde grisáceo al fresco; y verde parduzco como color de intemperismo.

*Índice de color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* pilotaxítica.

*Matriz:* microlítica de composición feldespática.

Mineralogía:

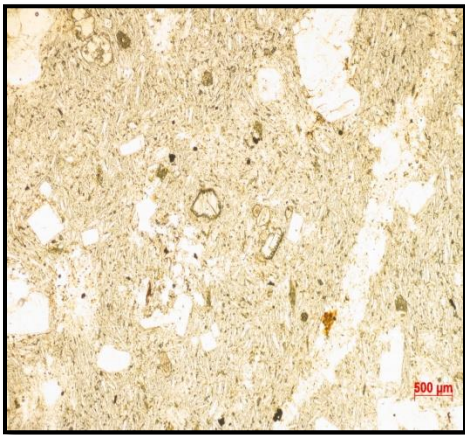
<b>Primarios</b>	<b>%</b>	<b>Secundarios</b>	<b>%</b>	<b>Accesorios</b>	<b>%</b>
Plagioclasa	36.37	Clorita	13.63	Minerales Opacos	9.09
Cuarzo	4.55	Sericita	9.09	Augita	13.63
Feldespato	9.09	Óxidos de Hierro	1.82	Biotita	2.73

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

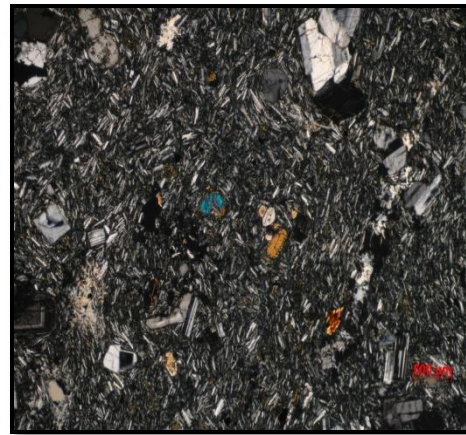
- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** se encuentra en forma de fenocristales algunos son zonados; también se encuentra en la matriz en forma de microlitos.
- ✚ **Cuarzo:** se encuentran en forma de cristales anedrales en muy poca proporción.
- ✚ **Feldespato:** se encuentran presentes en la matriz principalmente en forma de microlitos.
- ✚ **Clorita:** se encuentra intersticialmente entre los microlitos de plagioclasa y feldespato.
- ✚ **Sericita:** se encuentra intersticialmente entre los microlitos de plagioclasa y feldespato.
- ✚ **Biotita:** tiene forma tabular y dichos cristales están muy alterados que difícilmente conserva sus propiedades ópticas.
- ✚ **Augita:** se encuentran cristales de ocho lados euedrales a subedrales.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

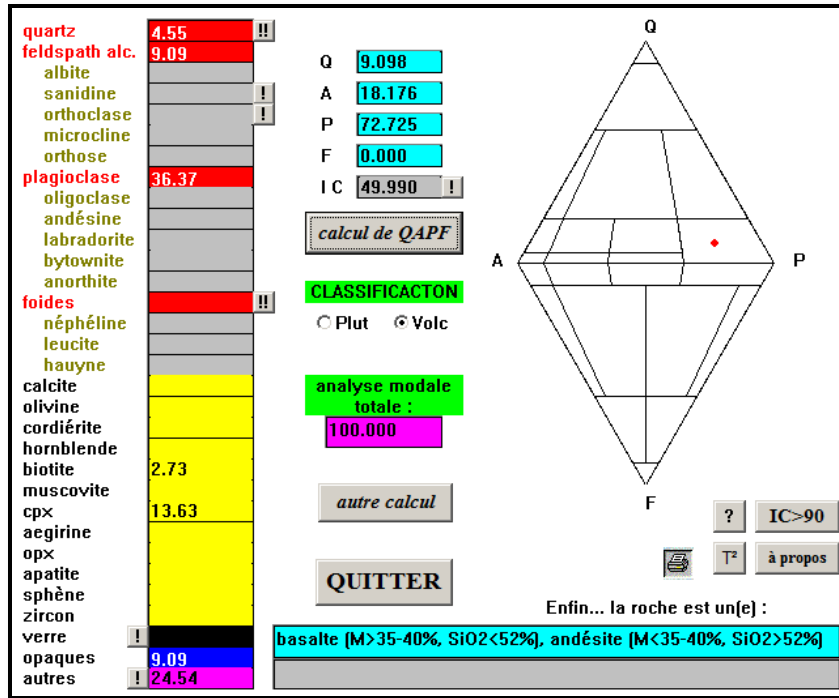
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia- Básica.

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Andesita Basáltica.

OBSERVACIONES: Se observan glomeropórfidos de plagioclasa.

Se observa en el cuarzo bordes de reacción o mejor conocidos como de corona, esto es que se aprecian microlitos semifundidos rodeándolo y como no se pudieron asimilar se observan de esta manera.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Talud Cañada M<sub>3-3</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477084 ; Y: 2145809 ; Z: 2343[m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La muestra es compacta, subangulosa, densa. La mineralogía presente corresponde a cuarzo, fenocristales de feldespatos alterados, minerales opacos y minerales tabulares.

*Color:* Gris intermedio con tonalidades blancas al fresco; y pardo claro con tonalidades gris de intemperismo.

*Índice de color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* las texturas presentes son diversas, microcristalina y esferulítica de forma puntual.

*Matriz:* criptocristalina.

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Cuarzo primario	15	Óxidos de Hierro	15	Minerales Opacos	15
Cuarzo secundario	10				
Feldespato	20				
Plagioclasa	15				



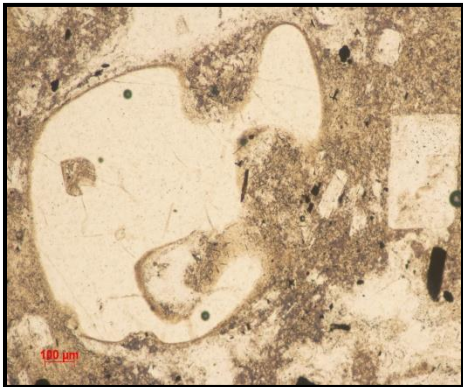
Vidrio: 10%

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

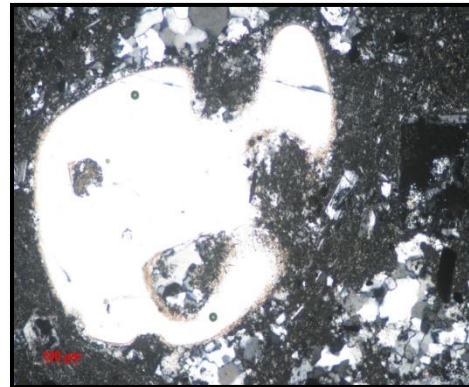
- ✚ **Cuarzo:** se aprecia policristalino en forma de vetillas (*cuarzo secundario*); también como cristales subedrales con sus bordes engolfados y algunos cristales están redondeados (*cuarzo primario*).
- ✚ **Feldespatos:** presentan un avanzado grado de alteración y de corrosión, están en forma de fenocristales principalmente.
- ✚ **Plagioclasa (Oligoclasa):** los cristales tienen forma subedral- anedral están muy corroídos y alterados. Tienen esta composición por que están incorporadas.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran reemplazando a los cristales de ferromagnesianos originando cristales conocidos como pseudomorfos.
- ✚ **Minerales Opacos:** son cristales de forma eudral a subedral diseminados, posiblemente se trata de magnetita.
- ✚ **Arcilla:** está presente rellenando intersticios.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela(1)*

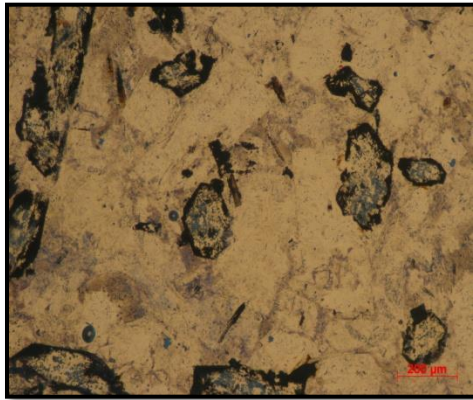


*Nicoles cruzados(1)*

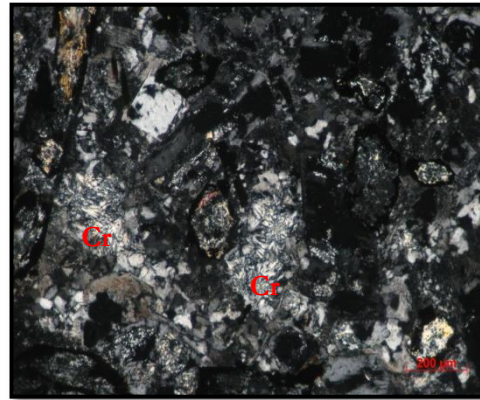




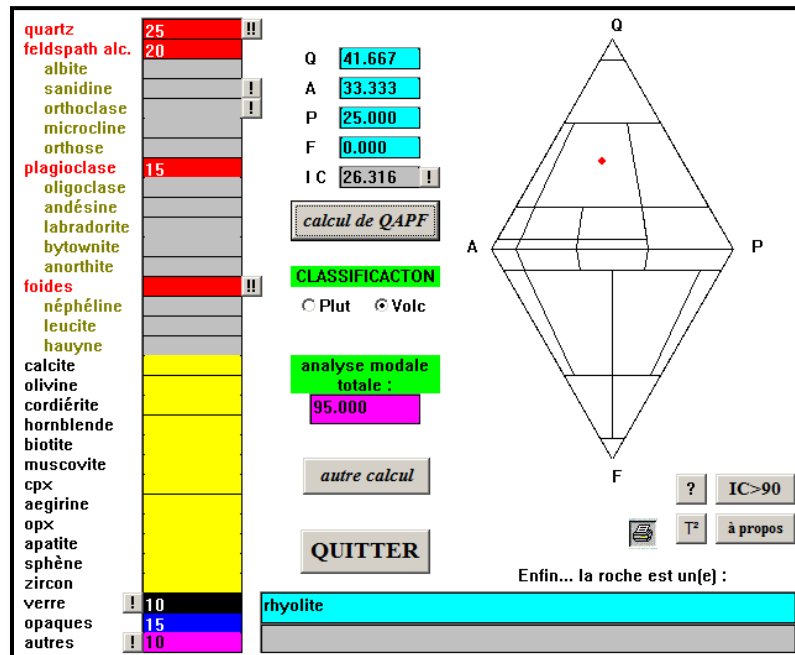
Luz paralela(2)



Nicoles cruzados(2)



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Riolita

OBSERVACIONES: Se observa que la muestra ha sido sometida a un proceso de silicificación, lo que puede dar indicios de que la muestra estuvo en un ambiente de mayor acidez al que le dio origen, esto mismo se aprecia en la incorporación de cristales de cuarzo policristalinos

llamados en los porcentajes de minerales como *cuarzo secundario* a diferencia de los cuarzos con bordes redondeados y engolfados denominados *cuarzo primario*. (Microfotografía 1)

Los minerales ferromagnesianos han sido reemplazados por óxidos de hierro dando lugar a pseudomorfos o minerales fantasma; esto se ejemplifica en la microfotografía 2 en los minerales con alto relieve y euedrales.

Posiblemente se tiene tridimita o cristobalita como se señala en la microfotografía (2), de forma fibrosa.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Talud Drenes M<sub>1-1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 476731; Y: 2145604; Z: 2375[m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: Es un material limo-arcilloso con bajo contenido de arcilla, presenta humedad e intemperismo biológico. No hay diseminados líticos visibles.

*Color:* pardo claro de intemperismo y pardo oscuro al fresco.

*Índice de Color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* Piroclástica.

*Matriz:* vítrea.

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Cuarzo	8	Óxidos de Hierro	1	Hornblenda	2
Plagioclasa	10	Arcilla	3	Biotita	5
Feldespatos	5			Minerales Opacos	3

Vidrio

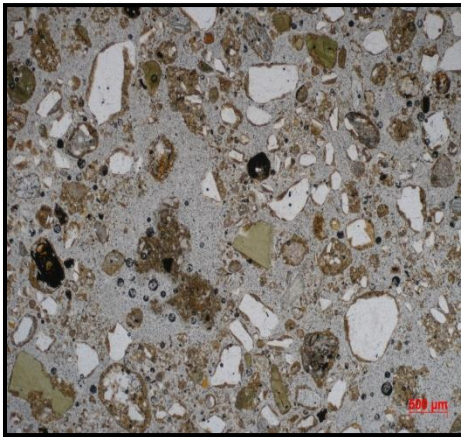
Fragmentos líticos

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

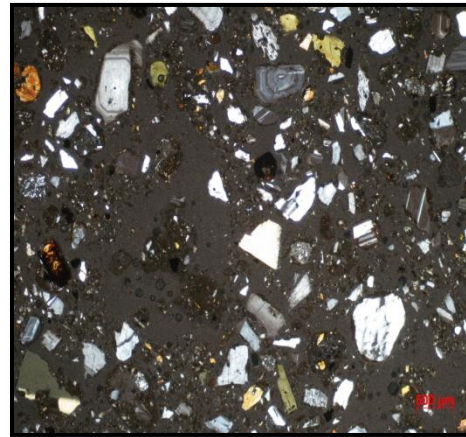
- ✚ **Plagioclasa (Oligoclasa):** cristales de grano fino a medio, subedrales, presentan zonamiento. Algunos de ellos se encuentran fragmentados.
- ✚ **Cuarzo:** cristales anedrales, de grano medio. Presentan tonalidades amarillentas
- ✚ **Feldespato:** cristales subedrales, tabulares, de grano fino. Presentan corrosión.
- ✚ **Biotita:** cristales tabulares principalmente, subedrales, con tonalidades parduzcas, presentan crucero típico en 1 dirección.
- ✚ **Hornblenda:** cristales subedrales- euedrales de grano fino, con tonalidades pardas, crucero en dos direcciones.
- ✚ **Minerales opacos:** cristales subedrales de grano fino, diseminados, posiblemente magnetita.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran reemplazando máficos.
- ✚ **Arcilla:** se encuentra diseminada, debida a la alteración del vidrio.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela*



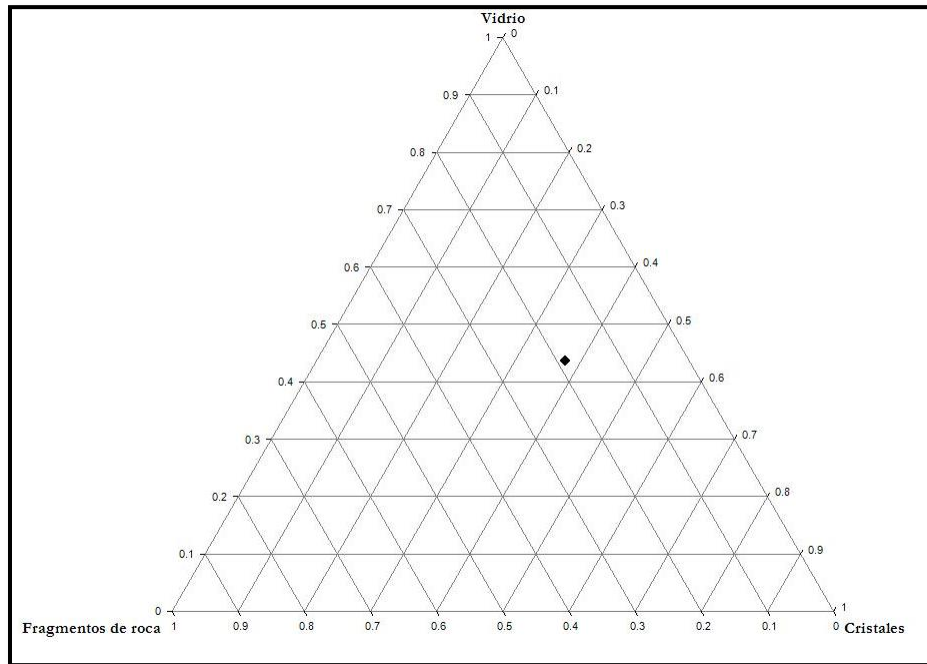
*Nicoles cruzados*



#### PORCENTAJES PARA LA CLASIFICACIÓN DE TOBAS:

- ✚ Cristales: 30% --→ 37.5%
- ✚ Fragmentos líticos: 15% --→ 18.75%
- ✚ Vidrio: 35% --→ 43.75%

## DIAGRAMA



ORÍGEN: Extrusivo Piroclástico.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida.

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Toba vítrea- cristalina con pocos líticos.

OBSERVACIONES: Los fragmentos líticos que se encuentran son subredondeados y de composiciones mineralógicas diferentes como son:

- ★ Andesíticos
- ★ Pumíticos
- ★ Toba Vitreo-cristalina
- ★ Cuarzo-Feldespaticas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Tesc<sub>1D</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477184; Y:2146084; Z:2359 [m]



**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:** Es un material deleznable, con una matriz arcillosa producto de la alteración del vidrio que engloba fragmentos subredondeados de pómez del tamaño de la arena principalmente.

*Color:* Ocre claro al fresco.

*Índice de color:* Félsico.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

*Textura:* Inequigranular esferulítica.

*Matriz:* vítrea.

Mineralogía:

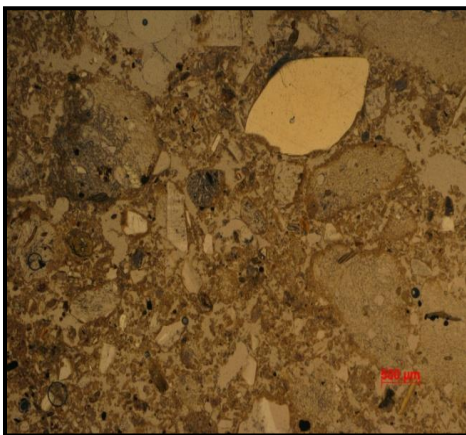
<b>Primarios</b>	<b>%</b>	<b>Secundarios</b>	<b>%</b>	<b>Accesorios</b>	<b>%</b>
Feldespato	14.94	Sericita	5.24	Biotita	3.73
Plagioclasa	3.73	Óxidos de Hierro	2.24	Augita	2.24
Cuarzo	11.20			Minerales Opacos	3.73

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

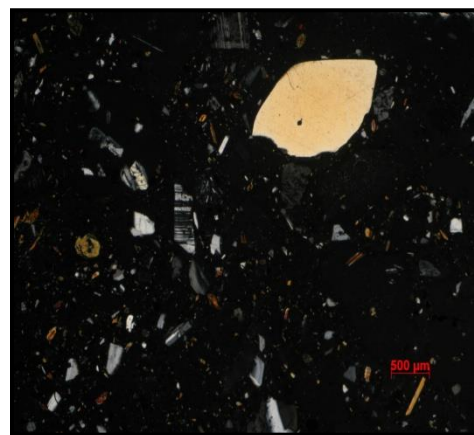
- ✚ **Cuarzo:** cristales subedrales- anedrales, de grano medio a fino, subredondeados con tonalidades amarillentas.
- ✚ **Plagioclasa(Andesina/Oligoclasa):** cristales subedrales, tabulares ,de grano medio a fino, presentan macla combinada. Algunos cristales están zoneados y corroídos.
- ✚ **Feldespato:** fenocristales, tabulares, subedrales, presentan corrosión.
- ✚ **Sericita:** aparece intersticialmente y en algunos cristales de feldespato.
- ✚ **Biotita:** cristales tabulares, subedrales, de grano medio a grueso. Presentan coloraciones verdosas.
- ✚ **Augita:** cristales subedrales, grano medio a fino, algunos presentan 8 lados otros son tabulares y presentan crucero en 2 direcciones a 80° principalmente. Presentan un bajo grado de alteración.
- ✚ **Minerales Opacos:** se observan microcristales opacos, de forma eudral a subedral que posiblemente se trate de magnetita.
- ✚ **Óxidos de Hierro (Hematita):** se encuentra reemplazando minerales, y en venas.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*

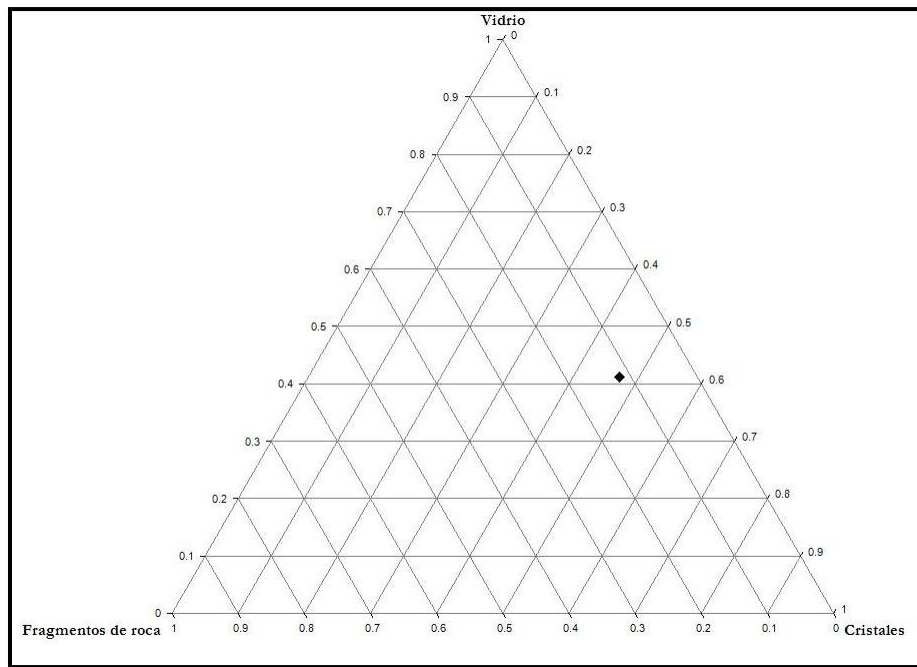




## PORCENTAJES PARA LA CLASIFICACIÓN DE TOBAS:

- ✚ Cristales: 40% --→ 47.05%
- ✚ Fragmentos líticos: 10% --→ 11.77%
- ✚ Vidrio: 35% --→ 41.18%

## DIAGRAMA



ORÍGEN: Extrusivo Piroclástico

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Toba Vítreo cristalina con pocos fragmentos líticos.

OBSERVACIONES: Los fragmentos líticos son de pómez y de posible composición andesítica principalmente



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Tesc<sub>UM,1</sub> = Tesc<sub>1A</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477184; Y:2146084; Z:2359 [m]



**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:** Es un material deleznable, que se encuentra soportado por una matriz arcillosa. Dicho material es de forma subredondeada a redondeada, con una composición andesítica principalmente; su tamaño varía desde milímetros a 5[cm] aproximadamente.

*Color:* la matriz varía de pardo a ocre; los fragmentos de roca son gris claro y gris oscuro principalmente.

*Índice de color:* Intermedio.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

*Textura:* Piroclástica.

*Matriz:* Vítreo

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Feldespato	7	Arcilla	5	Biotita	4
Plagioclasa	10			Hornblenda	6
Cuarzo	5			Augita	3

Vidrio

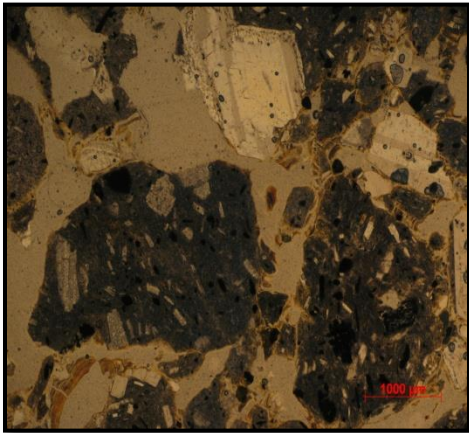
Fragmentos líticos

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

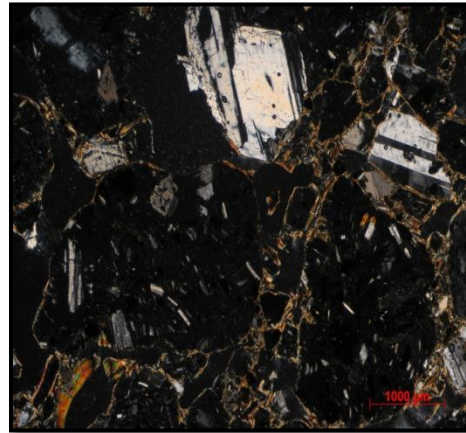
- ✚ **Cuarzo:** cristales subedrales, subangulosos, de grano medio a fino presentan tonalidades amarillentas.
- ✚ **Plagioclasa (Oligoclasa/ Andesina):** cristales subedrales, subangulosos, tabulares de grano medio a fino, presentan zonamiento, algunos de los cristales se encuentran fragmentados.
- ✚ **Feldespato:** fenocristales y también cristales de grano fino, se encuentran corroídos, son subedrales y de diversas morfologías.
- ✚ **Arcilla:** se encuentra principalmente en la matriz, debida a la alteración del vidrio.
- ✚ **Biotita:** cristales subedrales de grano medio a fino, presentan diversas morfologías, tiene crucero en una dirección, algunas presentan un avanzado grado de alteración. Principalmente presentan tonos pardos a castaños.
- ✚ **Hornblenda:** cristales subedrales- anedrales, de grano medio a fino, presentan un avanzado grado de alteración, presentan crucero en dos direcciones, es de color pardo.
- ✚ **Augita:** cristales subedrales, de grano fino tabulares, color pardo amarillento.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela*



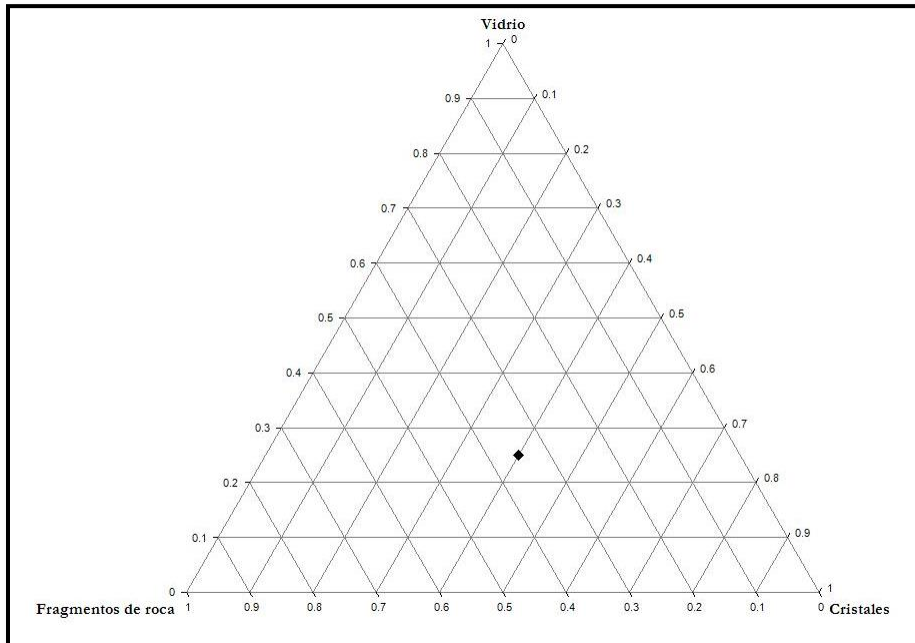
*Nicoles cruzados*



#### PORCENTAJES PARA LA CLASIFICACIÓN DE TOBAS:

- ✚ Cristales: 40%
- ✚ Fragmentos líticos: 35%
- ✚ Vidrio: 25%

## DIAGRAMA



ORÍGEN: Piroclástico

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Toba cristalina – lítica con matriz vítrea.

OBSERVACIONES: Se trata de varios fragmentos líticos de diferente tamaño, todos ellos con una posible composición andesítica y de forma subangulosa a subredondeada que se encuentran cementados por arcilla y vidrio.

Los fragmentos líticos tienen fenocristales corroídos de feldespato, minerales muy alterados a los que difícilmente se les pueden obtener propiedades ópticas. La matriz en algunos fragmentos criptocristalina y en otros está compuesta por microlitos de plagioclasas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: Tesc<sub>1-1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477104; Y: 2146085; Z: 2363 [m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La roca es cristalina, posee un alto grado de alteración, su forma es subangulosa. Está compuesta mineralógicamente por fenocristales de feldespato; cuarzo, biotita y óxidos de hierro principalmente.

*Color:* Gris oscuro con tonalidades blancas y marrón al fresco; gris oscuro con tonalidades ocre de intemperismo.

*Índice de color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* Inequigranular glomeroporfídica.

*Matriz:* Microlítica

Mineralogía:

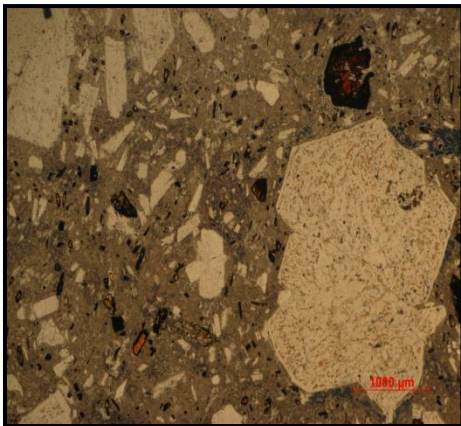
Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Feldespato	18.75	Óxidos de Hierro	6.25	Biotita	12.5
Plagioclasa (Oligoclasa)	50	Sericita	6.25		
Cuarzo	6.25				

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

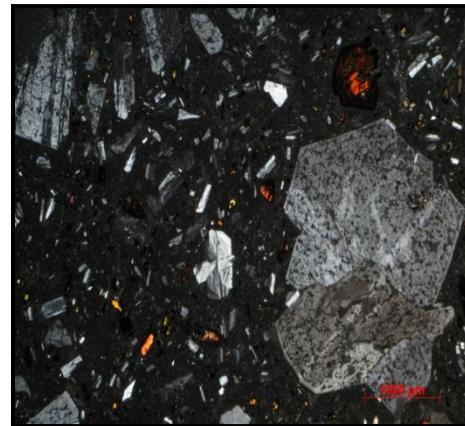
- ✚ **Cuarzo:** cristales subedrales- anedrales, de grano fino. Se observan corroídos algunos cristales.
- ✚ **Plagioclasa (Oligoclasa):** cristales subedrales- euedrales, tabulares, de grano medio zoneados y corroídos; además se encuentra en la matriz en forma de microlitos, la mayoría se encuentran muy alterados.
- ✚ **Feldespato:** fenocristales subedrales, tabulares principalmente, se encuentran corroídos.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentra reemplazando algunos minerales ferromagnesianos.
- ✚ **Biotita:** cristales tabulares, de grano medio y grueso. Se encuentran muy alterados la mayoría de estos cristales y tienen un relieve muy alto, se observan rojizos.
- ✚ **Sericita:** se encuentra intersticialmente, y por alteración de los feldespatos y plagioclasas.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

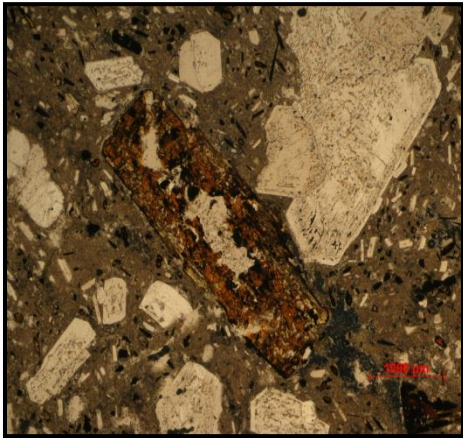
*Luz paralela*



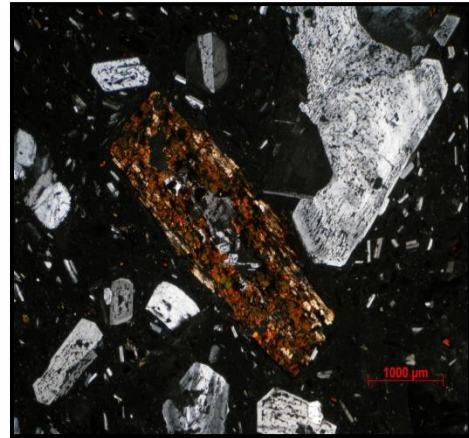
*Nicoles cruzados*



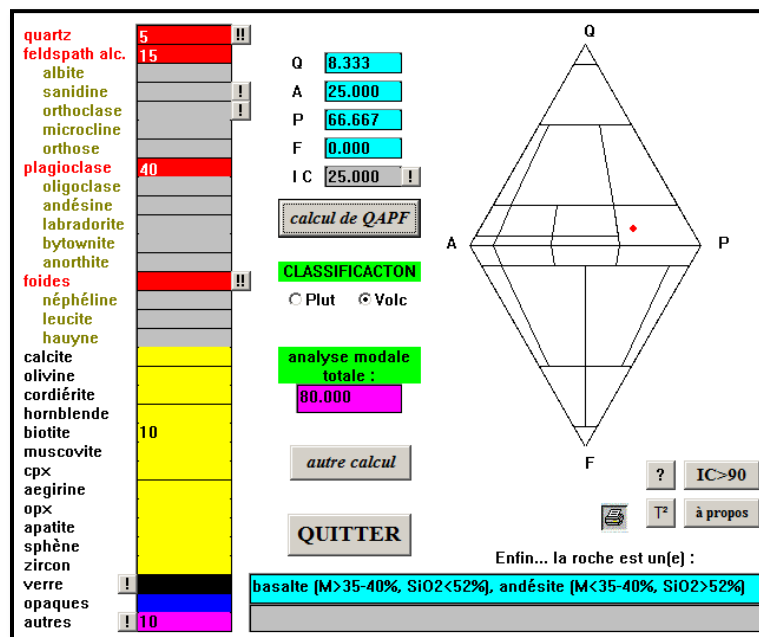
Luz Paralela (2)



Nicoles Cruzados (2)



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Andesita de Biotita

OBSERVACIONES: Se aprecia un reemplazamiento en fenocristal de biotita por una plagioclasa, tal como se observa en la microfotografía (2).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

---

NO. DE MUESTRA: Talud Hípico M1-1

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477621; Y: 2146027; Z: 2290[m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La muestra corresponde a material deleznable granular, compuesto por arcilla, cuarzo, y fragmentos pumicíticos de menores de 3 [mm]. Dicho material está sometido a un fuerte intemperismo biológico.

*Color:* Ocre oscuro.

*Índice de Color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura:* Piroclástica.

*Matriz:* Vítrea arcillosa.

Mineralogía:

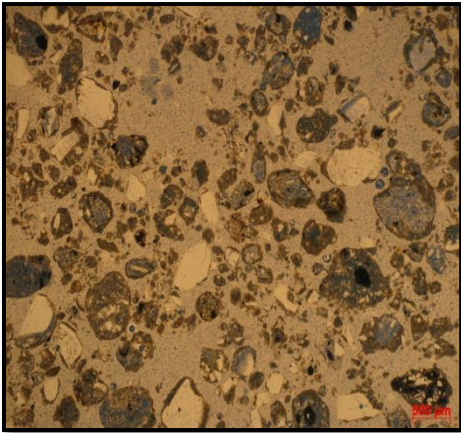
<b>Primarios</b>	<b>%</b>	<b>Secundarios</b>	<b>%</b>	<b>Accesorios</b>	<b>%</b>
Plagioclasa	5.94	Arcilla	3.95	Biotita	1.48
Cuarzo	10.35	Óxidos de Hierro	0.49	Minerales Opacos	0.99
Feldespato	3.47				

### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

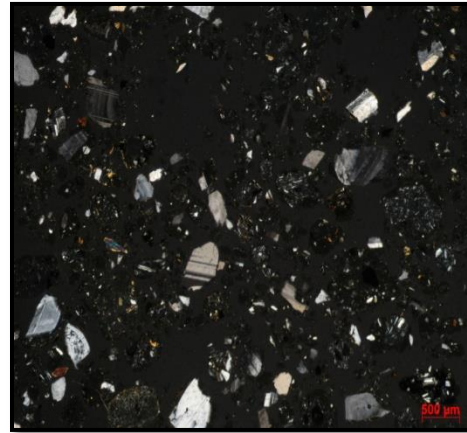
- ✚ **Cuarzo:** cristales anedrales principalmente de grano medio.
- ✚ **Feldespatos:** fenocristales corroídos, zoneados.
- ✚ **Plagioclasa (oligoclasa):** cristales anedrales, presentan macla combinada.
- ✚ **Arcilla:** se encuentra en la matriz y en intersticios.
- ✚ **Biotita:** cristales tabulares subedrales, presentan poca alteración.

### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*

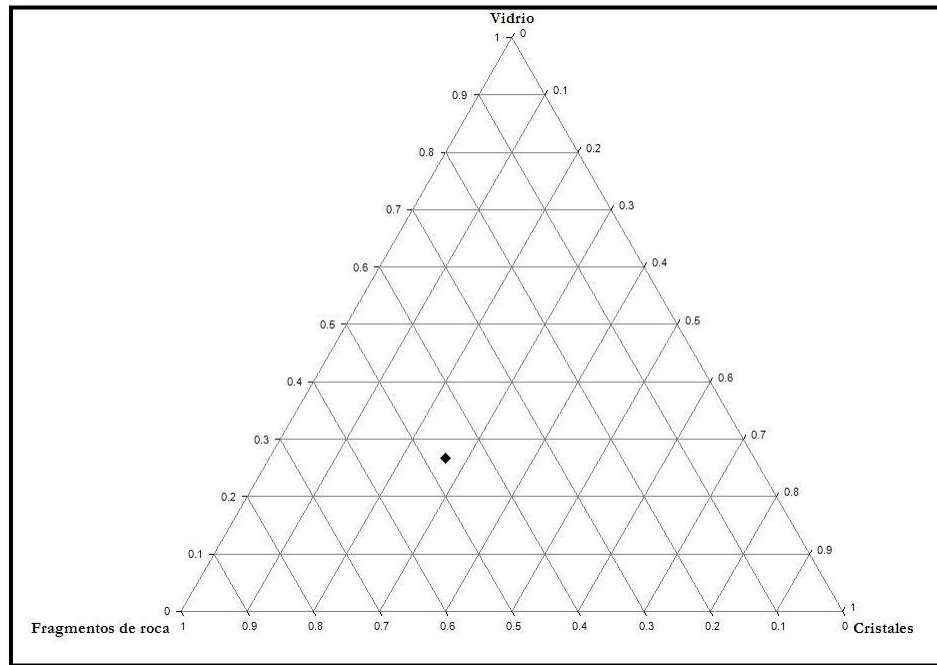


### PORCENTAJES PARA LA CLASIFICACIÓN DE TOBAS:

- ✚ Cristales: 20% --→ 26.67%
- ✚ Fragmentos líticos: 35% --→ 46.66%
- ✚ Vidrio: 20% --→ 26.67%



## DIAGRAMA



ORÍGEN: Extrusivo Piroclástico.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Toba lítica con la misma proporción de vidrio y cristales

OBSERVACIONES: Los fragmentos líticos tienen forma redondeada a subredondeada principalmente, lo que indica que la muestra ha sido sometida a un gran transporte. La composición de dichos fragmentos es variable; los hay de posible composición andesítica, pumítica, cuarzo feldespática y tobas vítreas cristalinas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>1-01-1</sub> Talud 1

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477679; Y: 2145725; Z: 2330 [m]



**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:** Es un material compacto, con tonalidades que van del ocre al pardo claro. Se fragmenta con facilidad; tiene diseminados líticos en muy poca proporción de tamaño variable no mayor a  $\approx 1$  cm. Está constituido principalmente de material muy fino (arcilla-arena muy fina). Tiene raíces de plantas y presenta poca porosidad.

*Color:* Tonalidades ocre a pardo claro.

*Índice de color:* Félsico

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

*Textura (s):* Desvitrificación

*Matriz:* vítrea esferulítica

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Plagioclasa ( <i>Oligoclasa</i> )	8	Óxidos de Hierro	2	Biotita	6
Cuarzo	10	Arcilla	10	Augita	6
Feldespato	6			Minerales Opacos	3

Vidrio

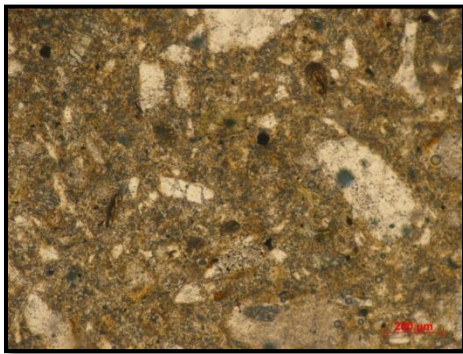
Fragmentos líticos

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

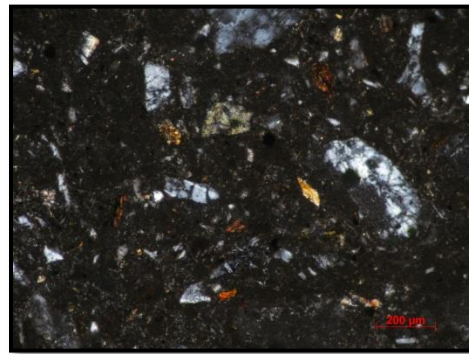
- ✚ **Cuarzo:** cristales de variadas formas desde redondeados a tabulares, subedrales-anedrales, de grano medio.
- ✚ **Plagioclasa(Oligoclasa):** cristales de grano medio, subedrales, tabulares principalmente.
- ✚ **Feldespato:** cristales subedrales, tabulares de grano medio. Se encuentran corroídos, principalmente en los bordes.
- ✚ **Biotita:** cristales euedrales-subedrales, tabulares de grano medio. Algunos presentan alteración (cloritización).
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran reemplazando ferromagnesianos.
- ✚ **Augita:** cristales subedrales, de 8 lados, de grano medio.
- ✚ **Minerales opacos:** son cristales de forma subedral a eudral; posiblemente se trate de magnetita.
- ✚ **Arcilla:** se encuentra en los intersticios, y en la matriz.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Lu<sub>z</sub> paralela*



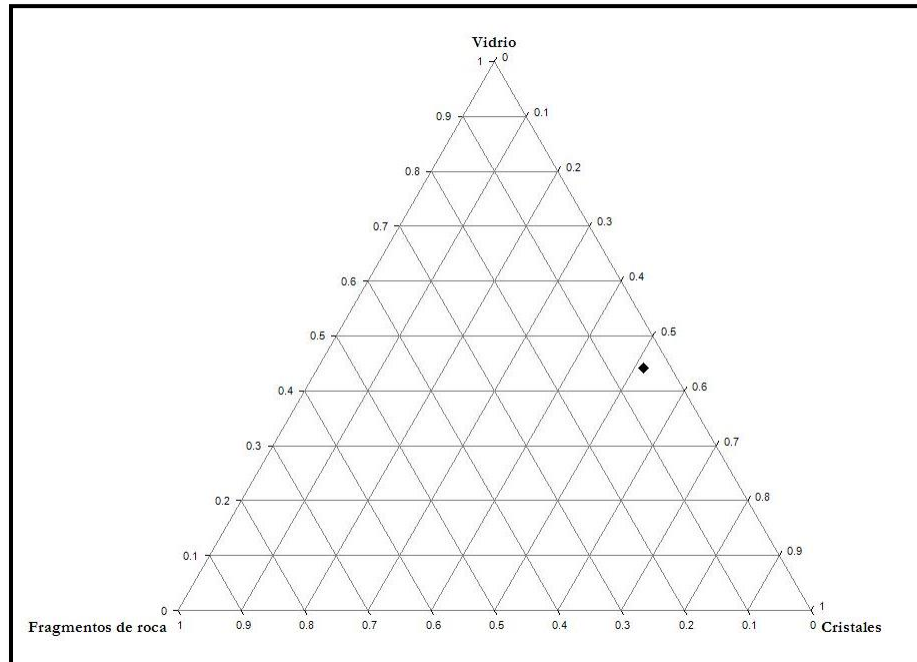
*Nicoles cruzados*



#### PORCENTAJES PARA LA CLASIFICACIÓN DE TOBAS:

- ✚ Cristales: 35% --→ 51.47%
- ✚ Fragmentos líticos: 3% --→ 4.41%
- ✚ Vidrio: 30% --→ 44.12%

## DIAGRAMA



ORÍGEN: Extrusivo Piroclástico

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Toba cristalina vítrea con escasos fragmentos líticos.

OBSERVACIONES: Se aprecian fenocristales de plagioclasas zoneadas. Los fragmentos líticos son de posibles composiciones andesíticas, cuarzo feldespáticas y tobas vitro-cristalinas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>1-03-1</sub> Talud 1

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477566; Y: 2145638; Z: 2333 [m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: Es un material granular color blanco con una matriz arcillosas color pardo claro. Es deleznable, los granos varían su tamaño desde los 4[mm] a 1[cm] como máximo. Se encuentran fragmentos pumíticos con fenoscristales de anfíboles, cuarzo, plagioclasa y vidrio.

*Color:* Pardo claro en la matriz y blanco el material granular.

*Índice de color:* Félsico

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura (s):* Inequigranular esferulítica

*Matriz:* vítrea esferulítica

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Plagioclasa (Oligoclasa)	4	Óxidos de Hierro	3	Biotita	8
Cuarzo	9	Arcilla	8	Hornblenda	5
Feldespatos	6			Augita	4
				Minerales Opacos	3

Vidrio

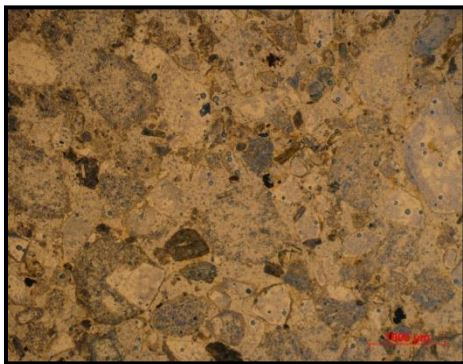
## Fragmentos líticos

### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

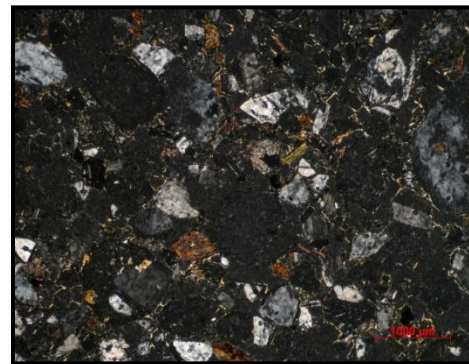
- ✚ **Cuarzo:** cristales subedrales con bordes subredondeados a subangulosos, de grano medio a fino. Algunos presenta tonalidades amarillentas.
- ✚ **Plagioclasa(Oligoclasa):** cristales subedrales, de grano medio-fino, tabulares, fracturados.
- ✚ **Feldespato:** Fenocristales subedrales, tabulares; presentan corrosión interna.
- ✚ **Arcilla:** se encuentra en la matriz e intersticialmente entre los cristales.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran reemplazando ferromagnesianos y en los bordes de los mismos; así como en venas.
- ✚ **Biotita:** cristales subedrales, tabulares, algunos presentan alteración.
- ✚ **Hornblenda:** cristales subedrales – euedrales de 6 lados principalmente. Algunos presentan deterioro y sólo se aprecian algunas partes del cristal. Casi no presentan alteración.
- ✚ **Augita:** cristales subedrales-euedrales, presentan formas tabulares y otros formas de 8 lados.

### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela*



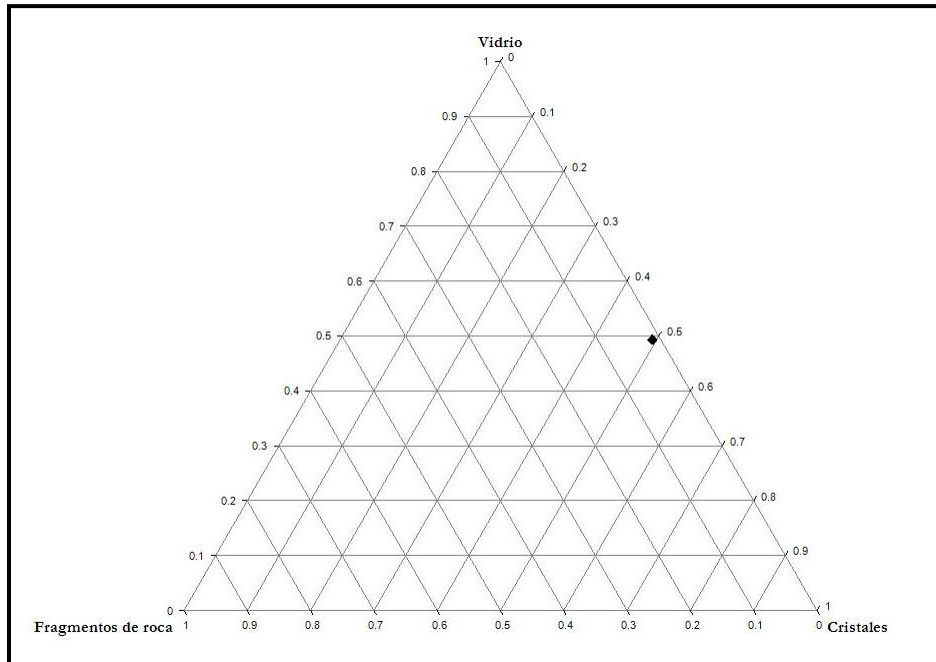
*Nicoles cruzados*



### PORCENTAJES PARA LA CLASIFICACIÓN DE TOBAS:

- ✚ Cristales: 35% --→ 49.296%
- ✚ Fragmentos líticos: 1% --→ 1.408%
- ✚ Vidrio: 35% --→ 49.296%

## DIAGRAMA



ORÍGEN: Extrusivo Piroclástico

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Toba vitro-cristalina

OBSERVACIONES: Es visible la desvitrificación en los bordes de los fragmentos de roca y dicho material en proceso de alteración a arcillas. Se aprecian los granos subredondeados a subangulosos. Se observa fluidez en partes inalteradas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>1-04-01</sub> Talud 1

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477505; Y: 2145600; Z: 2250 [m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La roca es cristalina, de forma subredondeada. Contiene fenocristales de feldespato; cuarzo, máficos y minerales opacos principalmente.

*Color:* Gris claro con tonalidades blancas al fresco; y gris con tonalidades ocres de intemperismo.

*Índice de color:* Félsico.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura (s):* Holocristalina Glomeroporfídica

*Matriz:* de grano fino compuesta por cuarzo.

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Plagioclasa (Oligoclasa)	28	Óxidos de Hierro	3	Minerales Opacos	8
Cuarzo	32	Sericita	5		
Feldespato	5	Clorita	9		
		Arcilla	10		

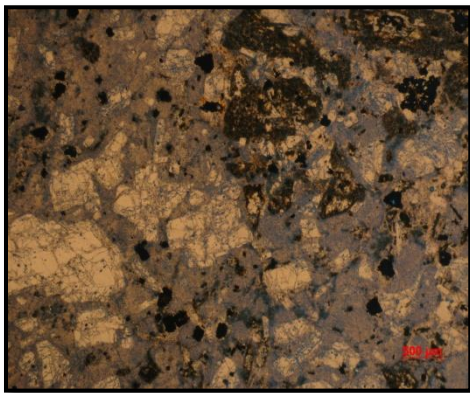


#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

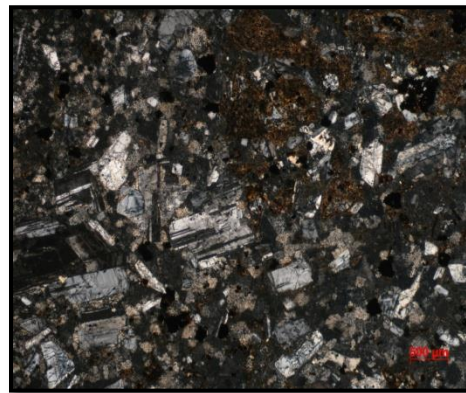
- ✚ **Cuarzo:** Aparece en forma policristalina posiblemente por una silicificación, además se encuentran cristales subredondeados de forma subedral. Presentan corrosión.
- ✚ **Plagioclasa:** cristales subedrales, de grano medio, presentan zonamiento. Tienen diversas morfologías.
- ✚ **Feldespatos:** cristales subedrales- euedrales, de grano medio, presenta formas de 4 lados.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran reemplazando máficos y en forma de venas.
- ✚ **Sericita:** se encuentra intersticialmente entre los minerales.
- ✚ **Clorita:** se encuentra reemplazando minerales ferromagnesianos.
- ✚ **Minerales Opacos** cristales de grano fino, de forma euedral a subedral, que posiblemente se trate de magnetita.
- ✚ **Arcilla:** se encuentra en intersticios, y su presencia se debe principalmente a la alteración de feldespatos.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida.

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Roca granítica con un avanzado grado de alteración.

**OBSERVACIONES:** La roca presenta un avanzado grado de alteración marcada por arcillas y por óxidos e hidróxidos de hierro. Hay presencia de sericita; la clorita se encuentra reemplazando a minerales máficos.

Se aprecian mosaicos cristalinos por una posible silificación.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>1-04-02</sub> Talud 1

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477505; Y: 2145600; Z: 2250 [m]



**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:** La muestra es deleznable, con una matriz arcillosa producto de la alteración del vidrio; en ella están contenidos fragmentos de roca de un tamaño no superior a 2 [mm] y mono minerales de cuarzo, biotita, anfíboles y minerales opacos principalmente.

*Color:* Beige al fresco; y ocre de intemperismo.

*Índice de color:* Félsico.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

*Textura (s):* Desvitrificada.

*Matriz:* vítrea.

Mineralogía:

<b>Primarios</b>	<b>%</b>	<b>Secundarios</b>	<b>%</b>	<b>Accesorios</b>	<b>%</b>
Plagioclasa	9	Óxidos de Hierro	2	Minerales Opacos	3
Cuarzo	6			Hornblenda	4
Feldespato	8			Augita	2
				Biotita	7

Vidrio

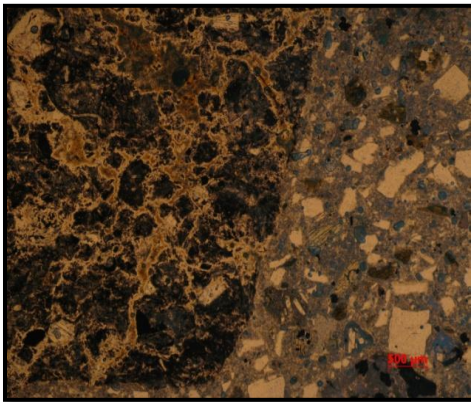
Fragmentos de roca

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

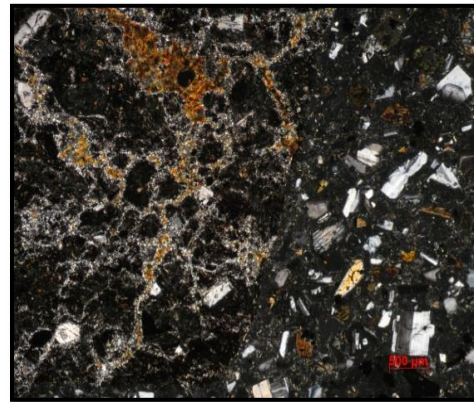
- ✚ **Cuarzo:** cristales de forma subedral- anedral, de grano fino.
- ✚ **Plagioclasa (Oligoclasa):** cristales subedrales, de grano fino a medio, algunos presentan zonamiento y otros macla polisintética.
- ✚ **Feldespato:** cristales subedrales, de grano fino a medio, presentan corrosión.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran reemplazando máficos y en forma de venas
- ✚ **Minerales Opacos:** cristales de grano fino, de forma euedral a subedral, que posiblemente se trate de magnetita.
- ✚ **Hornblenda:** cristales subedrales, de grano fino, fragmentados, con crucero en dos direcciones, relieve moderado. Presenta tonalidades pardas.
- ✚ **Augita:** cristales de grano fino tabulares y con ocho lados. Subedrales- euedrales.
- ✚ **Biotita:** fenocristales tabulares y cristales de grano fino, presentan crucero en una dirección, tienen tonalidades pardas amarillentas.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela*



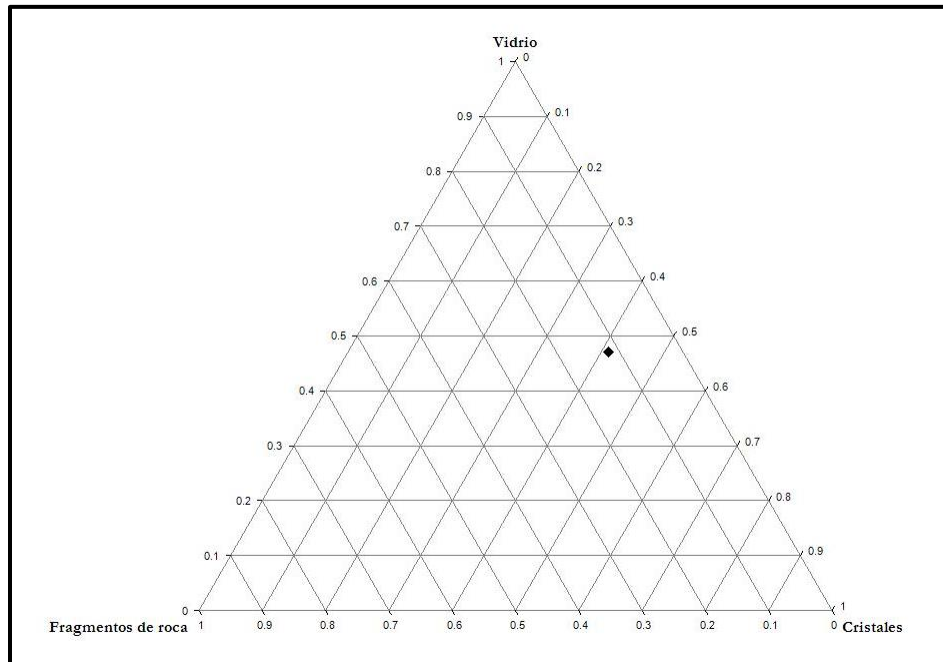
*Nicoles cruzados*



#### PORCENTAJES PARA LA CLASIFICACIÓN DE TOBAS:

- ✚ Cristales: 35% --→ 41.17%
- ✚ Fragmentos líticos: 10% --→ 11.77%
- ✚ Vidrio: 40% --→ 47.06%

## DIAGRAMA



ORÍGEN: Extrusivo Piroclástico

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Toba vítrea-cristalina con fragmentos líticos.

OBSERVACIONES: Se observan venas de clorita y mosaicos de cuarzo posiblemente derivados de la desvitrificación del vidrio.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>1-04-03</sub> Talud 1

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 477505; Y: 2145600; Z: 2250 [m]



DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: Es una roca cristalina, con forma subangulosa. Está compuesta de Feldespato, plagioclasa, anfíboles y minerales opacos principalmente.

*Color:* Gris oscuro al fresco; y gris claro con tonalidades ocre de intemperismo.

*Índice de color:* Máfico.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura (s):* Inequigranular porfídica y glomeroporfídica.

*Matriz:* microlítica de plagioclasa y vidrio.

Mineralogía:

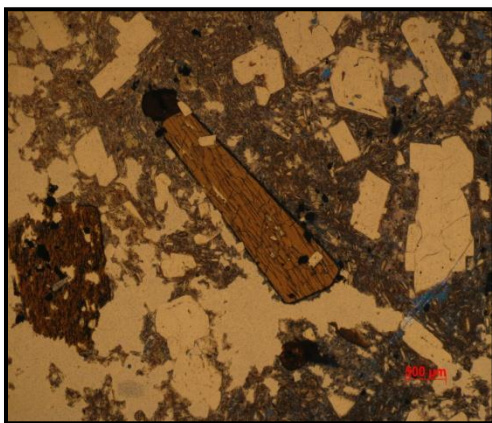
Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Plagioclasa	52.84			Hornblenda	7.684
Feldespato	24.01			Biotita	9.61
				Augita	2.88
				Minerales Opacos	2.88
				Zircón	0.096

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** se encuentra en la matriz como microlitos, también presenta zonación en cristales de grano grueso; se presentan también como glomeropórfidos.
- ✚ **Feldespato:** fenocristales corroídos, euedrales- subedrales, presentan corrosión en el interior y disolución en los bordes.
- ✚ **Hornblenda:** cristales subedrales, de grano medio a fino, tienen crucero en dos direcciones a  $70^\circ$  aproximadamente, tiene tonalidades pardas, algunos cristales se encuentran alterados.
- ✚ **Augita:** cristales subedrales, de grano fino, de forma tabular y de ocho lados principalmente. Se encuentran alterados.
- ✚ **Minerales Opacos:** cristales de grano fino, de forma euedral a subedral, que posiblemente se trate de magnetita.
- ✚ **Biotita:** cristales de grano fino y fenocristales que presentan diferentes grados de alteración, subedrales, de forma tabular principalmente, crucero en una dirección. Presenta tonalidad parda.
- ✚ **Zircón:** está presente en un fenocristal de biotita, es un cristal diminuto con alto relieve, tiene extinción paralela, presenta tonalidades claras.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela (1)*

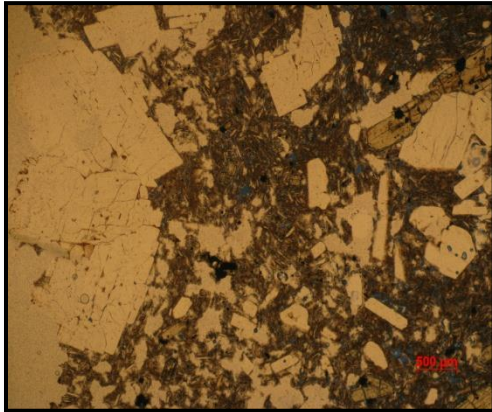


*Nicoles cruzados(1)*





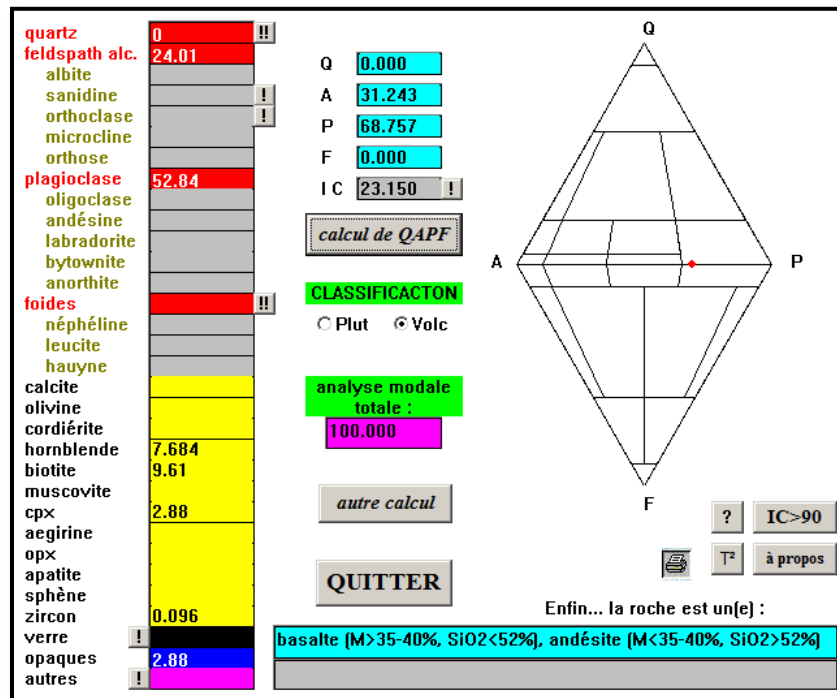
Luz paralela (2)



Nicoles cruzados (2)



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia -Básica

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Andesita Basáltica

OBSERVACIONES: Se observan fenocristales de plagioclasa así como zonación, se aprecia una textura glomeroporfídica así como intercrecimiento en algunos cristales de hornblenda. La roca presenta porosidad.



Se observa un zircón incluido en un fenocristal de biotita (izquierda) tal como se aprecia en las microfotografías (1).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>B1-1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 476,600; Y: 2,145,621

DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:



Es un material fragmentado, muy deleznable tiene granulometría diversa desde el tamaño de la arena muy fina a la arena muy gruesa, con un predominio del material fino (de manera visual), los granos son redondeados a subredondeados. Se encuentran fragmentos líticos color pardo claro diseminados.

*Color:* Tonalidades pardo claro a Ocre.

*Índice de color:* Intermedio

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura (s):* Piroclástica

*Matriz:* vítrea esferulítica.

Mineralogía:

<b>Primarios</b>	<b>%</b>	<b>Secundarios</b>	<b>%</b>	<b>Accesorios</b>	<b>%</b>
Cuarzo	4	Arcilla	7	Hornblenda	2
Plagioclasas	9	Clorita	2	Biotita	3
Feldespato	7			Augita	1
				Minerales Opacos	3

Vidrio

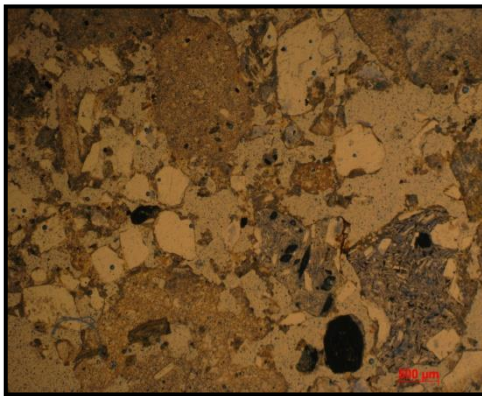
Fragmentos líticos

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

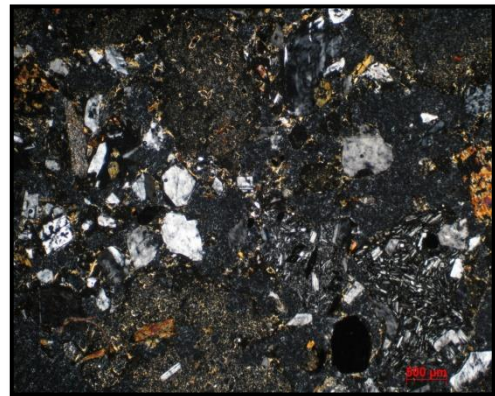
- ✚ **Cuarzo:** cristales subedrales- anedrales, de grano fino, algunos presenta tonalidades amarillentas.
- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** cristales de grano fino y fenocristales, presentan zonación, son tabulares, subedrales.
- ✚ **Feldespato:** fenocristales de forma tabular principalmente, subedrales, presentan un alto grado de corrosión.
- ✚ **Arcilla:** se encuentra principalmente en la matriz junto con el vidrio, y se origina principalmente por la alteración de vidrio y feldespatos.
- ✚ **Hornblenda:** cristales de grano fino, subedrales, de seis lados principalmente, con crucero en dos direcciones. Presentan alteración.
- ✚ **Biotita:** cristales subedrales, tabulares principalmente, presentan alteración y algunos cloritización.
- ✚ **Clorita:** se encuentra presente debida a la alteración de algunos minerales ferromagnesianos como la biotita. Está presente en forma de escamas.
- ✚ **Minerales Opacos:** se observan microcristales opacos, de forma eudral a subedral que posiblemente se trate de magnetita.
- ✚ **Augita:** se presenta en forma de cristales tabulares subedrales, que presentan alteración.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela*



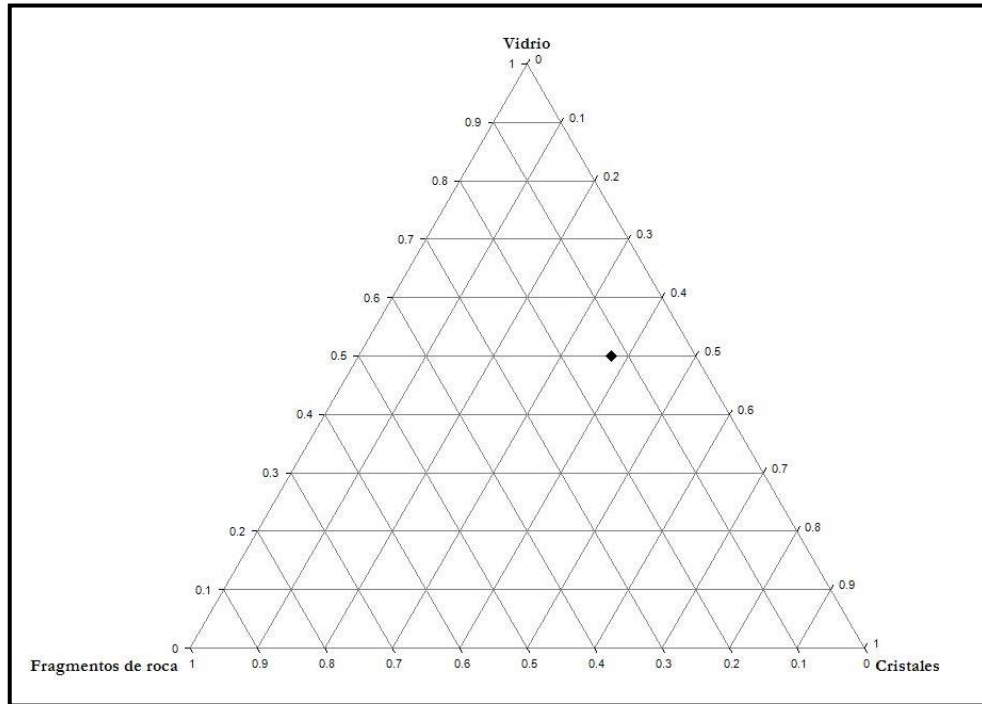
*Nicoles cruzados*



## PORCENTAJES PARA LA CLASIFICACIÓN DE TOBAS:

- ✚ Cristales: 30% --→ 37.5%
- ✚ Fragmentos líticos: 10% --→ 12.5
- ✚ Vidrio: 40% --→ 50%

## DIAGRAMA



ORÍGEN: Extrusivo Piroclástico

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Ácida

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Toba vítrea cristalina con fragmentos líticos.

OBSERVACIONES: La composición de los fragmentos de roca es variable se encuentran andesitas, tobas, y rocas cuarzo feldespáticas.

Se aprecian cristales de biotita muy alterados con tendencia a cloritizarse.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>B2-1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 476,600; Y: 2,145,621

DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La muestra presenta intemperismo, es compacta y cristalina. Tiene una textura porfídica se aprecian minerales de anfíboles euedrales; así como feldespatos y poca presencia de cuarzo.



*Color:* Gris claro al fresco y gris claro con pardo claro de color de intemperismo

*Índice de color:* Intermedio

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura (s):* Porfídica

*Matriz:* Está formada en su mayoría por microlitos de plagioclasa.

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Feldespato	16	Óxidos de Hierro	2	Biotita	12
Plagioclasa	48			Augita	7
Cuarzo	5			Minerales Opacos	5

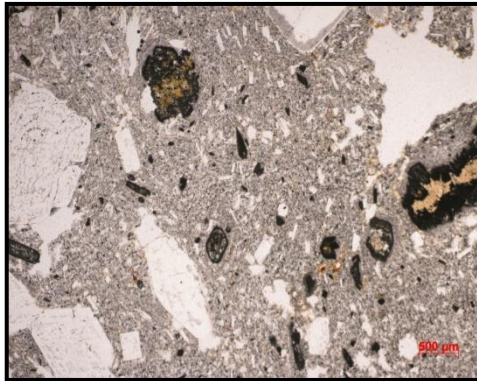
Vidrio: 5%

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

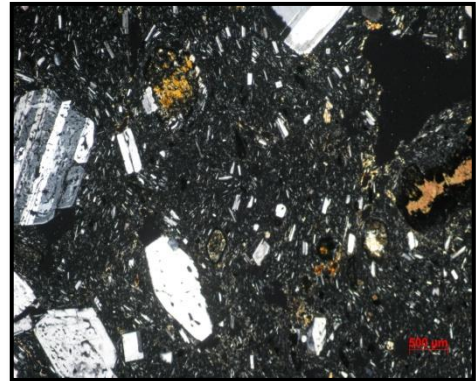
- ✚ **Cuarzo:** cristales subedrales, subredondeados de grano fino.
- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** fenocristales zonados evidenciando varios eventos volcánicos con disolución en los bordes, y micro cristales que forman la matriz.
- ✚ **Feldespato (Ortoclasa):** fenocristales corroídos subedrales y con disolución en los bordes. También en forma de microlitos.
- ✚ **Biotita:** los cristales de biotita se encuentran muy alterados, son tabulares, subedrales.
- ✚ **Augita:** cristales de grano fino, con ocho lados principalmente, crucero en dos direcciones, presentan en general una tonalidad parda claro.
- ✚ **Minerales Opacos:** se observan microcristales opacos, de forma eudral a subedral que posiblemente se trate de magnetita.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** está presente reemplazando algunos ferromagnesianos.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

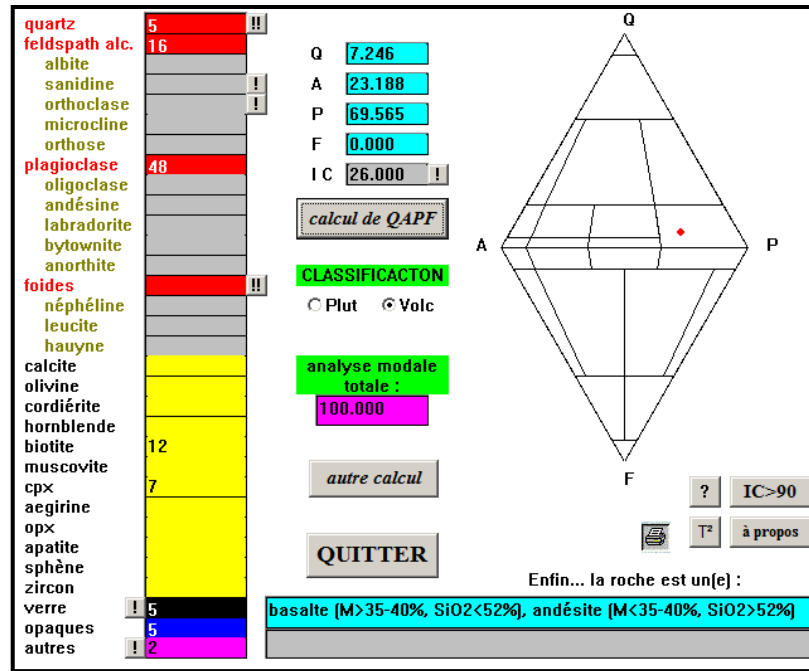
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Andesita de Biotita

OBSERVACIONES: Se observan algunos minerales con un alto grado de alteración por lo que resulta difícil determinarles características ópticas.

El vidrio presente en la muestra se encuentra en la matriz.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>B2-2</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 476,600; Y: 2,145,621

DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La roca es compacta, holocristalina porfídica y presenta un avanzado grado de intemperismo, se aprecian venas de óxidos de hierro. Se observan cristales de feldespatos, piroxenos tabulares, minerales opacos y poca presencia de cuarzo.



*Color:* Gris oscuro al fresco y el color de intemperismo gris oscuro y pardo.

*Índice de color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura (s):* Inequigranular porfídica

*Matriz:* Está formada por microlitos de plagioclasas y feldespato

Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Plagioclasa ( <i>Oligoclasa</i> )	40	Óxidos de Hierro	15	Augita	8
Cuarzo	8			Biotita	5
Feldespatos	20			Minerales Opacos	4

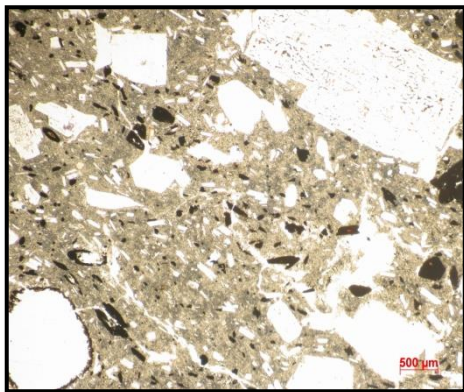


#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

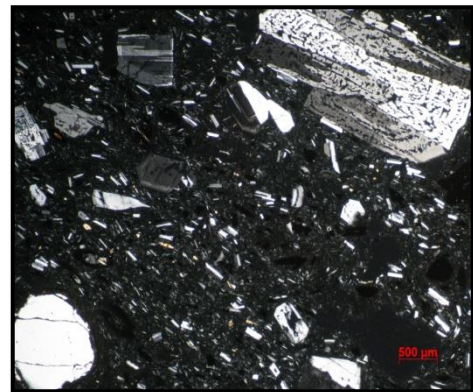
- ✚ **Cuarzo:** cristales de grano fino a medio, subedrales, subredondeados, presentan corona de reacción; algunos cristales de cuarzo se encuentran incorporados a fenocristales de plagioclasa.
- ✚ **Plagioclasa (Oligoclasa):** se encuentran fenocristales algunos de ellos zonados, también están conformando la matriz en forma de microlitos.
- ✚ **Feldespato:** fenocristales corroídos de forma tabular principalmente, subedrales; también se encuentran en la matriz en forma de microlitos.
- ✚ **Óxido de Hierro:** se encuentran reemplazando minerales ferromagnesianos, posiblemente anfíboles. Son de color rojo intenso que posiblemente corresponda a hematita.
- ✚ **Biotia:** cristales tabulares, de grano fino, subedrales; la mayoría se encuentra con un avanzado grado de alteración.
- ✚ **Augita:** cristales de grano muy fino a fino, presentan forma alargada y subedral de ocho lados.
- ✚ **Minerales Opacos:** cristales de grano fino, alargados principalmente, de forma eudral, posiblemente se traten de cristales de magnetita, aunque hay algunos que son minerales fantasma o pseudomorfos.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

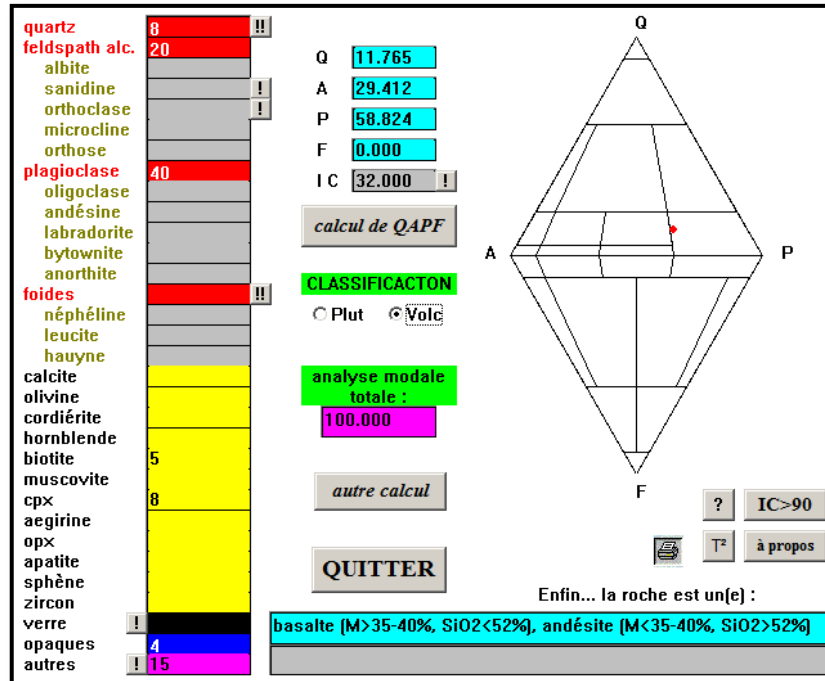
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Andesita

OBSERVACIONES: La roca presenta alteración e incorporación de cristales de cuarzo en el sistema evidenciando que la roca estuvo en contacto con un ambiente de mayor acidez al que le dio origen.

Los cristales de biotita presentan un relieve muy alto y en algunos de ellos se aprecia ligera alteración a clorita.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>B3-1</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 476,600; Y: 2,145,621

DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La roca es cristalina, porfídica, con fenocristales de feldespato, biotita y de otros máficos; hay un alto porcentaje de cuarzo y plagioclasas.

*Color:* al fresco gris claro; y de intemperismo gris con tonalidades ocre.

*Índice de color:* Félsico

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura (s):* Inequigranular microlítica

*Matriz:* microlitos de plagioclasa y escaso vidrio.

Mineralogía:

<b>Primarios</b>	<b>%</b>	<b>Secundarios</b>	<b>%</b>	<b>Accesorios</b>	<b>%</b>
Plagioclasa	55	Sericita	2	Hornblenda	10
Cuarzo	3			Augita	5
Feldespato	10			Biotita	8
				Minerales Opacos	4



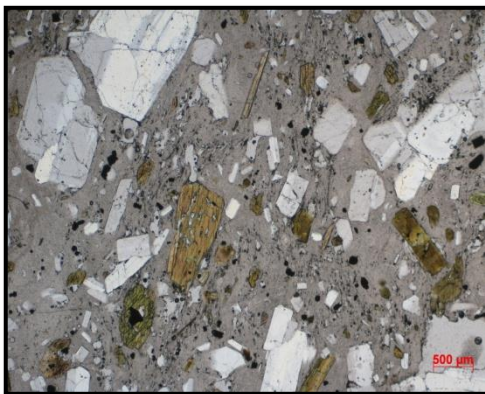
Vidrio: 3%

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

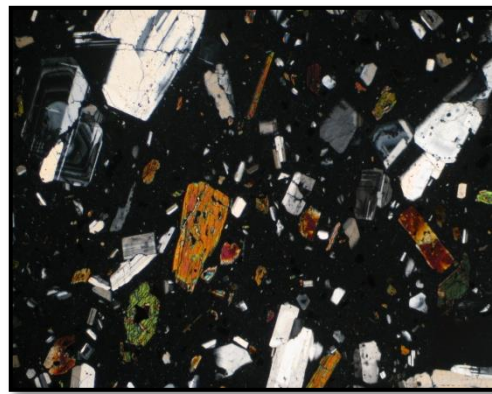
- ✚ **Cuarzo:** cristales subredondeados, subedrales, algunos cristales presentan coloración amarillenta.
- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** fenocristales tabulares, subedrales, se encuentran corroídos y zonados además de cristales de grano fino con forma subedral a eudral, tabulares. También están presentes en la matriz en forma de microlitos;
- ✚ **Feldespato:** cristales de grano medio a fino, corroídos, presentan forma subedral tabulares.
- ✚ **Sericita:** se encuentra intersticialmente, presente debida a la alteración de los feldespatos.
- ✚ **Hornblenda:** cristales subedrales, con crucero en dos direcciones formando ángulos de  $65^\circ$  aproximadamente, la mayoría de los cristales presentan alteración y están deteriorados al grado de sólo apreciar algunas de sus caras.
- ✚ **Augita:** cristales subedrales, tabulares principalmente, color verde claro.
- ✚ **Biotita:** cristales subedrales, tabulares, de grano fino a medio, algunos presentan alteración y varían las tonalidades desde pardo a verde.
- ✚ **Minerales Opacos:** cristales subedrales a eudrales, son de grano fino, posiblemente se trate de magnetita.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

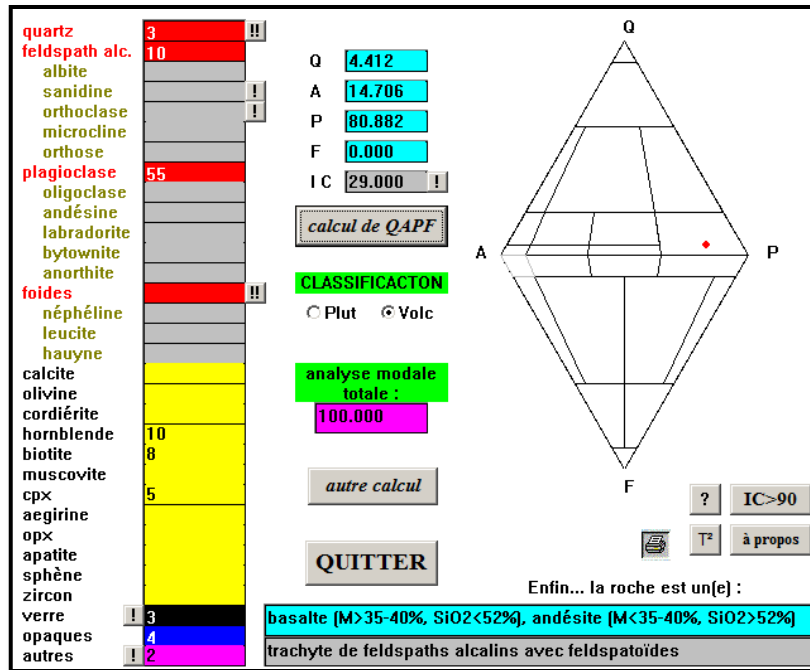
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



## DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Andesita de Hornblenda

OBSERVACIONES: Se observan esquirlas de vidrio.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>B3-2</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 476,600; Y: 2,145,621

DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: La muestra corresponde a un material compacto, de forma subangulosa, cristalino; su mineralogía corresponde a fenocristales de feldespatos, así como máficos y poco contenido de cuarzo. Tiene poca alteración.

*Color:* Gris oscuro

*Índice de color:* Máfico.



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura (s):* Inequigranular porfirítica.

*Matriz:* microlítica compuesta por feldespatos y plagioclasas.

Mineralogía:

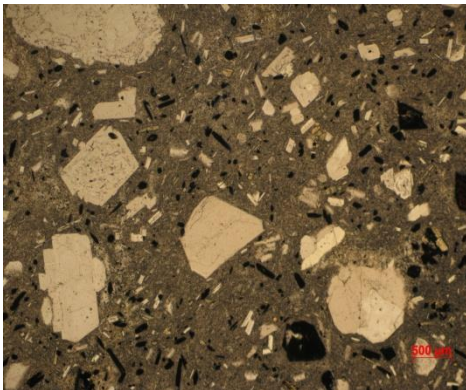
Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Plagioclasas	55	Sericita	8	Biotita	4
Cuarzo	5	Óxidos de Hierro	2	Augita	3
Feldespato	15			Minerales Opacos	8

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

- ✚ **Cuarzo:** cristales subredondeados, algunos presentan coloración amarillenta, bordes engolfados tal como se muestra en la microfotografía 2.
- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** cristales de diferente tamaño, hay microlitos que componen la matriz; así como cristales de grano medio dispersos en la masa de cristales que son tabulares subedrales y presentan corrosión; y también se encuentran glomeropórfidos de plagioclasas zonadas.
- ✚ **Feldespato:** cristales de grano medio, tabulares, subedrales; presentan corrosión en el interior.
- ✚ **Biotita:** cristales de grano fino, subedrales – anedrales, tabulares, algunos presentan cloritización.
- ✚ **Augita:** cristales de grano fino, subedrales, tabulares; presentan coloraciones amarillentas.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran reemplazando minerales ferromagnesianos.
- ✚ **Sericita:** se encuentra en los intersticios de los cristales.
- ✚ **Minerales Opacos:** cristales subedrales a eudrales, son de grano fino, posiblemente se trate de magnetita.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

*Luz paralela(1)*

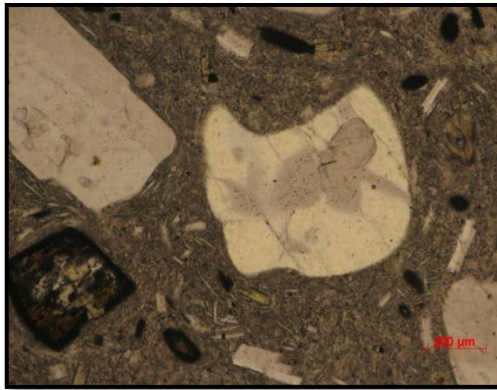


*Nicoles cruzados(1)*

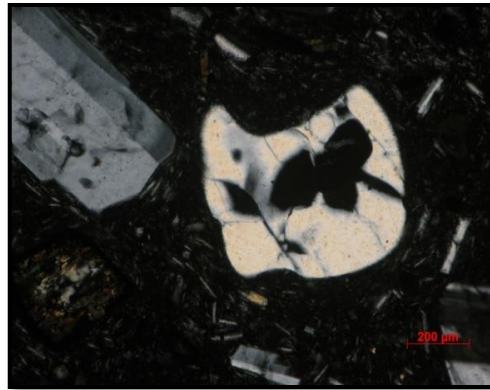




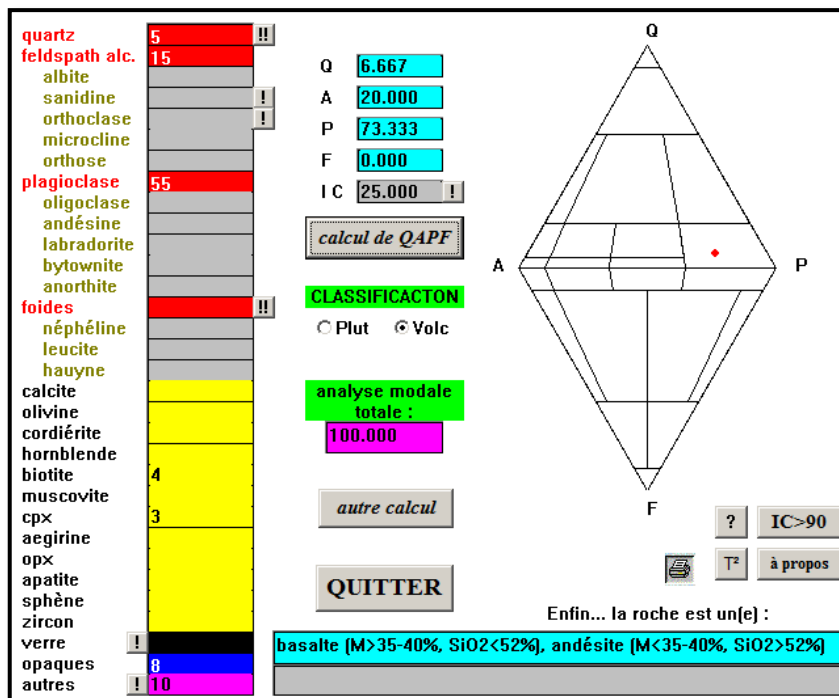
*Luz paralela(2)*



*Nicoles cruzados(2)*



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedia

NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Andesita

OBSERVACIONES: Se observan cristales euedrales, tabulares y alargados de minerales muy alterados cuyas características ópticas son difíciles de distinguir.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

TALUDES 3<sup>RA</sup> SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

NO. DE MUESTRA: T<sub>B3-3</sub>

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

X: 476,600; Y: 2,145,621

DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA: Es una roca con fenocristales de feldespato y gran cantidad de óxidos de fierro, se observa angulosa debido a poco transporte.

*Color:* gris claro con tonalidades marrón claro.

*Índice de color:* Intermedio.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

*Textura (s):* Inequigranular glomeroporfídica.

*Matriz:* microlítica compuesta principalmente por plagioclasa.



Mineralogía:

Primarios	%	Secundarios	%	Accesorios	%
Plagioclasa	55	Óxido de Fierro	2	Biotita	4
Cuarzo	3	Sericita	5	Augita	2
Feldespato	18			Minerales Opacos	8

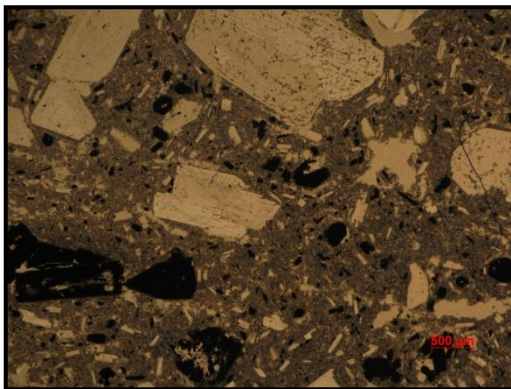
Vidrio: 3%

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES OBSERVADOS EN LA LÁMINA DELGADA:

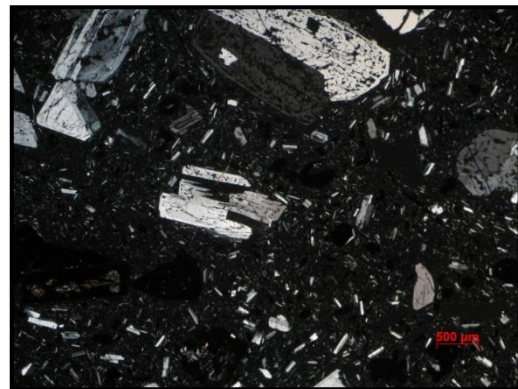
- ✚ **Cuarzo:** cristales subredondeados, subedrales – anedrales, de grano medio. Están fracturados.
- ✚ **Plagioclasa (Andesina):** cristales de diferente tamaño. Se presentan fenocristales corroídos, tabulares, subedrales y con zonación oscilatoria; además cristales de grano medio a fino tabulares, subedrales presentes en la masa de cristales.
- ✚ **Feldespato:** cristales de grano medio, están corroídos, tabulares principalmente; algunos forman glomeropórfidos.
- ✚ **Óxidos de Hierro:** se encuentran reemplazando minerales ferromagnesianos.
- ✚ **Sericita:** se encuentra intersticialmente, es de grano muy fino.
- ✚ **Biotita:** cristales subedrales – anedrales, tabulares, presentan alto grado de alteración.
- ✚ **Augita:** cristales de grano fino, subedrales – euedrales, presentan ocho lados principalmente y tonalidades pardo claro.
- ✚ **Minerales Opacos:** cristales subedrales a euedrales, son de grano fino, posiblemente se trate de magnetita.

#### MICROFOTOGRAFÍAS:

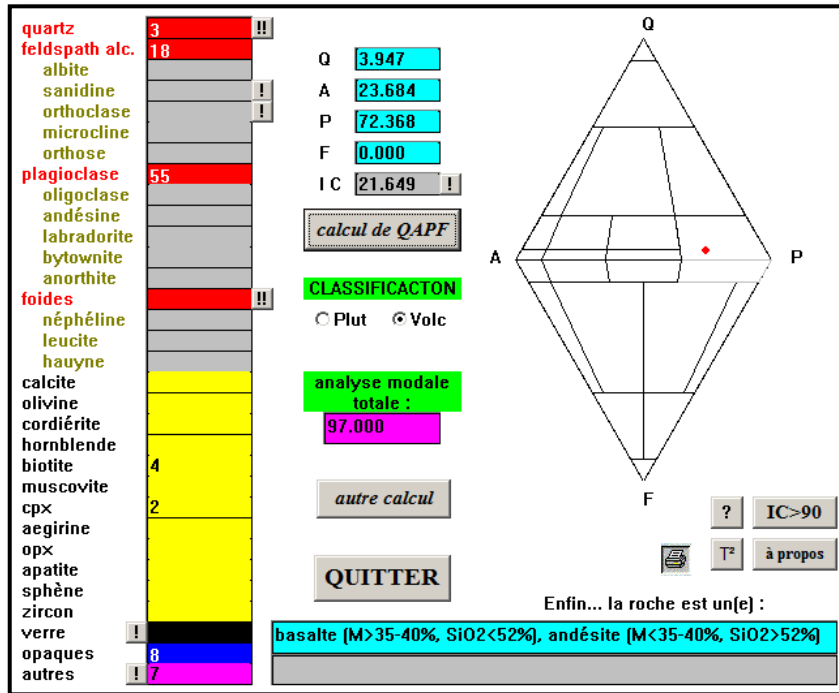
*Luz paralela*



*Nicoles cruzados*



DIAGRAMA



ORÍGEN: Roca Ígnea Extrusiva.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Intermedio.

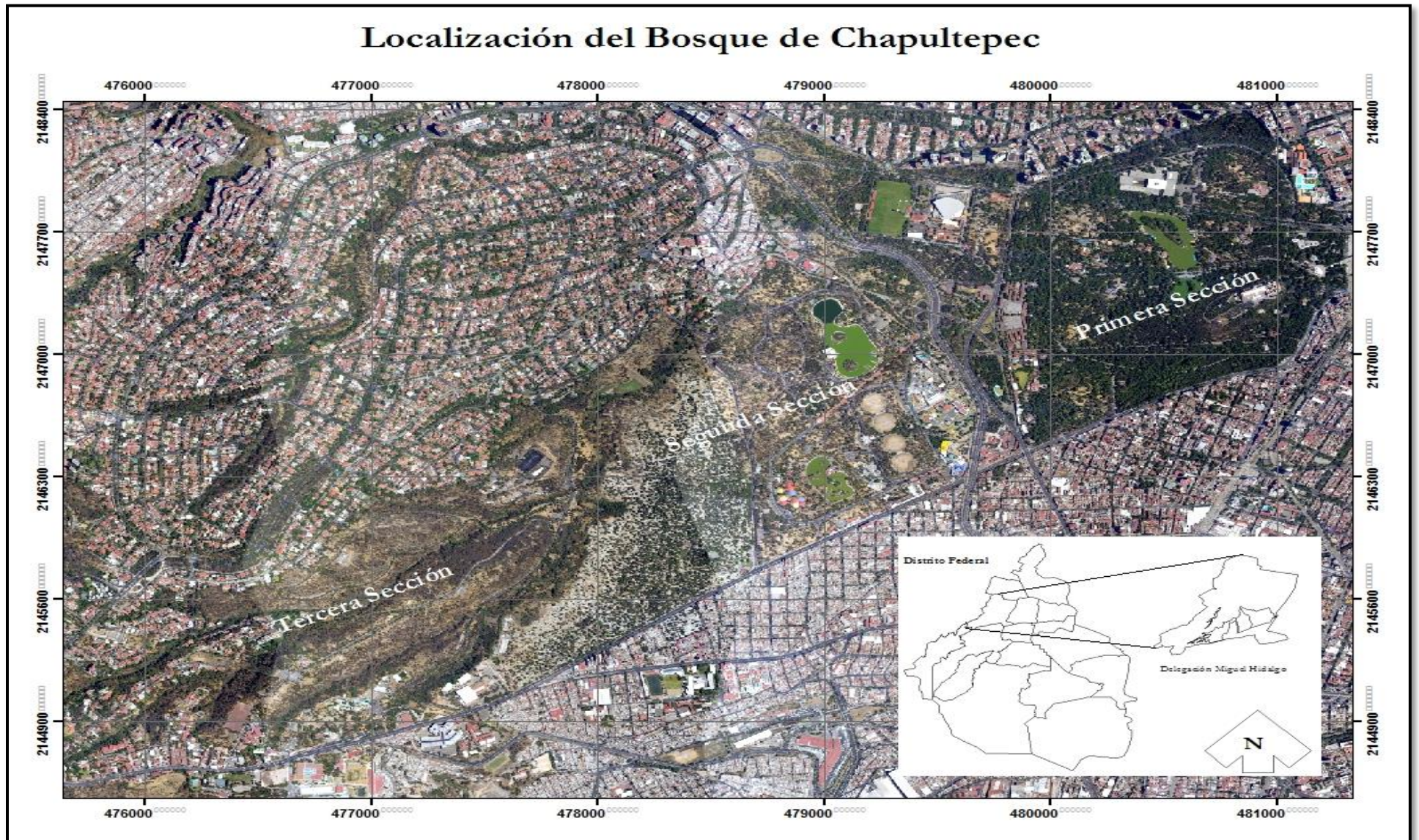
NOMBRE DE LA ROCA (CLASIFICACIÓN): Andesita.

OBSERVACIONES: Se aprecia un alto grado de oxidación. Además minerales eudrales muy alterados que se denominan pseudomorfos o fantasma.



## ANEXO II

### Localización del Bosque de Chapultepec

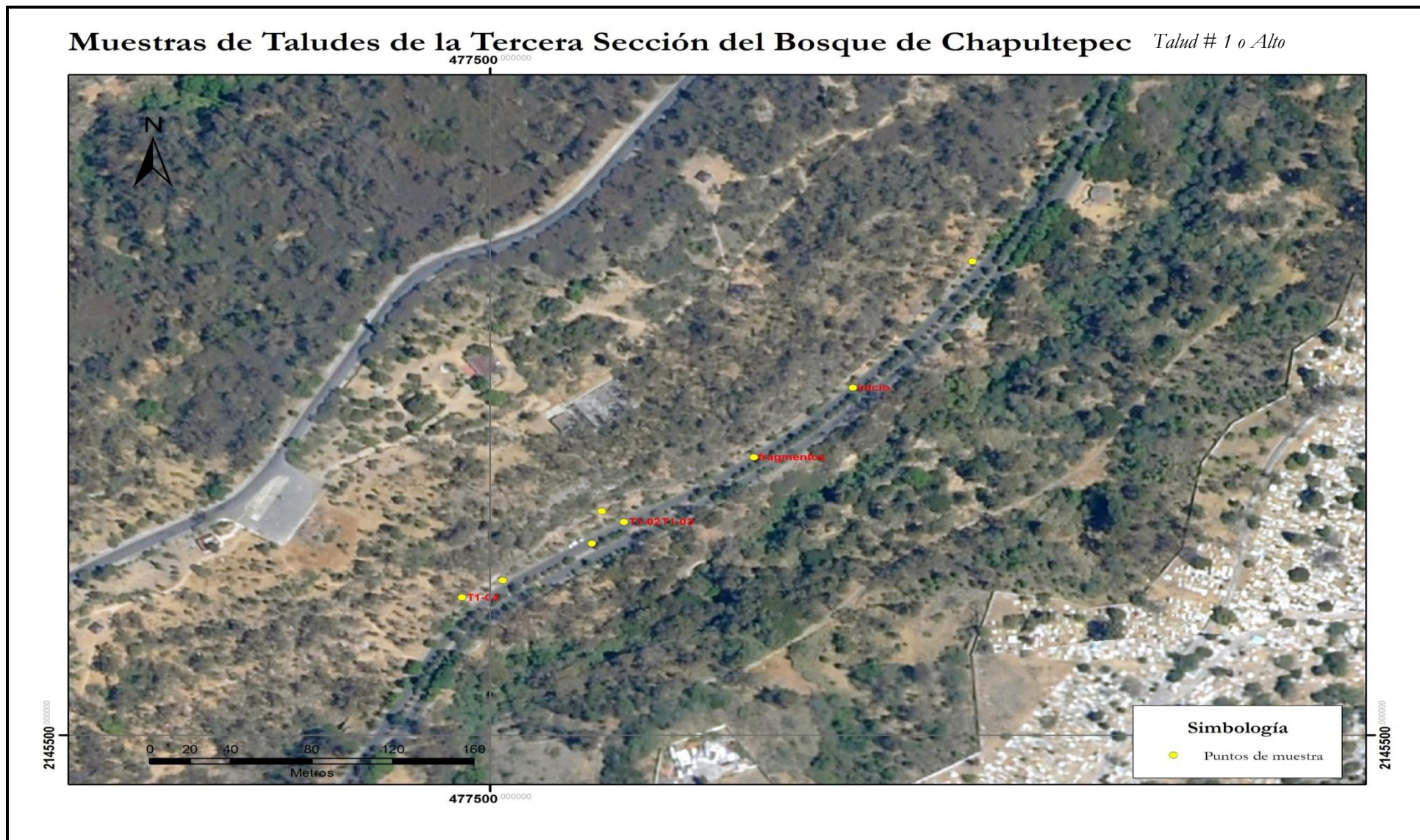


Mapa 1



# ANEXO II

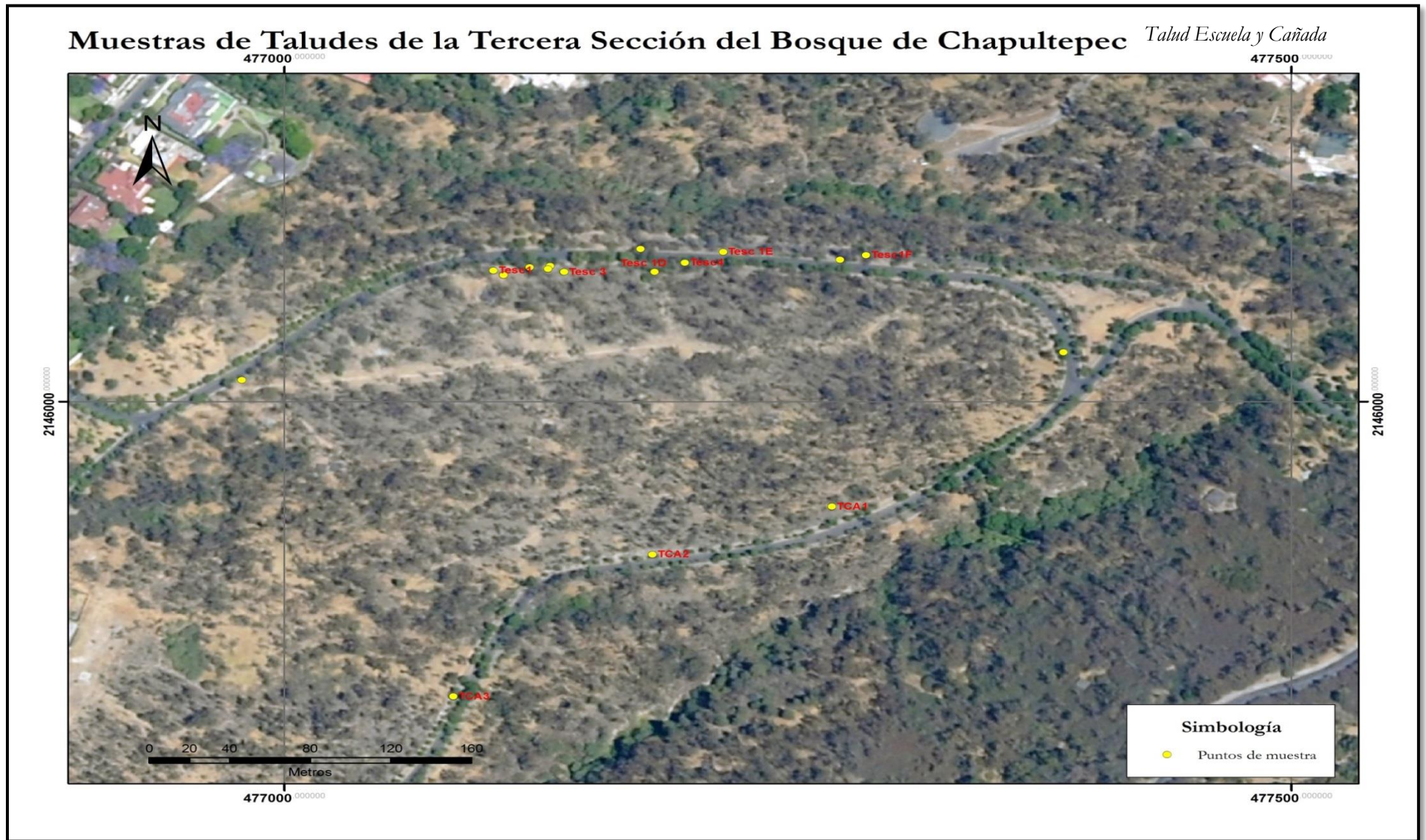
## Muestras de Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec *Talud # 1 o Alto*



Mapa 2



# ANEXO II

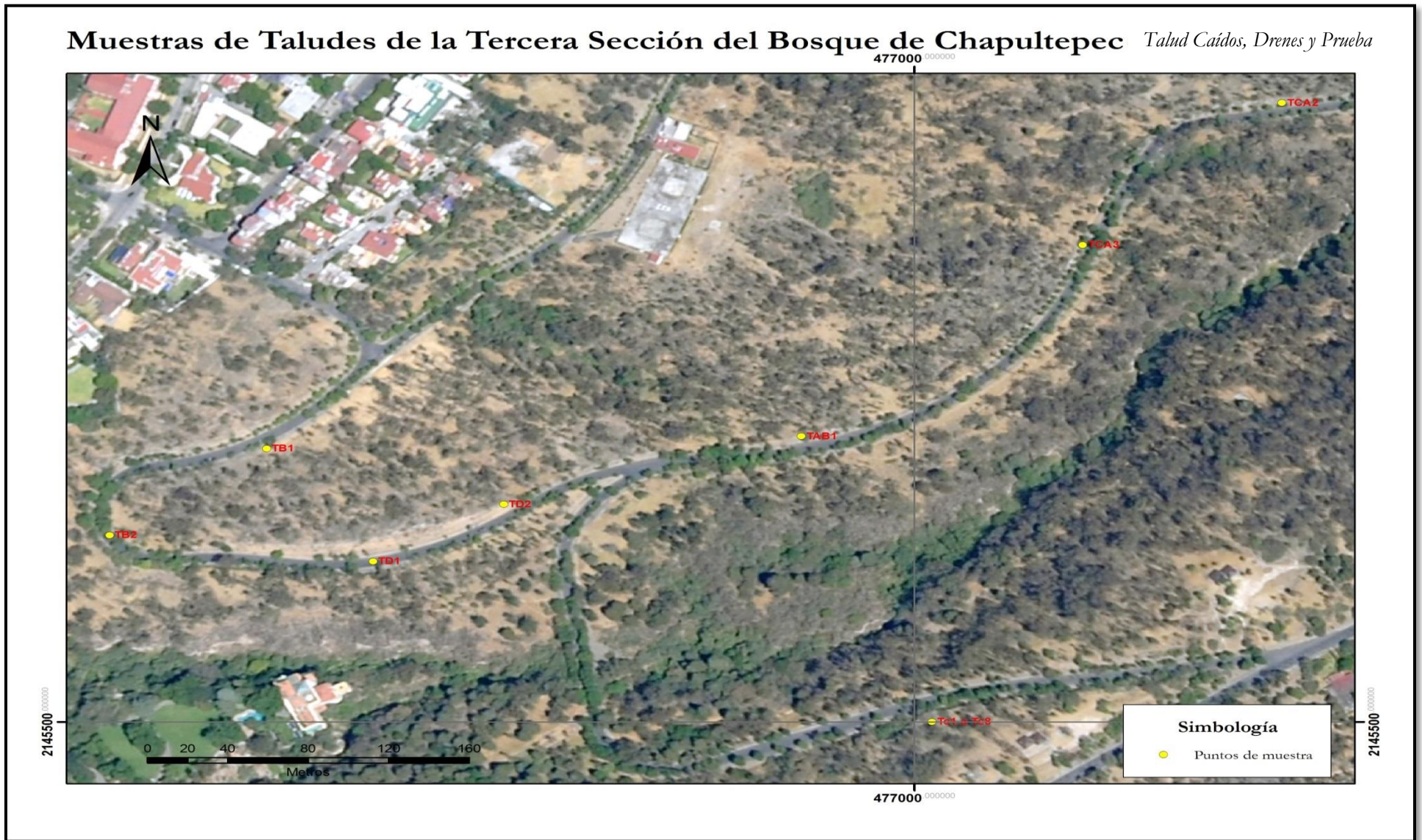


Mapa 3



# ANEXO II

## Muestras de Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec *Talud Caídos, Drenes y Prueba*



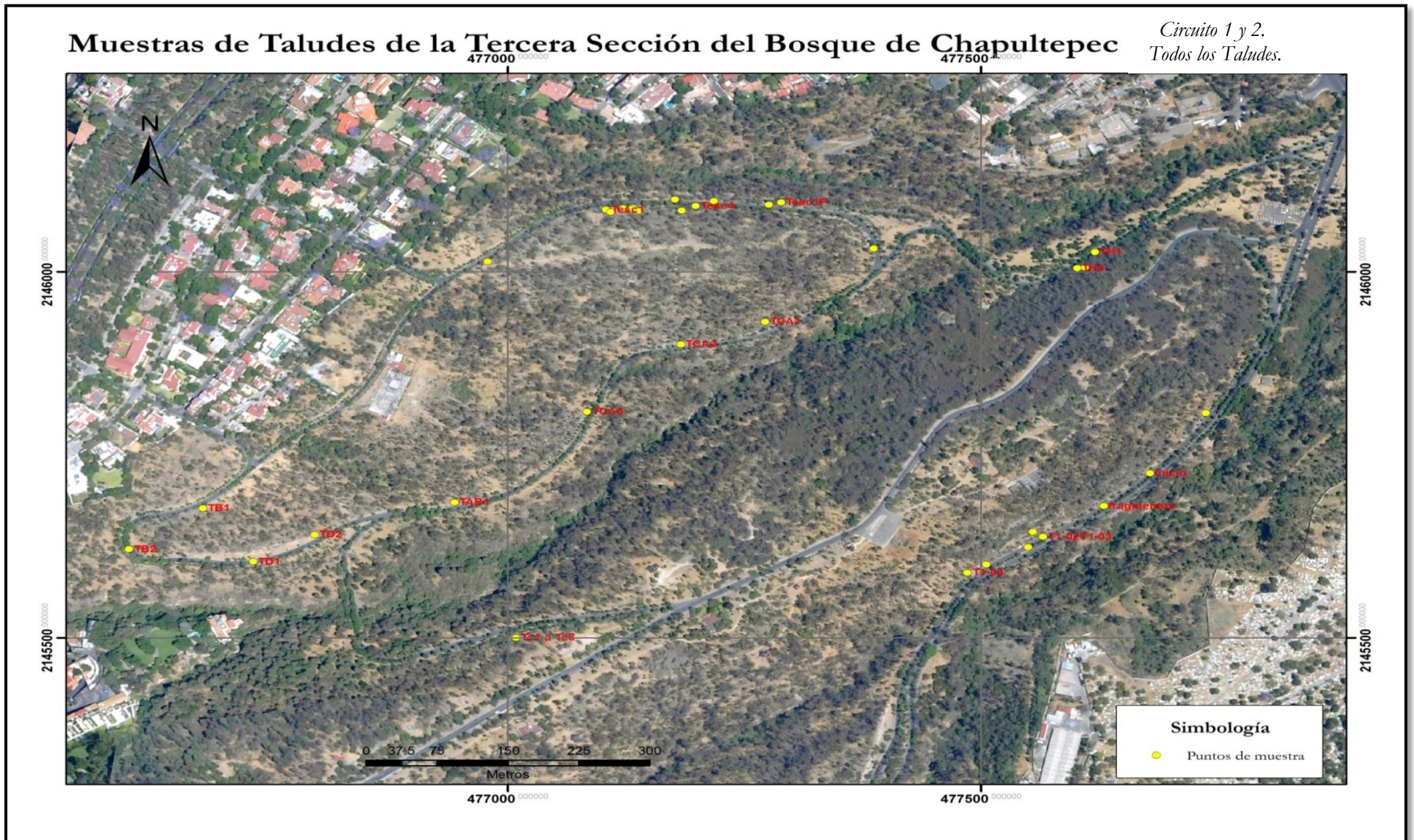
Mapa 4



# ANEXO II

## Muestras de Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec

*Circuito 1 y 2.  
Todos los Taludes.*



Mapa 5