

00364

2

2ej'

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

GEOLOGIA DEL VOLCAN DE COLIMA,  
ESTADOS DE JALISCO Y COLIMA

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS (GEOLOGIA)

PRESENTA: SERGIO RAUL RODRIGUEZ ELIZARRARAS

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1991



## **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 está 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.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	1
PROLOGO .....	3
INTRODUCCION .....	5
Localizacion y vias de acceso Objetivos y metodos de trabajo Trabajos previos Fisiografia	
MARCO GEOLOGICO REGIONAL .....	19
ESTRATIGRAFIA .....	25
Basamento anterior a los volcanes de Colima Grupo Nevado Andesita La Membrillera Avalancha Los Lobos Avalancha San Antonio Andesita La Lumbre Lahares Cofradia Andesita El Flavón Gravas Cordobán y taludes	
ESTRUCTURA GEOLOGICA .....	74
EVOLUCION PETROGENETICA .....	80
RIESGO VOLCANICO .....	86
DISCUSION Y CONCLUSIONES .....	93
AGRADECIMIENTOS .....	96
BIBLIOGRAFIA CITADA .....	98

## ILUSTRACIONES

Figura 1 Mapa de localización del área de estudio

Figura 2 Principales centros eruptivos del Complejo Volcánico de Colima

Figura 3 Marco tectónico del área de estudio

Figura 4 Mapa geológico generalizado de la región de Colima y sur del estado de Jalisco

Figura 5 Columna estratigráfica esquematizada del Volcán de Colima

Figura 6 Relaciones de contacto de la formación Atenquique

Figura 7 Relaciones de contacto en el afloramiento tipo de la avalancha Los Lobos

Figura 8 Análisis comparativo de algunas calderas de avalancha

Figura 9 Diagramas de Harker de las muestras analizadas

Figura 10 Comportamiento geoquímico-estratigráfico de las muestras analizadas

Tabla 1 Análisis de roca entera de rocas del basamento cretácico

Tabla 2 Análisis modales de muestras del basamento cretácico, andesita La Calle y formación Atenquique:

Tabla 3 Análisis de roca entera de muestras de la andesita La Calle y formación Atenquique

Tabla 4 Análisis modales de la toba Los Mazos

Tabla 5 Análisis de roca entera de la toba Los Mazos

Tabla 6 Análisis modales de la dacita Loma Alta, andesita La Membrillera, avalancha Los Lobos y avalancha San Antonio

Tabla 7 Análisis de roca total de muestras de la dacita Loma Alta y andesita La Membrillera

Tabla 8 Análisis modales de muestras de la andesita La Lumbre, lahares Cofradia y andesita El Playon

Tabla 9 Análisis de roca total de muestras de la andesita La Lumbre

Tabla 10 Análisis de roca total de muestras de la andesita El Playón

Lámina 1 Mapa geológico

Lámina 2 Secciones estructurales

Lámina 3 Nevado de Colima y formación Atenquique

Lámina 4 Bloque en la avalancha Los Lobos y pilones (hummocks), formados por la avalancha San Antonio.

Lámina 5 Los Hijos del Volcán, el Volcán de Colima y Los Volcancitos, vistos desde el SE.

Lámina 6 Mapa de riesgo para derrames piroclásticos, lahares y depósitos de tefra.

Lámina 7 Mapa de riesgo para derrames de lava, explosiones freáticas, avalanchas y surgencia basal.

## RESUMEN

El Volcán de Colima ( $103^{\circ} 37' W$ ,  $19^{\circ} 30' 45'' N$ ), se ubica en el sector suroccidental de la Faja Neovolcánica Transmexicana, y con base en su historia eruptiva reciente, es considerado como el volcán más activo de México.

De acuerdo con su estructura, se clasifica como un típico volcán compuesto o estratovolcán, característico de las márgenes continentales adyacentes a zonas de subducción.

En el presente estudio se proponen informalmente 11 unidades litoestratigráficas, las cuales resultaron de la actividad sucesiva de tres estratovolcanes: El Nevado de Colima, el Paleovolcán de Colima y el Volcán de Colima actual. Esta secuencia descansa sobre un espesor considerable de rocas volcánicas del Terciario así como sobre un basamento de rocas volcánicas y sedimentarias del Cretácico.

Las unidades litoestratigráficas propuestas, de la más antigua a la más reciente, son las siguientes: El grupo Nevado, el cual está conformado por la andesita La Calle, la formación Atenquique, la toba Los Mazos y la dacita Loma Alta. Estas unidades litoestratigráficas tienen un volumen aproximado de  $560 \text{ km}^3$  y se depositaron entre el Pleistoceno medio y el Pleistoceno tardío.

Sobreyacen al grupo Nevado la andesita La Membrillera, la avalancha Los Lobos y la avalancha San Antonio. Estas tres unidades se derivaron del Paleovolcán de Colima durante

el periodo comprendido entre 10,000 y 4,000 años A.P., y constituyen un volumen de aproximadamente 13 km<sup>3</sup>.

Las unidades que se han derivado del actual Volcán de Colima, abarcan aproximadamente los últimos 4,000 años de la historia eruptiva y son las siguientes: La andesita La Lumbre, los lahares Cofradía, la andesita El Playón y las gravas Cordobán, estas suman un volumen estimado de 6.85 km<sup>3</sup>.

Las fallas y fracturas que aparentemente afectan al edificio volcánico del Colima, tienen dos orientaciones predominantes, una de norte a sur que coincide con el alineamiento de la cadena volcánica Cántaro- Nevado- Colima- Hijos del Volcán y otra, de noreste a suroeste, que coincide con el alineamiento de los conos parásitos de Los Volcancitos.

Las composiciones química y petrográfica promedios de las rocas de los volcanes de Colima han sufrido pocos cambios. Predominan de una manera importante las rocas andesíticas de olivino y piroxenos. Sin embargo, es posible observar cambios evidentes en los límites de las unidades litoestratigráficas, especialmente en los contenidos de MgO, CaO, FeO\* y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Finalmente, se elaboraron dos mapas de riesgo volcánico, en los que se tomó en cuenta los diferentes tipos de erupción que se esperan en el Colima, así como la distribución que los productos alcanzarían dentro del área de estudio.

PROLOGO

México es un país de volcanes, cuya presencia ha dotado a nuestro territorio con unos paisajes de belleza singular.

Desde el siglo pasado y principios de este, varios estudiosos de las ciencias de la tierra y de la volcanología en particular, como Mariano Bárcena, Ezequiel Ordóñez y Paul Waitz, entre otros, aportaron importantes avances en el conocimiento de algunos volcanes mexicanos.

De la lista de volcanes activos existentes en México, uno de ellos, El Colima, conocido también como Volcán de Fuego, se ha caracterizado por una constante actividad en épocas históricas recientes que lo ha convertido en foco de atención en múltiples ocasiones, por parte de diferentes investigadores dedicados al estudio de los fenómenos volcánicos en nuestro país y en el mundo.

El Volcán de Colima se considera actualmente el más activo de México, y es, tal vez, junto con el Parícutin, el que más interés ha despertado en la comunidad internacional de volcanólogos. Esto se debe, sin lugar a dudas, a sus variadas y constantes manifestaciones, así como a su amplio registro histórico que suma unos 400 años.

Una parte muy importante de este archivo histórico se debe a las observaciones realizadas por los eminentes naturalistas Don José María Arreola y Don Severo Díaz, quienes estuvieron encargados de los observatorios volcanológicos que funcionaron en las ciudades de Zapotlán



el Grande (hoy Ciudad Guzmán) y en Colima, durante el período de 1894 a 1914.

Sin embargo, salta a la vista que entre los múltiples artículos publicados e informes técnicos que se han escrito sobre El Colima, no existe hasta la fecha uno que trate sobre la geología y estratigrafía básicas. Estos aspectos deben de considerarse fundamentales para el desarrollo de modelos evolutivos de cualquier aparato volcánico, así como información elemental para la elaboración de mapas, que permitan conocer la probable distribución de los productos generados por los distintos tipos de actividad volcánica, es decir, mapas de riesgo volcánico.

Con el objetivo de llenar este vacío tan importante en el conocimiento de uno de los volcanes más peligrosos de México, se consideró prioritario dentro de los proyectos del Instituto de Geología de la UNAM, el levantamiento de un mapa geológico a semidetalle, así como el establecimiento de la secuencia estratigráfica, y la definición de las unidades litoestratigráficas cartografiadas. Los primeros resultados de ese estudio se muestran en el presente trabajo de tesis, siendo una de sus metas fundamentales, la de servir como una base geológica para la realización de futuros estudios que tiendan a despejar de una manera más clara las múltiples incógnitas que aun persisten en el conocimiento de este complejo y majestuoso volcán.

## INTRODUCCION

### Localización y vías de acceso

El área de estudio abarca una superficie de aproximadamente 500 km<sup>2</sup>, entre las coordenadas 103° 28' - 103° 43' longitud oeste y 19° 23' - 19° 35' latitud norte, ubicándose en su mayoría en el extremo meridional del Estado de Jalisco y, en menor proporción, en el Estado de Colima en su sector septentrional (Figura 1). El Volcán de Colima (103° 37' W - 19° 30' 45'' N), ocupa la parte central del área de estudio y tiene una altitud de 3800 m.s.n.m., y constituye el rasgo más meridional de una cadena volcánica con alineamiento N - S, conformada por el Volcán El Cántaro al norte, el Nevado de Colima en la parte central, y el Volcán de Colima en el sur.

La Carretera Federal 54, que une las ciudades de Guadalajara, Colima y Manzanillo, es la vía de comunicación mas importante, que actualmente se está ampliando a cuatro carriles. Asimismo, el área cuenta con una vía de ferrocarril que une las ciudades ya mencionadas con estaciones en Ciudad Guzmán y Colima, principalmente.

La Carretera Estatal 25, totalmente asfaltada, comunica los poblados de Queseria, San Antonio, Comala y Colima.

Las vías de acceso a las partes mas próximas al volcán son principalmente caminos madereros los cuales, durante la estación de lluvias, suelen quedar total o parcialmente intransitables y, por este motivo, gran parte de ellos están

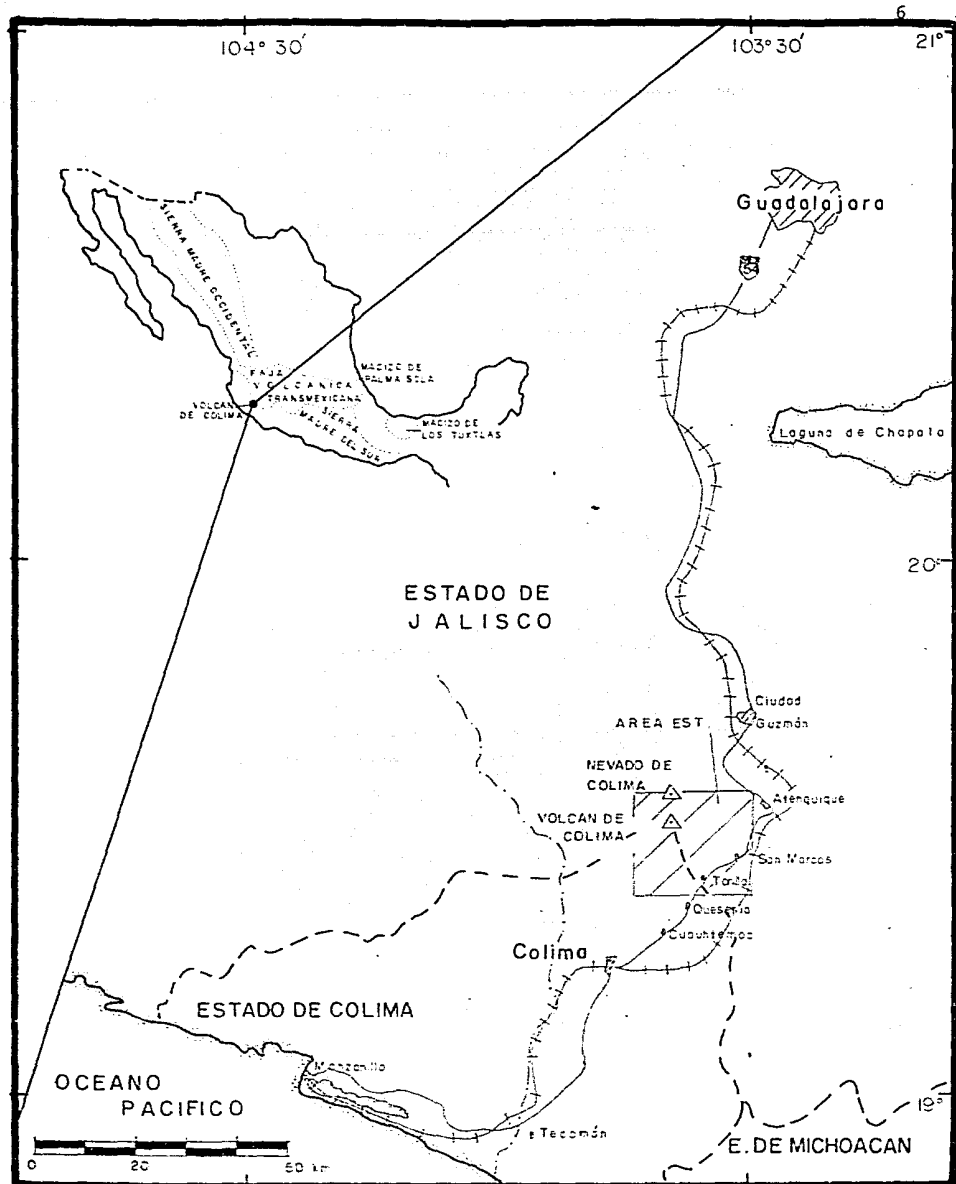


Figura 1.- Mapa de localización del área de estudio

abandonados. El mas importante de estos caminos de terraceria se desvia de la Carretera Federal 54, aproximadamente a 2 km al sur del poblado de Atenquique, y termina a la altura de 3.200 m.s.n.m., en el lugar conocido como El Playon, entre la pared de la antigua caldera y el flanco septentrional del Volcán de Colima.

#### Objetivos y método de trabajo

El presente estudio fue elaborado como tema de tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias (Geología), dentro del programa de posgrado de la Facultad de Ciencias-Instituto de Geología de la UNAM.

Los objetivos que se persiguieron fueron los siguientes:

a) La elaboracion de un mapa geológico a la escala de 1:50,000, que abarca una superficie aproximada de 500 km<sup>2</sup>, el cual cubre a semidetalle las zonas central y meridional del Volcán de Colima y, en forma generalizada, la parte meridional del Nevado de Colima.

b) El establecimiento de la secuencia estratigráfica utilizando unidades litoestratigráficas informales con base en el principio de la superposición.

c) La descripcion de los principales rasgos estructurales del Volcán de Colima y su asociacion con la actividad volcánica.

d) La interpretación, con base en la secuencia estratigráfica, de los análisis químicos realizados en el

presente estudio, así como aquellos publicados con anterioridad, tanto químicos como radiométricos, en lavas y unidades piroclásticas.

e) La recomendación de algunos lineamientos básicos que, desde el punto de vista geológico, aporten información para la vigilancia y monitoreo del volcán, así como para la mitigación de los riesgos que pudieran presentarse en erupciones futuras.

El estudio fue iniciado con la adquisición de la información bibliográfica, cartográfica y aerofotográfica disponible para la zona de estudio. Posteriormente se procedió a su clasificación, estudio e interpretación con la finalidad de tener un panorama general del área.

El mapa base inicial a la escala de 1:25,000 se obtuvo a partir de la amplificación, mediante un proceso de fotocopiado, de las cartas topográficas escala 1:50,000 Venustiano Carranza E-13-B-24 (CETENAL, 1982), Ciudad Guzmán E13B25 (INEGI, 1987), Comala E-13-B-34 (INEGI, 1988) y Cuauhtemoc E13B35 (DETENAL, 1988), cuyas partes cubren el área de estudio.

Mediante la interpretación de las fotografías aéreas, se integró un mapa fotogeológico preliminar, que sirvió de base para el primer periodo de trabajo de campo. La duración de esta primera fase de gabinete fue de seis meses.

La siguiente etapa del trabajo se desarrolló en su totalidad en el campo y tuvo una duración de dos meses. Su fase inicial, consistió fundamentalmente en el reconocimiento generalizado del área, el cual tuvo como

objetivo distinguir los rasgos mas característicos de las unidades de roca ya descritas en otros trabajos, así como de las utilizadas en el mapa fotogeológico preliminar.

La siguiente etapa del trabajo, se desarrolló íntegramente en el gabinete y las actividades consistieron en la clasificación y ordenamiento de la información colectada en el campo, así como la reinterpretación de las fotografías aéreas.

Para rectificar el mapa geológico preliminar, paralelamente se hicieron algunas determinaciones petrográficas de lavas no reportadas en trabajos anteriores. La duración de esta segunda fase de gabinete, fue de seis meses.

La última etapa de campo tuvo una duración de dos meses y consistió en la verificación final del mapa geológico, así como en trabajos de reconocimiento geológico de las áreas mas alejadas que por razones de tiempo, no se incluyeron en la primera jornada de campo.

La última etapa del desarrollo del estudio, fue tanto de gabinete como de laboratorio y consistió en el ordenamiento e integración de los datos obtenidos en campo, así como la preparación de las muestras para su estudio petrográfico (láminas delgadas de roca) y geoquímico (análisis por fluorescencia de rayos X y absorción atómica). Los análisis fueron realizados por José Luis Macías durante su permanencia en la Universidad de Florencia, Italia; y por Steve Nelson de la Universidad de Tulane en New Orleans.

Otros fueron tomados de artículos publicados con anterioridad (Tablas 1-6).

El mapa geológico final (Lámina 1) se elaboró mediante la integración de los datos de campo y la interpretación fotogeológica. Inmediatamente después se procedió a la construcción de las secciones estructurales (Lámina 2) y la columna estratigráfica generalizada, propuesta para el Volcán de Colima. Esta última etapa tuvo una duración de ocho meses, dentro de la cual se incluyó la elaboración del informe final.

#### Trabajos previos

La bibliografía existente sobre el Volcán de Colima se considera como una de las más amplias y actualizadas, comparándola con otros volcanes mexicanos de sus mismas características. No obstante, es necesario mencionar que se carece en gran medida de datos fidedignos y científicamente documentados acerca de las erupciones registradas con anterioridad al año de 1869, cuando cambió radicalmente la topografía del volcán, al crecer dos conos adventicios en el flanco nororiental, conocidos como Los Volcancitos. Al respecto, Waitz (1934) señala:

Algo más se sabe, naturalmente, de las erupciones que se verificaron después de la conquista... casi siempre se restringen las noticias sobre estos fenómenos, en primer lugar sólo a verdaderas catástrofes, y en segundo lugar, a la fecha del acontecimiento y a los destrozos causados por ellas, y si alguna que otra vez el cronista nos da mayores detalles de los sucesos, los ve con ojos de testigos aterrORIZADOS y los describe a manera

del hombre poco erudito en la materia, de tal modo, que no podemos tener fe en sus relatos, que no sirven para darnos cuenta ni del verdadero tamaño y carácter de los fenómenos ni de su sucesión.

Por consiguiente, en este apartado, sólo se mencionarán las publicaciones de carácter científico más importantes, que han aparecido desde mediados del siglo pasado hasta nuestros días.

Sartorius (1871) hace una breve descripción de la erupción ocurrida en 1869, durante la cual surgieron los conos parásitos conocidos como Los Volcancitos. Esta publicación, no deja de tener algunas inexactitudes muy propias de la época, como son la ubicación del volcán y su altura.

Posteriormente, Bárcena (1887) en su "Informe sobre el estado actual del Volcán de Colima", hace una síntesis de los conocimientos más importantes acumulados hasta esa fecha, así como de las observaciones que él mismo hizo durante sus trabajos de campo. Ordóñez (1897), describe los rasgos más importantes que observó durante una ascensión realizada al Volcán de Colima desde la Hacienda de Queseria. En este trabajo, el autor se refiere a los volcanes de Colima, como una larga cadena de montañas, dependiente del sistema de la Sierra Madre Occidental, dato sin lugar a duda incorrecto.

A partir de las observaciones realizadas desde el seminario de Zapotlán el Grande (hoy Ciudad Guzmán), Arreola (1903) da una descripción de la actividad eruptiva desarrollada durante los meses de febrero y marzo del mismo año. Si bien, la información reportada por el autor reviste



un carácter de mucha importancia, en sus conclusiones infiere de manera errónea, que el Volcán de Colima nunca ha arrojado lava.

La mayor parte de los datos recabados en los observatorios de Zapotlán y Colima, que funcionaron durante el periodo de 1894 a 1914, quedaron registrados en informes técnicos y efemérides (en su mayoría inéditos) escritos por sus encargados, Don José María Arreola (1915) y Don Severo Díaz (1903, 1906).

Durante la X sesión del Congreso Geológico Internacional celebrada en México en 1906, Waitz (1906) fue el encargado de conducir la excursión geológica al Volcán de Colima y presentó un mapa topográfico a la escala de 1:50.000, que muestra algunos de los derrames de lava más importantes. Posteriormente describió las nubes ardientes arrojadas por el volcán durante la erupción paroxísmica de enero de 1913, (Waitz, 1915, y 1921), y en 1934 hizo una recopilación de los datos históricos y bibliográficos acerca del Volcán de Colima, en la cual describe de una manera por demás interesante, tanto sus propias experiencias, como las de otros investigadores y testigos presenciales de erupciones pasadas (Waitz, 1934).

Probablemente, el único levantamiento de triangulación geodésica en el Colima, publicado hasta la fecha, es el realizado por Ortiz (1944), en donde además se incluye un mapa topográfico de buena calidad, si se toman en consideración las limitaciones de la época y lo accidentado del terreno.

Mooser (1961) describió sus observaciones realizadas durante la expedición al Volcán de Colima que se llevó a cabo en 1958, año en el que el volcán volvió a mostrar signos de actividad después de aproximadamente 40 años de reposo. El autor incluye además, un pequeño croquis con la distribución de algunos derrames de lava y nubes ardientes, así como una breve descripción de la historia geológica y las estructuras más importantes de los volcanes de Colima.

Constantino-Herrera (1966) realizó su tesis de licenciatura sobre los volcanes de Colima, tratando aspectos más bien generales de varios de los conos cineríticos y describiendo una ascensión a la zona del cráter del Volcán de Colima, en donde midió temperaturas de entre 200 y 300°C, estando imposibilitado de tomar muestras representativas de los gases, debido a la baja concentración de estos.

Un análisis estadístico de las erupciones históricas del Colima fue realizado por Medina-Martinez (1983), en donde se ofrece una tabla con la ocurrencia de las principales erupciones volcánicas dentro de los últimos 400 años.

Si bien sus trabajos nunca fueron publicados en revista especializada alguna, Sobota (1986) proporcionó algunos datos interesantes sobre la actividad del Colima durante el periodo comprendido entre los años de 1894 a 1966, recopilados en una pequeña edición tardía del Gobierno del Estado de Jalisco.

Thorpe y colaboradores (1977) hicieron referencia a la actividad efusiva de enero de 1976, durante la cual el volcán arrojó un volumen considerable de lava de composición andesítica, siendo los autores testigos presenciales del evento.

En un trabajo regional que se refiere al sector occidental de la Faja Neovolcánica Mexicana, Demant (1979) trató sobre aspectos descriptivos de los volcanes de Colima, así como una interpretación volcanológica y petrogenética que incluye un mapa geológico generalizado a una escala aproximada de 1:200,000.

Entre los trabajos que han aportado una cantidad importante de información geoquímica y petrológica, Luhr y Carmichael (1980, 1981, 1982), basados fundamentalmente en análisis geoquímicos de los diferentes derrames de lava y productos piroclásticos de caída, ofrecieron un panorama muy completo acerca de lo que ellos llaman el Complejo Volcánico de Colima y su evolución petrogenética. En estos artículos, se incluyen algunas columnas estratigráficas compuestas, con los primeros fechamientos por el método de  $^{14}\text{C}$ , realizadas en materia vegetal carbonizada incluida en unidades piroclásticas.

Después de la erupción del Volcán St. Helens en los Estados Unidos de América, en mayo de 1980, muchos de los conceptos de la volcanología han cambiado, especialmente, aquellos que se refieren a la interpretación del origen de algunos derrames piroclásticos y la formación de calderas de avalancha (Siebert, 1984) como la que caracteriza al Volcán

de Colima.- Luhr y Prestegaard (1985) presentaron una comparación entre el evento del Volcán St. Helens y el que probablemente ocurrió en El Colima hace 4.300 años A.P. Posteriormente, Robin y colaboradores (1987) dieron a conocer una reseña de la historia eruptiva de los volcanes de Colima, comparando igualmente el origen de la formación de sus calderas con un evento tipo St. Helens; estos autores dan una fecha para la formación de la del Colima, de 10,000 años A.P.; Ese artículo incluye un mapa geológico generalizado del área a escala aproximada de 1:250,000. Martin del Pozzo y colaboradores (1987) se refieren a la distribución de flujos piroclásticos en el área de La Yerbabuena, los cuales, según estos autores, pertenecen al Volcán de Colima y "representan una acumulación de flujos piroclásticos y lahares que han sido retrabajados en algunos puntos por las crecidas durante la temporada de lluvias", además presentan un mapa geológico del Volcán de Colima a una escala aproximada de 1:150,000. Luhr y Prestegaard (1988) presentaron una compilación de sus interpretaciones acerca del origen de la caldera del Volcán de Colima, dando la fecha ya mencionada en el trabajo anteriormente citado, incluyendo un mapa geológico a la escala de 1:400,000 y un cálculo aproximado del volúmen total de los depósitos producidos. Luhr y Carmichael (1990) dividieron los 400 años de registro histórico de erupciones del Volcán de Colima en cuatro ciclos de 50 o más años de duración, postulando que cada uno de estos ha terminado con una potente erupción tipo Mt. Pelé. Sus datos se centran principalmente en los

productos del tercero y cuarto ciclos del Colima, los cuales concluyeron con una erupción altamente explosiva en 1818 y 1913, respectivamente. Estos autores concluyen que el cuarto ciclo está próximo a finalizar. Por último, Robin y colaboradores (1990) hacen una interpretación de la evolución petrologica del Nevado y Volcán de Colima, su relación con la formación de las calderas de avalancha que caracterizan a ambos volcanes y el riesgo volcánico que actualmente representa el Volcán de Colima.

### Fisiografía

Fisiográficamente, la zona de los volcanes de Colima pertenece al sector occidental de la Faja Neovolcánica Transmexicana. El Complejo Volcánico de Colima está constituido por una cordillera de orientación norte-sur, cuyos principales centros eruptivos son el Volcán El Cántaro, en su porción septentrional con una altura de aproximadamente 3,000 m.s.n.m., el Nevado de Colima en la parte central con una altura máxima de 4,300 m.s.n.m. y en su extremo meridional, el Volcán de Colima o Volcán de Fuego, con una altura de 3,850 m.s.n.m (Figura 2).

En el área del presente estudio, la disección fluvial se manifiesta por la presencia de barrancas muy profundas, que generalmente nacen en las partes más elevadas y configuran un característico patrón radial en torno al Volcán de Colima. Entre las más espectaculares, se encuentran las barrancas de Atenquique, del Limón y Beltrán,

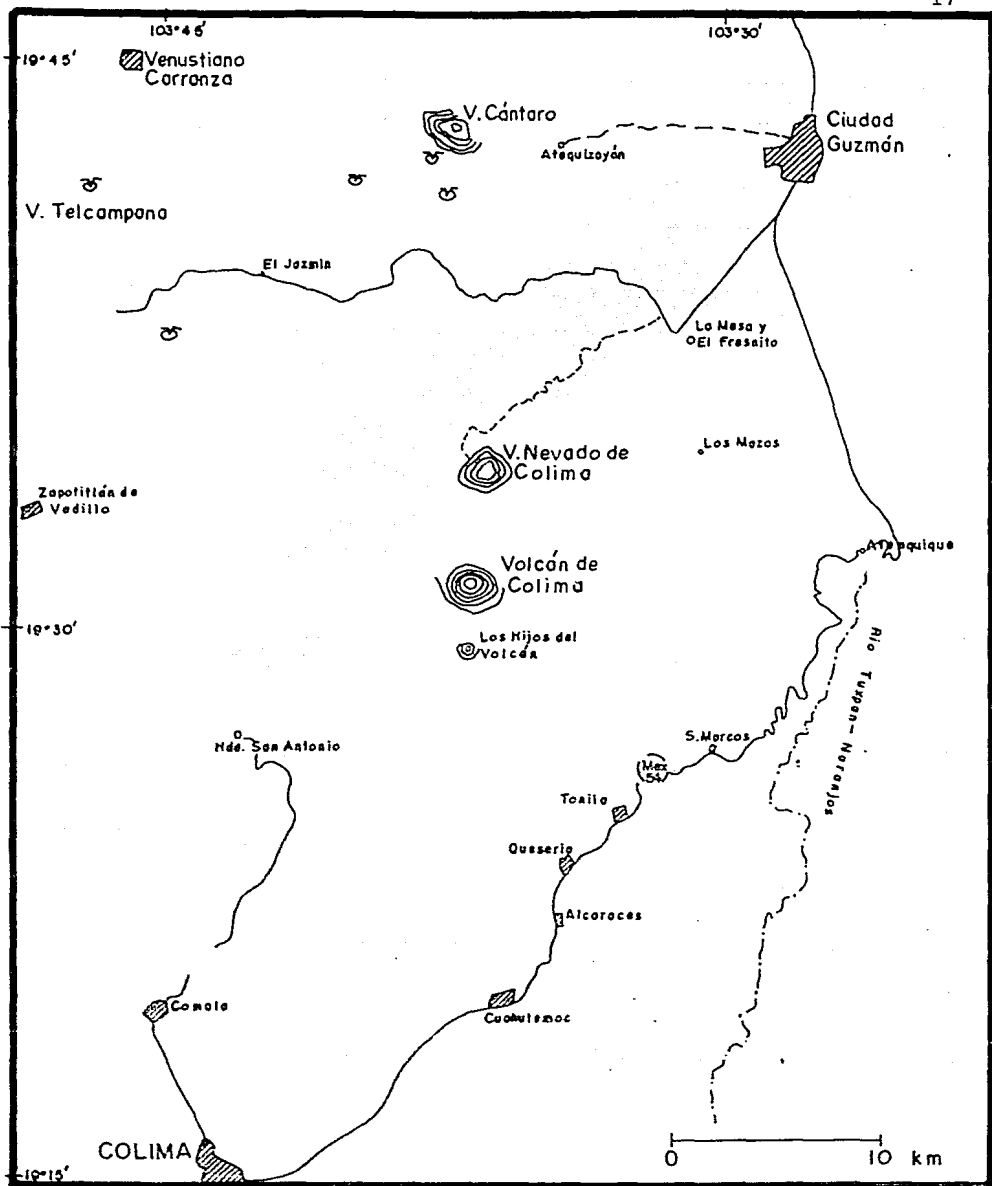


Figura 2.- Principales centros eruptivos del Complejo Volcánico de Colima

ubicadas al oriente y suroriente; las del Muerto, Playa de Montegrande y San Antonio al sur, y la Lumbre al surponiente (Lámina 1).

En el flanco oriental, la mayoría de las corrientes fluviales forman parte de la cuenca hidrográfica del Río Tuxpan o Naranjos (Figura 2) que sigue su curso hacia el sur hasta desembocar en el Océano Pacífico. En la parte occidental, se localiza la cuenca hidrográfica del Río Armería, el cual a su vez desemboca también en el Océano Pacífico. Estos dos ríos constituyen los rasgos hidrográficos más importantes del área.

La morfología de las zonas más próximas al volcán se caracteriza por ser sumamente abrupta, cambiando gradualmente hacia las partes intermedias, aunque sin dejar de presentar un terreno muy accidentado. Una particularidad que se manifiesta, especialmente en la parte suroccidental del área estudiada, es la existencia de pilones aislados de alturas variables entre 25 y 100 m, conocidos en la literatura en inglés como hummocks (Ui, 1983; Voight, et al. 1981).

Las zonas más distantes del volcán, están conformadas por una topografía ondulada y de pendiente suave, que caracteriza en gran medida a una gran extensión del Valle de Colima.

## MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La región en la que se ubica el Volcán de Colima, pertenece al sector suroccidental de la Faja Neovolcánica Transmexicana. Esta constituye una de las regiones más activas del territorio mexicano cuyo marco tectónico, de acuerdo con Drummond (1981), está integrado por la Trinchera Mesoamericana, la Dorsal del Pacífico Oriental, la Placa de Norteamérica, la Placa de Cocos y la Falla Rivera (Figura 3). Esta última falla, a la vez, delimita una pequeña placa conocida en la literatura como Placa Rivera y que Demant (1979) consideró como la responsable del volcanismo en el sector occidental de la Faja Neovolcánica Transmexicana.

Esta región ha sido y es actualmente objeto de múltiples estudios, que abarcan tanto su geología, interpretación tectónica y datos geofísicos a nivel regional (Demant, 1978, 1979; Luhr et al., 1985; Johnson, 1987; Skidmore, 1988; Serpa et al., 1990; de la Fuente et al., 1990), como su geología, estratigrafía y geoquímica a escalas más locales (Luhr y Carmichael, 1981; Allan y Carmichael, 1984; Allan, 1986).

El Volcán de Colima constituye la estructura más meridional de una cadena volcánica orientada norte-sur (Cántaro-Nevado-Colima). Esta cadena, a su vez, está ubicada en la parte centromeridional de una depresión, orientada igualmente norte-sur, de unos 90 km de longitud y de unos 40 km de anchura, cuyo límite occidental es el Río Armería, y oriental el Río Tuxpan. Esta depresión fue considerada por algunos autores como una fosa tectónica, comúnmente conocida



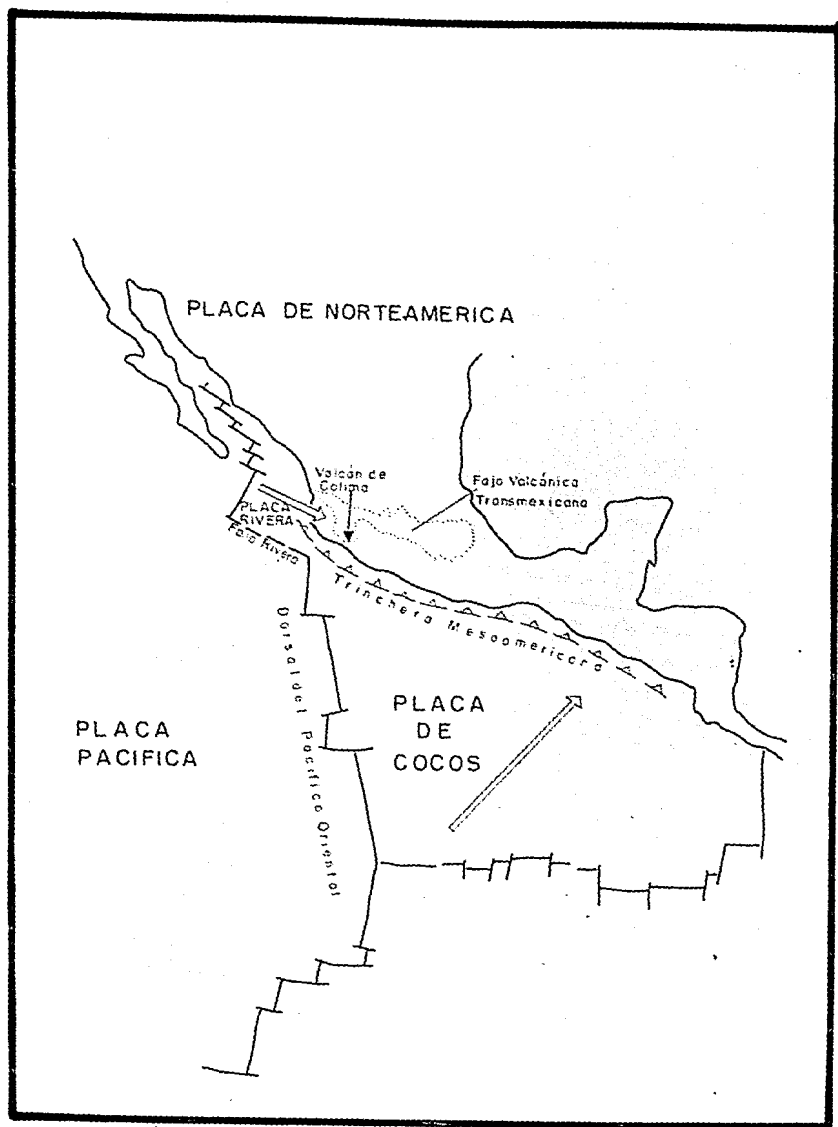


Figura 3.- Marco tectónico del área de estudio

en la literatura como graben de Colima (Demant, 1979; Luhr y Carmichael, 1980; Allan y Carmichael, 1984; Allan, 1986), cuyas características, según estos autores, son las de una típica zona de tensión cortical en el continente, la cual es el resultado de la interacción entre las placas de Cocos, Rivera, Pacífico y América del Norte.

El marco geológico regional que domina este sector de la Faja Neovolcánica Transmexicana, de acuerdo con las cartas geológicas Colima (E13-3) y Guadalajara, publicadas a escalas de 1:250,000 y 1:1,000,000 respectivamente (DGG, 1982; DGGTN, 1981), lo integra un conjunto de sierras con orientación aproximada de N-S, formadas principalmente por rocas sedimentarias marinas del Cretácico, intensamente plegadas y modificadas por fallas, de las cuales, la Sierra de Manantlán, al occidente del Volcán de Colima, constituye uno de los rasgos más sobresalientes.

Las rocas marinas del Cretácico, tienen una amplia distribución. Estas se encuentran desde los alrededores de los poblados de Tamazula y Zapotiltic en el Estado de Jalisco, hasta una vasta región al sur de la ciudad de Colima (Figura 4) a lo largo del curso del Río Armería cerca de su desembocadura al mar, hasta las proximidades de la población de Tecoman en la parte meridional del Estado de Colima.

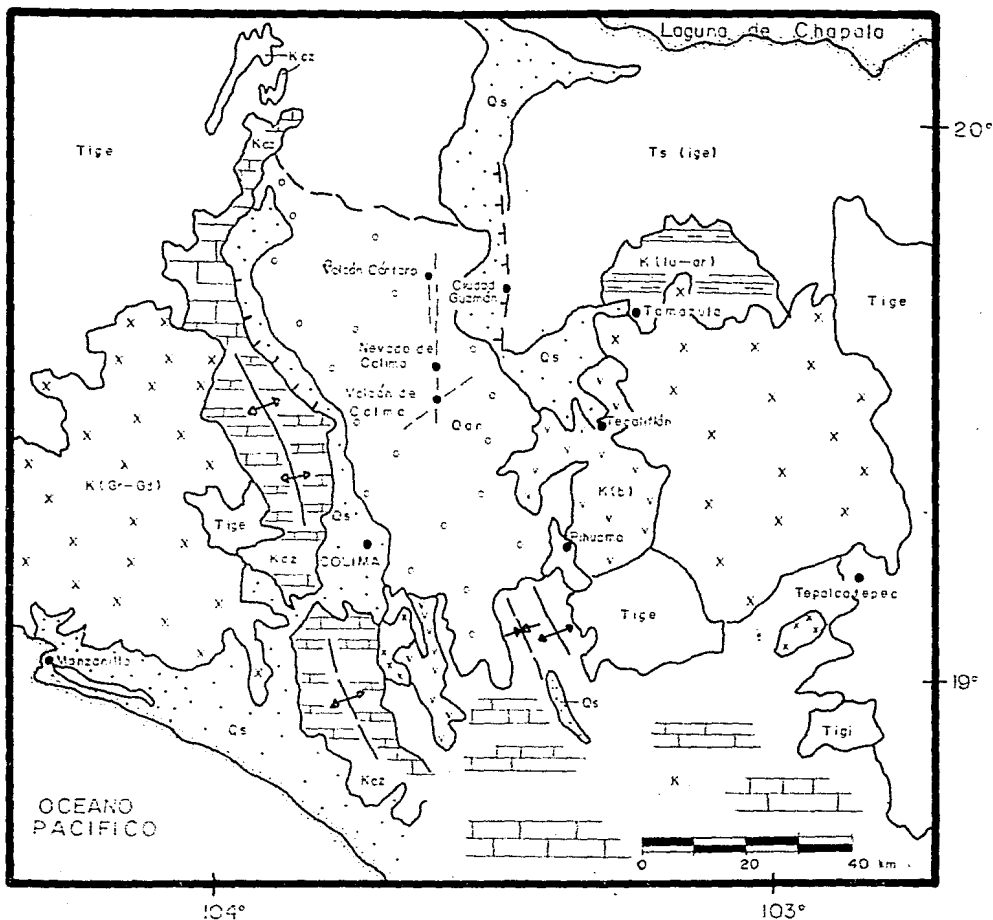


Figura 4.— Mapa geológico generalizado de la región de Colima y sur del estado de Jalisco. K, Cretácico, T, Terciario, Q, Cuaternario, cz-lu-ar, calizas, lutitas y areniscas. Gr-Gd intrusivos graníticos y granodioríticos. mz-b-an, monzonita, basalto y andesita, ige, igneo extrusivo, igi, igneo intrusivo. s, costero y lacustre. DGGTN (1981) modificado.

La secuencia de rocas marinas cretácicas está intrusionada por grandes cuerpos batolíticos graníticos y granodioríticos, de edad igualmente cretácica. La distribución mas amplia de estos cuerpos se concentra hacia el poniente del Volcán de Colima, en una región que se extiende hasta Puerto Vallarta, Jalisco. Hacia el oriente, otro gran batolito, de unos 2,500 km<sup>2</sup> de superficie, se extiende entre Tamazula, Jalisco, en el norponiente, y Tepalcatepec, Michoacán, en el suroriente.

Con base en los datos obtenidos en un gran número de estaciones gravimétricas, recientemente algunos autores (Serpa et al., 1990; de la Fuente et al., 1990) cuestionaron la existencia del llamado "graben de Colima", basándose en la escasa definición gravimétrica obtenida para la zona del Volcán de Colima y las prácticamente inexistentes anomalías gravimétricas hacia el sur del volcán.

Los afloramientos de rocas del Terciario inferior están constituidos por derrames de basalto y andesita. Estos son mas bien escasos, debido probablemente a una intensa erosión la cual hizo desaparecer a estas rocas, especialmente en la zona de los volcanes de Colima y dejó al descubierto las rocas cretácicas marinas intrusionadas. Sin embargo, en los alrededores del poblado de Atenquique, es posible observar grandes espesores de roca ignimbrítica bien consolidada, con una típica textura eutaxítica, los cuales quedan expuestos a lo largo del curso del Río Tuxpan. En el presente estudio estas rocas se han considerado como parte del Terciario superior y, conjuntamente con los basaltos y andesitas ya

mencionados, constituyeron posteriormente el basamento de las potentes secuencias de rocas volcánicas plio-pleistocénicas, las cuales, junto con una secuencia de sedimentos lacustres de gran espesor, rellenan la zona septentrional interna de la depresión anteriormente descrita, cuya distribución se limita hacia el norte de los volcanes de Colima.

## ESTRATIGRAFIA

La secuencia estratigráfica de la región estudiada, tiene un alcance desde el Pleistoceno medio hasta el Holoceno, y descansa discordantemente sobre un basamento formado por rocas cretácicas y terciarias.

Los contactos de la mayoría de las unidades litoestratigráficas aquí propuestas coinciden con rasgos topográficos muy notables, como grandes barrancas o paredes verticales y solamente, en muy pocos casos es posible observar claramente las relaciones de contacto en afloramientos. Por consiguiente, la designación de secciones tipo es una tarea sumamente difícil. Es por ello que las descripciones de las unidades litoestratigráficas aquí presentadas, no cumplen con todos los requisitos del Código de Nomenclatura Estratigráfica (Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1983) necesarios para definiciones formales.

En este estudio se proponen informalmente 11 unidades litoestratigráficas, cuyos contactos están en gran medida delimitados por discordancias que, en los afloramientos, se presentan generalmente con una inclinación leve. El contacto, sin embargo, con el basamento anterior a los volcanes de Colima, corresponde a una discordancia bien pronunciada.

Las unidades litoestratigráficas propuestas (Figura 5), de la mas antigua a la mas reciente, son las siguientes: El grupo Nevado, el cual está conformado por la andesita La Calle (Qlc), la formación Atenquique (Qa), la toba Los Mazos (Qlm) y la dacita Loma Alta (Qla); estas unidades constituyen el macizo mismo del Nevado de Colima. Sobreyacen al grupo Nevado, la andesita La Membrillera (Qlme), la avalancha Los Lobos (Qll) y la avalancha San Antonio (Qsa). Estas unidades fueron derivadas de un volcán de Colima antiguo o Paleofuego (Robin et al., 1987), y su expresión morfológica le proporciona a su área de afloramiento rasgos tan sobresalientes como la Loma de La Membrillera, al norte del Volcán de Colima, o los pilones y grandes colinas que sobresalen en la región de las haciendas de San Antonio y el Jabali, así como en los poblados de La Becerrera y La Yerbabuena. Las unidades litoestratigráficas que constituyen la estructura de lo que actualmente se conoce como el Volcán de Colima o Volcán de Fuego son: La andesita La Lumbre (Qllu), los lahares Cofradia (Qc), la andesita El Playón (Qep) y las gravas Cordobán (Qco). Los lahares Cofradia y las gravas Cordobán, se refieren a un material muy reciente fundamentalmente epiclástico, derivado del Volcán de Colima, el cual está intimamente relacionado con la actividad de este.

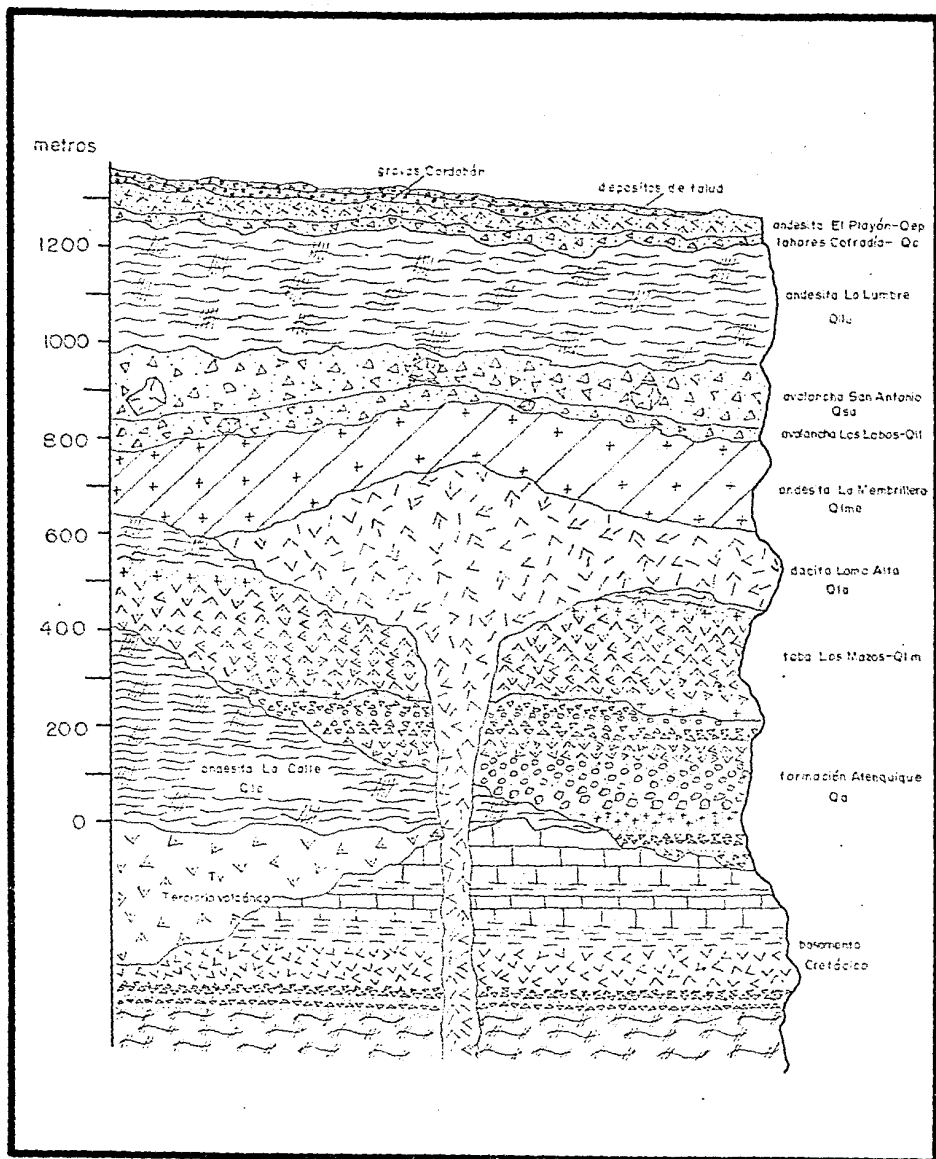


Figura 5.— Columna estratigráfica esquematizado del Volcán de Colima.



## Basamento anterior a los volcanes de Colima

El basamento que sostiene a toda la secuencia volcánica producida por el Complejo de los Volcanes de Colima (Luhr y Carmichael, 1981), está integrado por rocas volcánicas, vulcanosedimentarias y sedimentarias marinas, relacionadas con procesos de arco magmático insular (Pantoja-Alor y Estrada-Barraza, 1986), cuya edad, se sitúa entre el Neocomiano y el Albiano temprano (Alencáster y Pantoja-Alor, 1986). De acuerdo a las relaciones estratigráficas observadas en el campo, las rocas más antiguas del área de estudio, corresponden a una brecha volcánica bien consolidada, cuyos clastos están compuestos por material lítico anguloso de composición dacítica (Tabla 2), con una matriz de cuarzo microcristalino. En el área de estudio los principales afloramientos de las rocas basales, están constituidos por lavas andesíticas masivas intensamente zeolitizadas y cortadas por dicues de composición similar (Tablas 1 y 2), y se distribuyen al oriente y suroriente del Volcan de Colima. Tanto la andesita zeolitizada como la brecha dacítica, afloran dentro del área comprendida entre las barrancas de El Durazno-Beltrán y El Limón (Lámina 1), cerca de la Carretera Federal 54, en donde se aprecia claramente la discordancia entre el basamento y los depósitos epiclásticos del grupo Nevado.

Otro afloramiento importante de rocas anteriores a los volcanes de Colima se localiza cerca del poblado de Tenexcamilpa, aproximadamente 5 km al sur de San Marcos



Tabla 2.- Análisis modales de muestras del basamento cretácico, andesita La Calle y formación Atenuisque.

U. LITOEST.	MUESTRA	Pl	Ol	Cpx	Opx	Anf	Ox. Fe-Ti	Matriz	OBSERVACIONES
fm. Atenuisque	14 Q	10	2	1	1	<1	5	80	Andesita de olivino. Textura porfídica con abundancia de fenocristales de plagioclasa. Matriz microlítica principalmente de Pl y óxidos de hierro.
	19 COL	15	3	2	1	<1	5	73	Andesita de olivino. Textura porfídica seriada; abundancia de fenocristales de plagioclasa y olivino. Matriz microlítica de Pl, Prx, Ox. de hierro y vidrio.
andesita La Calle	CG 6	20	1	1	1	1	5	71	Andesita de piroxeno. Textura porfídica con un alto porcentaje de cristales de ferromagnesianos reemplazados por óxidos de hierro. Matriz microlítica de Pl y óxidos de hierro.
	CG 4	15	2	5	1	<1	2	74	Andesita de clinopiroxeno. Textura porfídica con abundancia de fenocristales de Pl, Cpx y Opx. Matriz microlítica de Pl, óxidos de hierro y poco vidrio.
	745 AD	31	1	6	2	<1	2	58	
	1112 AD	20	<1	4	<1	-	<1		
	744 AD	29	1	10	1	<1	1	57	
basamento cretácico	AND I	50	-	-	-	-	-	50	Andesita masiva alterada. Textura afanítica. La gran mayoría de la Pl. se encuentra alterada a zeolita.
	CG 36	10	-	-	-	-	-	70	Brecha dacítica. Textura clástica, al menos un 20 % de la muestra está constituida por fragmentos angulosos de líticos sericitizados. La matriz es de cuarzo microcristalino con límites difusos.

(Lámina 1). Ahi aflora una secuencia de rocas carbonatadas que incluye mármol de metamorfismo de contacto de calizas cretácicas, producido por diques andesíticos similares a los de la Barranca de El Durazno-Saltrán.

Si bien, dentro del área no hay afloramientos de rocas del Terciario volcánico, estas están constituidas por derrames de basalto y andesita. En los alrededores del poblado de Atenquique, es posible observar una roca ignimbrítica de textura eutaxítica, cuyos mejores afloramientos quedan expuestos a lo largo del curso del Río Tuxpan. Esta ignimbrita se considera dentro del paquete de rocas volcánicas del Terciario.

Las rocas basales están invariablemente cubiertas discordantemente por un potente espesor de rocas volcánicas, tanto epiclásticas, como lavas, derrames piroclásticos y tefra, derivados de los volcanes de Colima.

## Grupo Nevado

Se propone el nombre informal de grupo Nevado para el conjunto de unidades litoestratigráficas de composición predominantemente andesítica, formadas por derrames de lava y material piroclástico, originados en su mayoría por diversas emisiones del Volcán Nevado de Colima y que constituyen la estructura principal de este macizo volcánico. Las unidades litoestratigráficas que integran este grupo, desde la más antigua hasta la más reciente, son las siguientes: andesita La Calle, formación Atenquique, toba Los Mazos y dacita Loma Alta.

Estas unidades están distribuidas en una superficie de aproximadamente 150 km<sup>2</sup>, que abarca casi la tercera parte del mapa geológico (Lámina 1), aunque su distribución total, fuera de los límites del área de estudio, alcanza una superficie de aproximadamente 400 km<sup>2</sup>.

Considerando el área total de distribución y asumiendo un espesor promedio de 1,400 m, el volumen estimado para las rocas que constituyen el grupo Nevado es de 560 km<sup>3</sup>.

Este grupo se acumuló durante el intervalo transcurrido entre el Pleistoceno medio (0.75 Ma) y el Pleistoceno tardío (0.01 Ma), de acuerdo con los fechamientos por el método de K/Ar reportados por Allan y Luhr (1982), Allan (1986), Robin y colaboradores (1987) y Stoops y Sheridan (1990).

El límite inferior del grupo Nevado es un contacto discordante con el basamento anterior a los volcanes de Colima, el cual aflora en los dos sitios antes mencionados

dentro del área del presente estudio. Se infiere que su contacto superior también es una discordancia con las lavas de la andesita La Membrillera. En otras áreas, el grupo Nevado está cubierto por material lítico y pumítico transportado que no fue incluido en alguna unidad litoestratigráfica.

La unidad inferior del grupo Nevado (andesita La Calle), podría correlacionarse con las últimas emisiones del Volcán Cántaro (Luhr y Carmichael, 1980), ubicado al norte del área.

Andesita La Calle.- Los potentes derrames de lava formados por la andesita de clinopiroxenos que afloran en el Cerro La Calle (4.000 m), el cual es uno de los rasgos más prominentes de la parte central del Nevado de Colima, junto con los cerros El Picacho (4.200 m) y Pico del Aguila (4.000 m), constituyen las rocas más antiguas de este macizo volcánico y en este estudio se les denomina como andesita La Calle.

El Cerro La Calle, se ubica aproximadamente 500 m al norte de la estación de microondas del Nevado, a la cual se llega por un camino de terracería que sube por el flanco nororiental del volcán. Esta prominencia topográfica constituye la localidad más típica de la andesita La Calle y, en estudios anteriores (Mooser, 1961; Robin, et al., 1987), se le ha considerado como el remanente de una posible caldera, debido a su forma claramente semicircular.

Su superficie de afloramiento dentro del área de estudio es de aproximadamente 20 km<sup>2</sup> y se presenta como un terreno rocoso y abrupto, con bastante vegetación arbórea (aunque excesivamente talada). En los puertos topográficos y partes mas bajas está cubierta parcialmente por tefra, formada por capas de pómez y liticos de espesor variable, provenientes de las erupciones mas recientes del Volcán de Colima, cuya distribución podrá conocerse con trabajos cartográficos mas detallados que los que se desarrollaron para el presente estudio.

El espesor promedio que se estima para esta formación es de unos 500 m, la cual se acuña hacia el oriente y suroriente del Nevado de Colima, donde queda cubierta, aparentemente en forma concordante, por los depósitos piroclásticos y epiclásticos de las formaciones Atenquique y Los Mazos (Lámina 2, sección E-E').

Dentro del área de estudio no fue posible observar el contacto entre el basamento anterior a los volcanes de Colima y la andesita La Calle. Su contacto superior está caracterizado por una interdigitación hacia los depósitos epiclásticos y piroclásticos de la formación Atenquique. Estas relaciones pueden observarse a distancia, desde el camino que sube a la zona del Playón, en las paredes gigantescas de la Barranca de Atenquique. Sin embargo, en el contacto con la dacita Loma Alta, en el cerro del mismo nombre (Lámina 1), la andesita muestra una clara inclinación hacia el surponiente, como resultado del ascenso dómico de la dacita Loma Alta, la cual, a su vez, desplazó a los

depósitos de caída de la toba Los Mazos, faltando claramente el potente espesor de la formación Atenquique, la cual no se depositó en esta zona (Lámina 2, sección E-E').

Petrográficamente, esta unidad se caracteriza por ser holocristalina, con predominancia de plagioclasas cálcicas (An 60-75) y clinopiroxenos en menor cantidad (Tabla 2). La textura es porfídica con desarrollo de bordes de oxidación en los piroxenos y zoneamiento en las plagioclasas. La matriz está constituida por microcristales de plagioclasa, piroxenos, óxidos de hierro y poco vidrio.

Las rocas de la andesita La Calle que afloran en la cima del Nevado (cerros El Picacho, La Calle, Pico del Aguila. Lámina 3, fig. 1), son petrográficamente muy similares entre sí, y solo se observan algunas variaciones en la mayor o menor ocurrencia de olivino y anfíbol. En la Tabla 3 se muestran los análisis químicos de cinco muestras de lava incluidas en esta unidad. Los resultados analíticos indican un comportamiento geoquímico bastante similar entre las diferentes muestras colectadas. Su contenido de  $\text{SiO}_2$  varía entre 56.75 y 62.89 %, el cual queda claramente ubicado dentro del intervalo de las rocas andesíticas.

El volumen aproximado de la andesita La Calle, tomando en consideración su distribución total al norte del área, se calcula en 150 km<sup>2</sup>.

Robin y colaboradores (1987) fecharon por el método de K/Ar dos clastos incluidos en los niveles conglomeráticos de la formación Atenquique y obtuvieron edades de 0.38 +/- 0.10 y 0.26 +/- 0.06 Ma. Si se considera que estas edades



Tabla 3.- Análisis de rocas enteras de muestras de la andesita La Calle y formación Atenquique.

MUESTRA	744 AD	1112AD	748AD	CG 4	CG 6	COL 06	COL 17
SiO <sub>2</sub>	56.78	57.37	59.09	60.8	62.69	59.39	60.54
TiO <sub>2</sub>	0.82	1.1	0.98	0.88	0.83	0.67	0.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.68	17.61	18.1	19.01	17.28	16.61	18.09
FeO*	8.94	8.04	8.04	8.88	7.91	8.11	8.11
MnO	0.06	0.08	0.06	0.09	0.1	0.09	0.1
MgO	4.12	3.61	3.84	2.01	2.21	3.69	3.25
CaO	6.49	6.02	6.63	3.98	3.3	6.33	6.21
Na <sub>2</sub> O	4.41	4.33	4.41	5.01	4.68	4.56	4.57
K <sub>2</sub> O	1.27	2.27	1.18	1.68	1.81	1.27	1.68
POE	0.29	0.48	0.19	0.23	0.19	0.19	0.19
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.01	0.59	0.01	nd	nd	nd	nd
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.04	0.02	0.05	nd	nd	nd	nd
Total	99.01	99.88	99.71	99.6	100.01	100.01	100.01

muestras 744 AD, 1112AD, 748AD, CG 4 y CG 6: andesita La Calle.  
muestras COL 06 y COL 17: fm. Atenquique. FeO\*: Fe total; nd: no de-

Análisis: 744 AD, 1112 AD y 748 AD en Demant (1961).  
CG 4, 6, Malaga, Universidad de Tulane, N.O. Método FRX.  
COL 6, COL 06, COL 17: F. L. Macias, Universidad de  
Florence, Italia, Método FRX, excepto K y Mg, por  
absorción atómica.

corresponden a la andesita y que la gran mayoría de los clastos que constituye el conglomerado necesariamente tuvo que derivarse de la andesita La Calle, se infiere que esta unidad pudo haberse formado durante el periodo comprendido entre los 500,000 y 250,000 años A.P., durante el cual se presentaron etapas sucesivas de actividad del Nevado de Colima, que alternaron con intervalos de reposo, y que permitían el depósito de los niveles conglomeráticos de la formación Atenquique.

Formación Atenquique.- Las lavas masivas de la andesita La Calle se caracterizan por un relieve abrupto e irregular. El terreno sobre estas lavas cambia transicionalmente hacia el oriente, surorientado y poniente, conformando un terreno plano que se caracteriza por la presencia de grandes y profundas barrancas. En estos cortes naturales se puede observar una secuencia desordenada de depósitos fluvio-lacustres, lahares, derrames piroclásticos y tefra medianamente consolidados a no consolidados, así como algunos derrames de lava que se encuentran intercalados dentro de toda esta secuencia cuyo espesor promedio se calcula en 300 m.

Mooser (1961) utilizó el nombre de series Atenquique para referirse a una secuencia alternante de depósitos fluvio-lacustres constituidos por líticos derivados en su mayoría del Nevado de Colima. Demant (1979) menciona por primera vez el nombre de Formación Atenquique, citando erróneamente como fuente para este nombre al trabajo de Mooser de 1961. Luhr y Carmichael (1982) describieron un

espesor de 300 m de conglomerados, arenas y cenizas de origen volcánico en la base del Complejo de los Volcanes de Colima, cuyo volumen lo estimaron en 450 km<sup>3</sup>. Robin y colegas (1987) se refirieron a esta unidad como series conglomeráticas Atenquique y reportan los dos fechamientos de roca contenidas en dicho conglomerado ya mencionados anteriormente.

La formación Atenquique está conformada por potentes espesores de brechas, lahares y conglomerados volcánicos que afloran alternadamente en los alrededores del Centro Industrial de Atenquique (Lamina 3, fig. 2), y que están profundamente disectados por el río que fluye por la barranca del mismo nombre que baja de las partes altas del Nevado de Colima (Lamina 1).

La gran mayoría del material lítico y pumítico que constituye esta formación, se derivó principalmente de los diferentes ciclos de actividad del Nevado. El tamaño de sus constituyentes líticos varía desde ceniza y arena, hasta megabloques de 2 a 3 m de diámetro con formas redondeadas y hasta angulosas. Es posible reconocer ciertas estructuras primarias, fundamentalmente de sedimentación, como diastratificación y estratificación inversa.

Debido a su heterogeneidad y, por consiguiente, sus diversos orígenes, es casi imposible hacer una única clasificación petrográfica para esta formación, ya que esto requeriría de un muestreo muy detallado que rebasa los objetivos de este estudio. Sin embargo, se considera que entre los bloques incluidos tanto en los niveles

conglomeráticos, como en los derrames piroclásticos, hay una tendencia hacia la mayor ocurrencia de andesitas de ortopiroxenos y clinopiroxenos, mientras que en los derrames de lava masiva, predominan las andesitas de olivino. El contenido de fenocristales de plagioclasa en la roca, varía entre 10 y 50 % y su composición promedio es de An 40-50 (Tabla 2). En la tabla 3 se muestran los análisis químicos de dos muestras cuyos contenidos de  $\text{SiO}_2$  (59.39 y 60.54 %), reflejan claramente su carácter básico.

El contacto inferior de esta formación con las rocas del basamento anteriores a los volcanes de Colima es, sin lugar a duda, discordante, lo que se atribuye a la falta periódica de actividad volcánica y a la erosión subsecuente. Dicho contacto discordante se observa en el cruce de la Carretera Federal 54 con las barrancas El Limón y Beltrán, en donde la formación Atenquique sobreyace al basamento anterior a los volcanes de Colima, formado por rocas andesíticas con muy bajo grado de metamorfismo, atravesadas por diques de composición similar (Figura 6). Su contacto superior se manifiesta por una interdigitación que cambia hacia una unidad compuesta fundamentalmente por tefra y, en menor importancia, por derrames piroclásticos con escasos derrames de lava en la base. Esta interdigitación ocurre entre los últimos depósitos de la formación Atenquique y los primeros de la toba Los Mazos (Lámina 2, sección D-D').

La distribución de esta formación dentro del área de estudio es de aproximadamente 40 km<sup>2</sup> y si se toma en cuenta el espesor estimado de 300 m, se obtiene un volumen

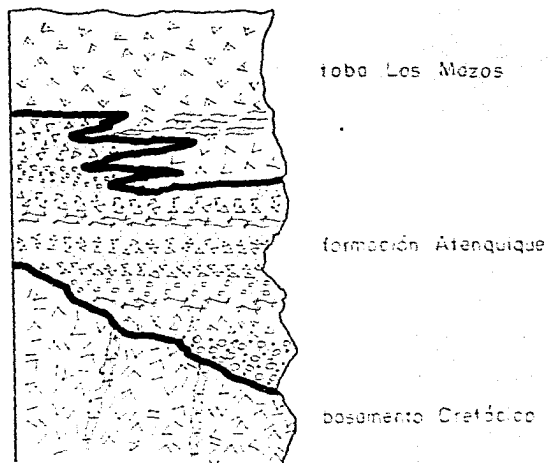


Figura 6.— Relaciones de contacto de la formación  
Atenquique

aproximado de 15 km<sup>2</sup>. La topografía desarrollada sobre la formación Atenquique corresponde a grandes terrazas cortadas, a su vez, por profundas barrancas que dejan expuesta gran parte de la secuencia clástica y que se caracteriza por el desarrollo de una vegetación de matorrales y árboles en menor cantidad.

Robin y colaboradores (1987) dieron a conocer algunas fechas radiométricas por el método de K/Ar de clastos incluidos en los intervalos conglomeráticos, las cuales arrojaron edades de 0.38 +/- 0.10 y de 0.26 +/- 0.06 Ma. que reflejan la edad de la andesita. Sin embargo, se puede afirmar que los procesos de extrusión de la andesita La Calle y la erosión, transporte y depósito de sus clastos, que constituyeron los niveles conglomeráticos de la formación Atenquique, en cierta forma, coincidieron temporalmente o, al menos, se sucedieron uno después del otro con intervalos sumamente cortos. Stoops y Sheridan (1990) obtuvieron una fecha de 18,000 años A.P. en un fragmento de carbón, el cual ha sido incluido en el presente estudio dentro de los niveles de avalancha superiores (avalanche deposits) de la formación Atenquique, que resultaron probablemente del último evento catastrófico del Nevado de Colima.

De lo anterior se deduce, que los diferentes niveles que constituyen a la formación Atenquique abarcan un lapso aproximado entre los 400,000 y 18,000 años A.P., que corresponde aproximadamente al Pleistoceno medio y tardío.

Toba Los Mazos.- Esta unidad litoestratigráfica del grupo Nevado, la constituye un paquete de material piroclástico y epiclástico cuyo espesor promedio estimado es de 200 m. Morfológicamente, esta unidad se caracteriza por un relieve suave a medianamente abrupto, con abundante vegetación arborea y matorrales, cuya superficie de afloramiento se calcula en 80 km<sup>2</sup>, aproximadamente, abarcando partes importantes de los flancos oriental y occidental de los volcanes de Colima (Lámina 1), entre las cotas 2,600 y 1,300 m.s.n.m. Esta área de afloramiento se extiende desde la Loma "El que se vende", ubicada en el Ejido de Juan Barragán, aproximadamente 5 km al norponiente del poblado de San Marcos, hasta los alrededores del poblado de Los Mazos, ubicado aproximadamente 20 km al surponiente de Ciudad Guzmán, por el camino que principia en El Fresno.

En este estudio se introduce el nombre de toba Los Mazos para referirse a un conjunto de depósitos piroclásticos, principalmente de caída libre, con intercalaciones de derrames pumítico-lítico y depósitos de surgencia (surge deposits) con materia vegetal carbonizada. Este conjunto de depósitos indica que fue originado por actividad volcánica altamente explosiva. El poblado de Los Mazos ha sido elegido como localidad tipo, debido a que se encuentra sobre los depósitos tefríticos de esta unidad y, en sus alrededores, es posible observar una buena parte del espesor total de las tobas.

La toba Los Mazos esta cubierta parcialmente por horizontes de tefra, derivados de las últimas erupciones del Volcán de Colima; sin embargo, se requiere de un estudio mas detallado, para cartografiar las capas de tefra ampliamente distribuidas, provenientes de las erupciones de 1913 y 1818.

La composición de los liticos incluidos en los depósitos piroclásticos es fundamentalmente andesítica, aunque en ocasiones se puede encontrar fragmentos de rocas, tanto dacíticas como basálticas. Petrográficamente, esta unidad fue clasificada como toba andesítica. En las muestras estudiadas predomina una textura clástica vesicular, con una matriz criptocrystalina a vitrea con microcristales de plagioclasa (Tabla 4). Incluidos en la matriz, en forma de xenocristales, se presentan abundantes plagioclasas (An 40-50), ortopiroxenos, clinopiroxenos y olivino. Es común encontrar los fragmentos liticos de tamaño de arena gruesa a fina, englobados en un material pumítico de composición intermedia: esta es una característica muy común de las pomez del Colima.

La composición química de cuatro muestras analizadas, arroja un contenido entre 55.7 y 60.9 % de  $\text{SiO}_2$ , el cual está dentro del rango de las rocas andesíticas. Asimismo, se observa un contenido de 4.5 % de  $\text{MgO}$  en una de las muestras, el cual es notoriamente mayor que el resto de las muestras analizadas del Nevado de Colima (Tabla 5).

El volumen de esta formación, de acuerdo con las dimensiones aproximadas señaladas con anterioridad, se calcula en 20  $\text{km}^3$ .



Tabla 4.- Análisis modales de muestras de la toba Los Mazos.

U. LITOCEST.	MUESTRA	Pl	O1	Cpx	Opx	Anf	Ox.Fe-Ti	Matriz	OBSERVACIONES
toba Los Mazos	46 Q(A)	10	1	3	1	<1	1	83	Toba andesítica de caída. Textura clástica. Matriz: vidrio y óxidos de hierro englobando a líticos y cristales angulosos de plagioclasa y ferromagnesianos.
	46 Q(B)	10	1	3	1	<1	1	83	Derrame piroclástico andesítico. Textura clástica-traquítica. Cristales tabulares de plagioclasa alineados en una dirección. Matriz vítrea con óxidos de hierro.
	48 Q(A)II	1	1	1	1	--	<<1	95	Toba de caída. Textura clástica vesicular. Matriz criptocristalina, vítrea con Pl. Xenocristales de Pl, O1, Opx y Cpx.
	CG 12	15	3	1	1	<1	1	78	Andesita de olivino. Textura porfídica. Matriz criptocristalina de Pl y óxidos de hierro. Inclusiones de magnetita en O1 y piroxenos.
	CG 15	35	1	2	2	<1	3	57	Andesita de piroxeno. Textura pseudotraquítica. Los cristales tabulares de Pl son abundantes con orientación preferente.
	CG 19	10	3	1	3	<1	2	80	Andesita de olivino. Textura porfídica con una ocurrencia de fenocristales de 10%. Matriz criptocristalina de Pl, óxido de hierro (hematita) con escaso vidrio.

Tabla 5.- Analisis de roca entera de muestras de la zona Los Mamos.

MUESTRA	40 O	66 CR	614AD	48 O
SiO <sub>2</sub>	65.7	69.01	60.01	60.9
TiO <sub>2</sub>	0.9	0.6	0.7	0.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.8	16.8	18.43	17.2
FeO*	6.25	8.31	9.01	9.02
MnO	0.13	0.09	0.02	0.1
MgO	2.3	2.9	2.59	3.1
CaO	5.36	6.9	6.66	6.4
Na <sub>2</sub> O	3.4	4.15	4.21	4.3
K <sub>2</sub> O	0.81	1.45	1.04	1.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24	nd	0.15	0.19
H <sub>2</sub> O-	nd	0.43	1.56	nd
H <sub>2</sub> O-	nd	0.22	0.36	nd
Total	98.09	100.26	99.93	99.3

FeO\*: Fe total; nd : no determinado.

Analisis: 66 CR en Robin et al. (1987).  
 614 AD en Demant (1981)  
 40 O y 48 O: S. Nelson  
 Universidad de Tulane, N.O.  
 Metodo FRX.

Su contacto inferior es transicional con la formación Atenquique y se infirió por la interpretación de fotografías aéreas. El contacto superior con la Dacita Loma Alta, es discordante y muy limitado en su extensión por tratarse esta de un domo; sin embargo, también es posible observar una interdigitación con la andesita La Membrillera, principalmente a lo largo de la Barranca El Durazno-Beltrán.

Sin lugar a duda, la última etapa de acumulación de esta unidad puede atribuirse, en gran medida, a la actividad explosiva del Paleovolcán de Colima, pero ante la dificultad de diferenciar otra unidad para este evento, se decidió incluir todo el paquete dentro del grupo Nevado.

De esta unidad no se ha fechado material alguno que permita conocer su edad en términos absolutos; sin embargo, por su posición estratigráfica se le ubica en el Pleistoceno tardío.

Dacita Loma Alta.- El último evento asociado con la actividad volcánica del Nevado de Colima corresponde a un domo de composición dacítica, cuya expresión morfológica es el Cerro Loma Alta (2,700 m), ubicado aproximadamente 1.5 km al poniente del poblado de Los Mazos. El flanco oriental de este cerro está constituido por una serie de derrames de lava dacítica masiva, intensamente fracturada y de apariencia brechoide, que contrasta topográficamente con los depósitos de relieve suave de la toba Los Mazos.

Su superficie de afloramiento es de aproximadamente 8 km<sup>2</sup> y se presenta como un terreno rocoso de pendientes muy abruptas, con bastante vegetación arbórea.

El espesor promedio que se calcula para esta unidad es de 400 m, constituyendo una típica estructura dómica que al ascender, afectó a rocas de la andesita La Calle y toba Los Mazos, lo cual se manifiesta en un ligero basculamiento de estas unidades en las zonas próximas al contacto con la dacita Loma Alta (Lámina 2, sección G-G').

Petrográficamente se trata de una roca holocristalina con predominancia de plagioclasas cálcicas An<sub>80-90</sub>, las cuales presentan zoneamiento, una proporción reducida de clinopiroxenos y total ausencia de olivino. La textura es porfidica-seriada y los cristales de augita presentan bordes de oxidación. La matriz está constituida por microcristales de plagioclasa, piroxenos y óxidos de hierro (Tabla 6).

En la Tabla 7 se muestra el análisis geoquímico de una muestra (CG 3) perteneciente a esta unidad, cuyo contenido de SiO<sub>2</sub> es de 64.34 %, el cual cae dentro del campo de las dacitas, de la misma manera, como su bajo contenido de MgO (1.60 %) está en concordancia con la ausencia de olivino.

El volumen aproximado de la dacita Loma Alta, es de 3 km<sup>3</sup> y su edad, si bien se desconoce, se asocia con las últimas etapas de actividad volcánica del Nevado de Colima.

Tabla 6.- Análisis modales de muestras de la dacita Loma Alta andesita La Membrillera y  
 avalancha San Antonio (de la avalancha Los Lobos no se colectaron muestras).

U. LITOEST.	MUESTRA	Pl	Ol	Cpx	Opx	Anf	Ox. Fe-Ti	Matriz	OBSERVACIONES
avalancha San Antonio	CG 55	10	2	1	1	<<1	1	84	Andesita de olivino. Textura porfídica con una ocurrencia de fenocristales de 15-20%. Matriz criptocristalina de Pl y piroxeno con muy poco vidrio. Bloque contenido en un depósito de avalancha.
	CG 24	15	2	1	1	<<1	1	79	Andesita de olivino. Textura porfídica con una ocurrencia de fenocristales de 20 %. Matriz criptocristalina de Pl, óxidos de hierro. Clasto contenido en depósito de avalancha.
andesita La Membrillera.	38 Q	15	3	1	1	<1	3	76	Andesita de olivino. Textura porfídica con una ocurrencia de fenocristales de 10-15%. Matriz criptocristalina de Pl, piroxenos y óxidos de hierro.
	PIC	20	2	2	3	--	10	63	Andesita de olivino. Textura porfídica-seriada. Matriz criptocristalina de Pl, piroxeno y óxidos de hierro. Inclusiones de magnetita en los piroxenos.
Dacita Loma Alta	CG 3	20	--	3	<1	<<1	3	72	Dacita de augita. Textura porfídica-seriada. Matriz criptocristalina de Pl, piroxeno y óxido de hierro. Inclusiones de magnetita en los piroxenos.

Tabla 7.- Análisis de ices total de muestras de la decida Loma Alta y Andesita La Membrillera

MUESTRA	CG 3	650AD	FIC	615AD	CG 3
SiO <sub>2</sub>	41.34	40.64	45.2	40.69	40.3
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.26	0.32	0.25	0.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.43	16.88	17.6	18.2	19.7
FeO*	4.56	4.03	3.97	5.11	4.63
MnO	0.39	0.12	0.08	0.39	0.09
MgO	1.7	1.93	1.6	2.31	2.11
CaO	3.23	3.39	3.34	3.71	3.3
Na <sub>2</sub> O	5.19	4.85	5.2	4.27	5.1
K <sub>2</sub> O	1.3	1.72	1.98	1.41	1.31
H <sub>2</sub> O <sub>+</sub>	0.14	0.11	0.13	0.13	0.17
H <sub>2</sub> O <sub>-</sub>	nd	0.01	nd	nd	nd
H <sub>2</sub> O	nd	0.01	nd	nd	nd
Total	100.01	99.84	99.32	100.14	99.14

muestra CG 3 decida Loma Alta; muestras 650AD, FIC, 615AD y CG 3 andesita La Membrillera.

Análisis: 650 AD y 615 AD . en Desant (1951).  
 CG 3: S. Nelson, Universidad de Tulane, N.O.  
 Método WRF. CG 3: J.L. Macías, Universidad  
 de Florencia, Italia. Método FRX, excepto K y  
 Mg por absorción atómica.

## Andesita La Membrillera

La andesita de piroxénos, denominada en este estudio como andesita La Membrillera, constituye una unidad litoestratigráfica que conforma la estructura principal del antiguo Volcán de Colima o Paleofuego a manera de somma (Lámina 2, sección F-F'-F'').

Esta unidad tiene una inclinación entre 30 y 40° hacia el norte y está cubierta por una vegetación boscosa, en sus partes más altas (3,000 - 3,400 m.s.n.m.), y arbustos y pastizales en las laderas y partes más bajas.

La superficie de afloramiento de la andesita La Membrillera es de 60 km<sup>2</sup>, aproximadamente, extendiéndose principalmente hacia el poniente, norponiente y suroriente del Volcán de Colima.

Waitz (1934, p. 366), utilizó el nombre de Loma de La Membrillera para referirse al promontorio delimitado por acantilados casi verticales, que rodea por el norte al Volcán de Colima, y que le sirvió como punto de observación antes y después de la gran erupción de enero de 1913. En el mismo artículo, Waitz interpretó este rasgo fisiográfico tan espectacular, localizado aproximadamente en el punto intermedio entre las cimas del Nevado y del Volcán de Colima, como un maar perteneciente al macizo del Nevado, en cuyo centro se formó posteriormente el Volcán de Colima. Mooser (1961) definió a las rocas de esta unidad como pertenecientes a una gran caldera de sumergencia, las cuales forman un semicírculo claramente visible en el flanco

septentrional del Volcán de Colima. Demant (1979, p. 52) describe este rasgo estructural como una caldera de 5 km de diámetro, constituido por andesita de hornblenda, que se formó por una sucesión de erupciones violentas, cuyos productos son capas alternantes de pómez y ceniza. Robin, et al. (1987, p. 108) emplea el nombre de Paleofuego, cuando se refiere a un antiguo Volcán de Colima o Fuego, el cual fue destruido por un evento tipo St. Helens hace aproximadamente 10,000 años y del que sólo queda su flanco septentrional. Luhr y Carmichael (1982, p. 263) y Luhr y Prestegard (1988, p. 337) se refirieron a estas rocas como andesitas precaldera y las agruparon con las rocas del Nevado, adjudicándoles igualmente un origen tipo St. Helens, que resultó en el colapso de su flanco meridional, dejando como evidencia una estructura en forma de herradura con su parte abierta hacia el sur. Luhr y Prestegard (1985) fecharon un fragmento de carbón encontrado en la base de un depósito de avalancha y obtuvieron una edad de 4,300 años A.P., misma que interpretaron como la edad del colapso de la caldera.

El contacto inferior de la andesita La Membrillera con el grupo Nevado, es una discoradancia angular con la dacita Loma Alta. Fuera del área de distribución del domo dacítico, el límite inferior de la andesita es considerado como una interdigitación con los depósitos tefríticos de la toba Los Mazos, aunque su delimitación es difícil de precisar, ya que se encuentra cubierto por otros depósitos de tefra pertenecientes a las últimas erupciones del Volcán de



Colima, así como por material epiclástico removido de las partes altas del Nevado de Colima.

El contacto superior de esta formación, en las áreas cercanas a los límites de la caldera, lo constituye una falla normal con su bloque meridional caído, que vuxtapone la andesita La Membrillera con los derrames piroclásticos y material pumítico-lítico de caída de la andesita El Playón (Lámina 2. sección F-F'-F''). Sobre las paredes verticales del bloque levantado es posible observar diques radiales típicos de este tipo de estructuras volcánicas.

No fue posible observar en el campo el contacto con la avalancha Los Lobos, unidad litoestratigráfica que le sobreyace. Sin embargo, la ocurrencia del evento explosivo que generó esta avalancha, debe de coincidir con una edad mínima para la andesita Loma Alta.

Petrográficamente, esta unidad fue clasificada como andesita de piroxenos (Tabla 6) y se trata de una roca holocristalina, de textura porfidica típicamente seriada, en la que los fenocristales predominantes son de plagioclasa cálcica ( $An_{50-70}$ ) y, en menor proporción, los piroxenos. La matriz está constituida por una mezcla de microcristales de plagioclasa, piroxenos y óxidos de hierro. Las plagioclasas se presentan con zoneamiento y en forma subhedral, mientras que los piroxenos son generalmente anhedrales y tienen inclusiones de magnetita.

En la Tabla 7 se muestran los análisis de cuatro muestras pertenecientes a esta unidad, una de las cuales (615 AD) es un dique radial. El contenido de  $SiO_2$  para estas

cuatro muestras varia entre 58.8 y 63.2 %, valores que pertenecen al campo de las andesitas y cuyo límite superior (muestra PIC) coincide con el límite de las dacitas, aunque en este estudio se considera como andesita alta en silice.

El espesor promedio que se le adjudica a esta unidad, de acuerdo con las secciones estructurales construidas, se calcula en 100 m. Su volumen, según las dimensiones antes mencionadas, es de aproximadamente 5 km<sup>3</sup>. Se interpreta que esta formación representa el tiempo transcurrido entre el Pleistoceno tardío al Holoceno temprano. Durante este tiempo, se formó un edificio volcánico de dimensiones tal vez superiores a las del actual Volcán de Colima (Paleovolcán de Colima), el cual fue totalmente destruido por, al menos, dos erupciones altamente explosivas, que dejaron un somá como rasgo fisiográfico distintivo, cuyo punto mas alto es conocido como la Loma de La Membrillera.

#### Avalancha Los Lobos

Esta unidad litoestratigráfica está constituida por depósitos caóticos de material volcánico no consolidado y muy pobremente seleccionado, cuyas características son las de una típica avalancha de escombros (debris avalanche deposits) que arrastra bloques de muy diversos tamaños, los cuales "flotan" en una matriz de guijarros, arena y material fino (Lámina 4, fig. 1).

El origen del emplazamiento de este tipo de depósitos, fue observado por primera vez durante la erupción del Volcán St. Helens en mayo de 1980, en el noroeste de los Estados Unidos de America. La observación directa de este fenómeno, antes, durante y después de la erupción, permitió ver que el volcán, momentos antes del evento explosivo, presentaba claras muestras de deformación tanto en su cima como en su flanco septentrional (Lipman, et al., 1981). Un sismo desencadenó la violenta erupción, acompañada del deslizamiento sucesivo de grandes bloques del flanco septentrional del volcán (Voight, et al., 1981). Este gran volumen de material que constituía el edificio volcánico, fluyó gravitacionalmente por las barrancas, despedazándose entre sí debido a la gran energía cinética contenida. Pocos segundos después del deslizamiento de ese flanco, vino el componente propiamente magmático de la erupción, en forma de derrames piroclásticos y depósitos de surgencia, debido al rompimiento del equilibrio existente al desaparecer una parte considerable del flanco del volcán. El depósito resultante, según Voight y colegas (1981), consiste en escombros volcaniclasticos pobremente seleccionados, los cuales cubrieron un área de aproximadamente 60 km<sup>2</sup>, cuyo volumen total es comparable al que desapareció del edificio volcánico como producto del deslizamiento sucesivo de los bloques.

De acuerdo con este criterio, se decidió usar el nombre informal de avalancha, para definir a los depósitos tipo St. Helens que se observan en el Volcán de Colima.

La avalancha Los Lobos toma su nombre de los afloramientos que se observan en la Barranca Los Lobos, especialmente los ubicados 1 km al suroeste de Queseria, en un corte artificial del puente que cruza la barranca sobre la nueva carretera Guadalajara- Manzanillo. En esta localidad es posible observar unos 4 m de un material volcanoclástico poco consolidado, compuesto por bloques andesíticos angulosos a subangulosos, cuyos tamaños varían entre 20 y 50 cm y están englobados en arena y guijarros, producto de la trituración a la que fueron sujetos durante su emplazamiento.

La base de esta unidad está formada por unos 40 cm de arena fina y gruesa, ordenada en forma alternante, la cual presenta diastratificación y estratificación inversa. Este material ha sido interpretado como depósito de oleada piroclástica basal (base surge deposit) y forma parte de la unidad aquí descrita. Estos depósitos de oleada piroclástica (Araña-Saavedra y Ortiz Ramis, 1984) han sido correlacionados en el campo con un material pumítico-lítico de carácter más bien epiclástico o retrabajado, cuyo espesor varía entre 30 y 50 cm, y que proviene de la erosión sucesiva de las unidades anteriores (Atenquique, Los Mazos), las cuales tienen un alto contenido de piroclastos.

Estos depósitos tienen una distribución muy amplia que rebasa los límites del presente estudio y que, en términos generales, se calcula en 300 km<sup>2</sup> aproximadamente. Esta unidad litoestratigráfica conforma un terreno ondulante con un declive ligero y constante hacia el sur y suroeste. Sobre la superficie se destacan grandes bloques andesíticos, los cuales han quedado ahí como consecuencia de la erosión del material que los englobaba.

El límite inferior de la avalancha Los Lobos (Figura 7) lo constituye un contacto discordante de ángulo muy bajo, con una brecha de avalancha que pertenece a la cima de la formación Atenquique, faltando, de manera evidente, la andesita La Membrillera y la toba Los Mazos (Lámina 2, secciones A-A' y B-B'). El contacto superior de la avalancha Los Lobos se interpreta como una discordancia con la avalancha San Antonio. Este contacto no fue observado en el campo debido al material epiclástico (lahares retrabajados) que cubre irregularmente una amplia superficie entre ambas unidades.

El espesor promedio estimado de la avalancha Los Lobos es de 20 m y, tomando en cuenta su vasta distribución, se le ha calculado un volumen aproximado de 5 km<sup>3</sup>.

Los imponentes depósitos de la avalancha Los Lobos fueron el resultado del colapso de una gran parte del flanco meridional del antiguo Volcán de Colima o Paleofuego, que esparció sus productos hacia las partes bajas del Valle de Colima y que pudo haber ocurrido entre los años 8,000 y 5,000 antes del presente.

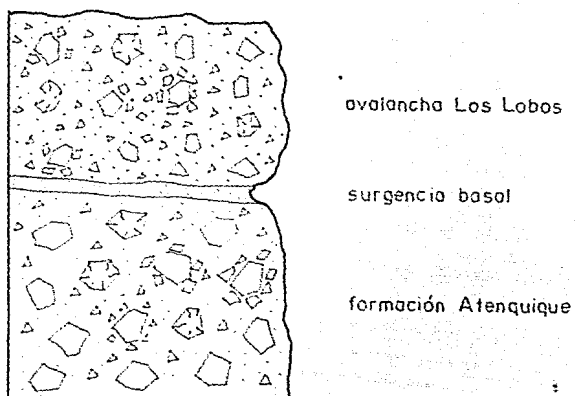


Figura 7.— Relaciones de contacto en el afloramiento tipo de la avalancha Los Lobos

En cuanto a su origen, la gran mayoría de los bloques y clastos que componen esta unidad, es de composición andesítica. El conjunto del material no presenta estructura definida alguna y en ciertas localidades es posible observar moldes de troncos de árboles arrastrados por la avalancha. Los troncos en sí, fueron posteriormente removidos por descomposición o, en algunos casos, quedaron como remanentes semicarbonizados.

## Avalancha San Antonio

El flanco suroccidental del Volcán de Colima difiere de una manera notoria del resto de las áreas circundantes al volcán. Los depósitos de la avalancha San Antonio se distribuyen fundamentalmente en esta zona y cubren un área de aproximadamente 30 km<sup>2</sup>, que conforma potentes espesores de un material volcánico-clástico (debris avalanche deposits). Sobre estos depósitos el terreno desarrollado es abrupto, con la presencia de altas paredes que han sido cortadas por la erosión a lo largo de barrancas como la de La Lumbre o San Antonio. Las colinas desarrolladas en estos depósitos son conocidas en la literatura en inglés con el nombre de hummocks (en español se propone el término de pilones, entendiéndose como un apilamiento de roca) y son una de las características principales de esta formación (Lámina 4, fig. 2).

En la Hacienda de San Antonio, ubicada 25 km al norte de la ciudad de Colima, se pueden observar depósitos de avalancha pertenecientes a esta unidad litoestratigráfica, producidos por el colapso de una parte del flanco meridional del Volcán de Colima, con espesores de entre 20 y 40 m. Estos depósitos se caracterizan por contener bloques de 1 a 2 m de diámetro, englobados en una matriz de grava y arena, con fragmentos líticos de tamaño promedio entre 10 y 20 cm. Todo este material está mezclado caóticamente y prácticamente sin clasificación alguna. En algunos afloramientos de esta formación es posible observar, en la



base, conglomerados y material epiclástico, seguidos por un horizonte delgado de depósitos de oleada basal (surge deposits), para continuar en la cima con los depósitos de avalancha típicos de esta unidad litoestratigráfica.

El contacto inferior de la avalancha San Antonio con la avalancha Los Lobos no fue observado, por estar cubierto con material epiclástico desprendido de esta misma unidad (lahares retrabajados). Se infiere, sin embargo, la existencia de un contacto discordante entre ambas unidades, ya que representan dos eventos totalmente diferentes. El contacto superior con la andesita La Lumbre es una discordancia cuyo ángulo es muy reducido, el cual puede ser observado en diferentes puntos a lo largo de la Barranca de La Lumbre (Lámina 2, secciones D-D' y E-E').

El volumen estimado para esta formación, incluyendo los afloramientos que quedan fuera del área de estudio, es de unos 3 km<sup>3</sup>, considerando un espesor medio de 100 m.

Establecer una única clasificación petrográfica para esta unidad es prácticamente imposible. Sin embargo, la mayoría de los bloques muestreados en diferentes sitios, incluidos dentro de la avalancha, fue clasificada como andesita de olivino con una textura porfídica, cuyos fenocristales más abundantes son de plagioclasa y constituyen entre un 15 a 20 % de la roca (Tabla 6).

Luhr y Prestegard (1985 y 1988) fecharon dos fragmentos de carbón encontrados dentro de esta unidad y obtuvieron edades de 4,280 +/- 110 y 4,360 +/- 140 años A.P. Estos autores han considerado que el colapso de una gran

parte del flanco meridional del Paleovolcán de Fuego sucedió hace aproximadamente 4,300 años, durante un solo evento, que distribuyó sus productos hasta zonas tan alejadas como la ciudad de Colima. Sin embargo, en este estudio se considera que la avalancha San Antonio es el resultado del último gran colapso del Paleovolcán de Colima, mismo que coincide con las edades obtenidas por Luhr y Prestegard, y cuyos productos no se distribuyeron tan ampliamente como los depósitos de avalanchas anteriores (e.g. avalancha Los Lobos).

#### Andesita La Lumbre

La andesita masiva de clinopiroxenos que aflora al poniente y surponiente del Volcán de Colima, siguiendo fundamentalmente el curso de la Barranca de La Lumbre y sus afluentes, desde sus partes más elevadas hasta una cota de 1,700 m.s.n.m., en este estudio es nombrada informalmente andesita La Lumbre.

Cuantitativamente, esta unidad constituye la mayor parte de las lavas emitidas por el actual Volcán de Colima. Estas lavas son posteriores a la formación del somma del Paleovolcán de Fuego y, por consiguiente, son parte fundamental de la estructura actual del cono del Volcán de Colima.

Las lavas emitidas por los domos Los Hijos, ubicados en el flanco meridional del Volcán de Colima (Lámina 1), también se han incluido dentro de la andesita La Lumbre.

La distribución de esta unidad litoestratigráfica es de aproximadamente 20 km<sup>2</sup>. Sobre esta área se ha desarrollado una vegetación escasa de pastizales, arbustos y árboles bajos, especialmente en la zona de la Barranca de La Lumbre, la cual, debido a su poca vegetación, resalta como rasgo sobresaliente en las fotografías aéreas, conformando un auténtico tobogán que baja de la zona del Playón hacia la Hacienda de San Antonio. El relieve desarrollado sobre esta unidad es bastante abrupto, especialmente los grandes saltos que se han labrado a lo largo de la barranca, así como las pronunciadas pendientes que constituyen los domos Los Hijos del Volcán.

El espesor promedio considerado para esta unidad es de 250 m, que permite calcular su volumen estimado en 5 km<sup>3</sup>.

El contacto inferior de esta unidad con la avalancha San Antonio se observó en afloramientos a lo largo de la Barranca de La Lumbre y fue interpretado como una discordancia de ángulo muy reducido. Esta discordancia marca el límite entre la actividad del Paleovolcán de Fuego y la del Volcán de Colima actual. El contacto superior con los lahares Cofradia no fue observado en el campo, ya que estos últimos tienden a distribuirse en las partes bajas del flanco suroriental, mientras que los derrames de la andesita La Lumbre se concentran en las partes más altas.

Petrográficamente, a las rocas de esta unidad litoestratigráfica se les clasificó como andesita de piroxenos y se trata de una roca holocristalina de textura porfídica-seriada. Los fenocristales constituyen el 20 % y

los mas abundantes son de plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y, en menor cantidad, olivino (Tabla 8). La matriz es una asociación de microcristales de plagioclasa, piroxenos, óxidos de hierro y vidrio. Los piroxenos suelen tener inclusiones de magnetita y, en algunas muestras, el olivino está alterado a iddingsita.

En la Tabla 9 se muestran los análisis químicos de seis muestras de lava incluidas dentro de esta unidad, los cuales reflejan contenidos de sílice inferiores al 62 %, que los ubica dentro del campo de las andesitas pobres en sílice.

De acuerdo con su posición estratigráfica, se considera que el tiempo de formación de esta unidad abarca fundamentalmente el periodo comprendido alrededor de los 4,300 años A.P. (Luhr y Prestegard, 1985), fecha que marca el fin de la actividad del Paleofuego, y todas las lavas y material piroclástico anteriores a 1869 A.D.

#### Lahares Cofradia

Se emplea el nombre informal de lahares Cofradia para una unidad constituida fundamentalmente por depósitos de lahares retrabajados, derrames piroclásticos y material lítico y pumítico de caída libre, la cual se distribuye principalmente en las partes mas bajas del flanco suroriental del Volcán de Colima.

En el extremo norte de la comunidad de Cofradia, ubicada 3 km al norte de Tonila (Lámina 1), se puede observar un contacto concordante entre dos paquetes. El

Tabla 8.- Análisis modales de muestras de la andesita La Lumbre, lahares Cofradía y andesita El Playón.

LITOEST.	MUESTRA	Pl	Ol	Cpx	Opx	Anf	Ox.Fe-Ti	Matriz	OBSERVACIONES
andesita Playón.	DM	10	1	2	1	1	1	84	Andesita de clinopiroxenos. Textura porfídica con una ocurrencia de 15 % de fenocristales. Matriz criptocristalina de Pl, vidrio y óxidos de hierro.
	35 Q	20	<1	2	1	2	5	69	Andesita de hornblenda. Textura porfídica. Matriz criptocristalina de Pl y vidrio. 15 % de ocurrencia de fenocristales de anhedrales a subhedrales.
lahares Cofradía.	50 Q	5	<<1	--	--	5	--	89	Diorita de hornblenda. Textura porfídica con una ocurrencia de fenocristales de 10 %. Matriz criptocristalina de Pl y vidrio. La muestra pertenece a un derrame de bloques y ceniza.
	51 Q	15	2	2	1	<1	1	78	Andesita de olivino. Textura porfídica-seriada. Matriz de Pl y piroxeno con un 20 % de fenocristales. La muestra es un clasto en un depósito de lahar.
andesita La Lumbre	CG 23	15	<1	1	<1	--	3	79	Andesita de clinopiroxeno. Textura porfídica seriada. Matriz criptocristalina de de Pl y Cpx con un 20 % de ocurrencia de fenocristales de anhedrales a subhedrales.
	20 Q	20	--	2	1	--	5	72	Andesita de augita. Textura porfídica-seriada. Matriz de Pl, Prx óxidos de hierro y vidrio. inclusiones de Mg en Prx.
	27 Q	20	1	2	1	<1	3	72	Andesita de clinopiroxeno. Textura porfídica-seriada. Matriz de Pl, Prx óxido de hierro y vidrio. El olivino está alterado.
	37 Q	35	-	2	1	-	10	52	Andesita de augita. Textura porfídica. Matriz de Pl, óxido de hierro. Fenocristales de anhedrales a subhedrales.

Tabla 4.- Análisis de metales totales de muestras de la  
andesita La Lumbre.

MUESTRA	04 0	06 17	7 JL	08 23	13 JL	11 JL
SiO <sub>2</sub>	59.64	59.13	61.51	57.11	56.43	58.66
TiO <sub>2</sub>	0.81	0.98	0.6	0.7	0.77	0.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.17	17.61	17.92	17.31	16.57	16.63
FeO*	1.69	1.61	1.03	1.38	1.57	1.44
MnO	0.11	0.11	0.1	0.12	0.11	0.11
MgO	1.66	1.98	1.91	1.66	1.93	1.97
CaO	0.07	0.09	0.7	1.36	1.55	1.18
Na <sub>2</sub> O	1.81	1.89	1.77	1.95	1.91	1.95
K <sub>2</sub> O	1.69	1.71	1.12	1.05	1.05	1.04
FLO <sub>2</sub>	0.16	0.15	0.2	0.11	0.17	0.0
H <sub>2</sub> O-	nd	nd	0.1	nd	0.13	0.15
H <sub>2</sub> O+	nd	nd	0.05	nd	0.05	0.05
Total	100.01	99.18	99.91	100.01	99.8	99.91

Análisis: 7 JL, 13 JL y 11 JL. en Lubr y Cermichael (1980).  
Si, S, CG 17 y 23. 23: J.L. Macías, Universidad de  
Florenza, Italia. Método FRX, excepto K y Mg, por  
absorción atómica.

inferior es un derrame piroclástico lítico-pumítico no consolidado, cuyos constituyentes son del tamaño de arena y arena gruesa, con materia vegetal carbonizada dentro de su matriz. La unidad superior es lahárica de clastos angulosos a subredondeados de tamaño promedio entre 10 y 20 cm, englobados en una matriz arenosa con escaso contenido de finos. La composición de los clastos es mayoritariamente andesítica, de textura afanítica (Tabla 8).

La Barranca La Tuna marca un límite importante en cuanto a la composición de esta unidad. Hacia el poniente de esta barranca, hay un claro predominio de lahares y derrames piroclásticos que contienen carbón intersticial, intercalados con horizontes de caída. En general, el grado de remoción del material es muy grande y es difícil identificar estructuras, sobre todo, en las partes más elevadas. La parte oriental de esta unidad, respecto a la Barranca La Tuna, representa un cambio de facies importante, caracterizándose principalmente por horizontes de material lítico-pumítico de caída, derrames piroclásticos (block and ash-flows) compuestos de bloques con un tamaño promedio de 50 cm. La composición de estos bloques es dacítica y están cubiertos por derrames lítico-pumíticos medianamente consolidados que, a su vez, están cubiertos por material de caída del tamaño de arena gruesa.

Por diferentes frentes de todo este conjunto de material, se desprendieron lahares que arrastraron parte de la roca pre-existente, incluyendo algunas cuya composición varía con respecto a la roca andesítica promedio. Estos

lahares cubrieron principalmente, y en forma irregular, las zonas circundantes a la comunidad de Cofradia, aunque se extendieron también hacia zonas próximas a la Barranca El Durazno-Beltrán, que forma el límite oriental de esta unidad. Es de suponerse que una cantidad importante de lahares ha avanzado a lo largo de esta barranca.

La edad de esta unidad es, sin lugar a duda, muy reciente. Sin embargo, la actividad histórica del Volcán de Colima con anterioridad a 1869 es escasamente conocida y, por consiguiente, es muy difícil determinar cual o cuales de los eventos explosivos fueron los responsables del emplazamiento sucesivo de todo el material que compone a esta unidad. Es por esta razón que en este estudio se ha optado por agrupar a esta diversidad de material, bajo el nombre informal de lahares Cofradia.

La distribución de los lahares Cofradia es de aproximadamente  $45 \text{ km}^2$  y el espesor medio considerado es de 20 m. De acuerdo con estos parámetros, se ha estimado un volumen de  $0.8 \text{ km}^3$  para esta unidad.

Los contactos inferior y superior con la andesita La Lumbre y la andesita El Playón, respectivamente, no se observaron, ya que esta unidad se distribuye principalmente hacia las zonas más bajas del volcán, en donde no hay afloramientos de lavas.



### Andesita El Playón

Las andesitas de hornblenda y piroxenos que constituyen los derrames de lava producidos por la actividad efusiva histórica del Colima, son denominadas informalmente en este estudio como andesita El Playón, debido a los imponentes derrames de lava en bloques que bajan a la zona de El Playón en el flanco septentrional del volcán.

Para fines prácticos del trabajo cartográfico se ha incluido dentro de esta unidad el material lítico-pumítico, tanto de flujo como de caída, que pertenece a la erupción pliniana de 1913. Este material se distribuyó tanto en el mismo Playón para darle así su forma plana, como fluyó a lo largo de las principales barrancas del flanco meridional, como son las de San Antonio, Montegrande y Beltrán (Waitz, 1915).

Los diferentes periodos de actividad que han producido el material de esta unidad, son los siguientes:

1869 (Los Volcancitos): Lava en bloques, producida por la actividad de un cono adventicio que se formó en el flanco nororiental del Colima, quedando actualmente dos estructuras dómicas alineadas E-W (Lámina 1), cuyos derrames de lava se distribuyeron hacia el norte, este y sureste, y están cubiertos en forma irregular por los depósitos de caída pertenecientes a la erupción de 1913.

1913: Fundamentalmente tefra y derrames piroclásticos, cuya distribución, en el caso de los derrames, estuvo condicionada por las profundas barrancas que bajan del

volcán hacia el sur. En el caso del material de caída, tiende a distribuirse selectivamente en los flancos del Colima y del Nevado (material grueso), con orientación al noreste, lo que concuerda con la dirección de los vientos predominantes, hacia donde se ubica el material más fino.

1961-1962: El reinicio de la actividad efusiva-constructora, después de la explosión destructora de 1913. Se trata de un derrame de lava en bloques cuya longitud es de aproximadamente 1 km, de forma lobular, que salió por el borde septentrional del cráter principal y fluyó por una de las profundas barrancas que bajan del cráter hacia el Playón.

1975-1976: La siguiente manifestación efusiva en el cráter del Colima se desarrolló durante diciembre de 1975 y junio de 1976, cuando la lava emergió por el borde oriental, produciéndose tres derrames, uno que se extiende unos 500 m de longitud hacia el noreste y otros dos que fluyeron hacia el sureste, encajonándose en profundas barrancas. Uno de estos derrames, el de la Barranca El Cafecito, alcanzó la cota 2,000 m.s.n.m. y se extendió aproximadamente 5 km. Thorpe y colaboradores (1977), quienes fueron testigos presenciales de esta erupción, describieron el desprendimiento de derrames piroclásticos de los frentes de lava, los cuales, en la actualidad, son difícilmente diferenciables de los lahares y material retrabajado que se encuentra en las partes más bajas del volcán.

1961-1982: La última actividad efusiva del Colima, conocida hasta la actualidad, se desarrolló durante

diciembre de 1981 y enero de 1982, cuando pequeñas cantidades de lava y escoria se derramaron por el borde meridional del cráter, llegando hasta la cota 3,000 m.s.n.m.

El límite o límites inferiores de esta formación son muy difíciles de establecer. En el caso del derrame de 1869, Sartorius (1871), Waitz (1906), Mooser (1961) y Luhr y Carmichael (1980) afirman que cubrió los restos del flanco oriental de la antigua caldera; esto quiere decir, que sobreyace en forma discordante a las lavas de la andesita La Membrillera.

Las dimensiones aproximadas de esta formación son también muy difíciles de conocer, ya que en el caso de la erupción de 1913, es muy escaso el material que ha quedado in situ, puesto que casi todo ha sido removido por la erosión.

Sin embargo, se considera una distribución de 10 a 15 km<sup>2</sup> con espesor medio de 50 m. Estas dimensiones arrojan un volumen de 0.750 km<sup>3</sup>, el cual, si se tomara en cuenta la distribución total de los depósitos de caída de la erupción de 1913, se vería notablemente incrementado.

Tanto las lavas, como el material tefrítico pertenecientes a esta unidad, son clasificadas como andesita de hornblenda. Texturalmente, la roca es porfídica, con abundancia relativa de plagioclasas cálcicas y ferromagnesianas. La matriz está constituida por microcristales de plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio (Tabla 8).

En la Tabla 10 se muestran los análisis químicos de seis muestras pertenecientes a los distintos derrames de lava y el derrame piroclástico de 1913 que integran esta unidad. De acuerdo a su contenido de  $\text{SiO}_2$ , el cual varía entre 57.57 y 61.02 %, se observa claramente que caen dentro del campo de las andesitas.

#### Gravas Cordobán

Se emplea el nombre informal de gravas Cordobán para referirse a los depósitos de gravas recientes que se acumularon en el flanco surponiente del volcán, en una depresión limitada por los depósitos de los lahares San Antonio.

Las barrancas El Cordobán, Zarco y San Antonio, que descienden de las partes más altas del volcán por su flanco suroccidental, hasta llegar al poblado de La Becerrera y unirse a la Barranca de La Lumbre, han canalizado el depósito de arena y grava que varía entre los 10 y 15 m en espesor.

Las gravas Cordobán se distribuyen en una superficie de aproximadamente 20  $\text{km}^2$  y constituyen una planicie de la cual sobresalen los grandes pilones o hummocks formados por la avalancha San Antonio. Su espesor es variable y en muy pocos casos sobrepasa los 15 m. De acuerdo con lo anterior, se estima un volumen de 0.3  $\text{km}^3$  para esta unidad. La depresión en la que se ubican estas gravas pudo haber sido una pequeña

Tabla 10. - Análisis de roca total de muestras de la andesita El Playon.

MUESTRA	2 JL	15 JL	17 JL	9 JL	30 JL	45 JL
SiO <sub>2</sub>	60.84	57.87	60.41	61.02	58.54	58.86
TiO <sub>2</sub>	0.62	0.79	0.72	0.84	0.72	0.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.18	17.40	17.17	17.72	17.41	17.36
FeO <sup>+</sup>	5.26	6.38	5.81	5.23	6.04	6.01
MnO	0.11	0.12	0.12	0.1	0.12	0.12
MgO	3.74	4.14	3.22	2.78	4.42	3.99
CaO	5.88	7.02	5.69	5.92	6.5	6.5
Na <sub>2</sub> O	4.76	4.4	4.67	4.7	4.84	4.52
K <sub>2</sub> O	1.46	1.18	1.4	1.4	1.18	1.21
PO <sub>5</sub>	0.22	0.19	0.22	0.21	0.19	0.19
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.49	0.49	0.13	0.08	0.17	nd
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.11	0.11	0.07	0.1	0.05	nd
Total	100.29	99.79	99.63	99.86	99.86	99.88

Análisis: 2 JL, 15 JL, 17 JL, 9 JL, en Luhr y Carmichael (1980).  
30 JL y 45 JL, en Luhr y Carmichael (1990).

cuenca cerrada, la cual fue drenada posteriormente a través de la Barranca de La Lumbre.

Este depósito de gravas es considerado como de alta energía, debido a que las fuentes de aporte, como son las lavas de la andesita La Lumbre y la avalancha San Antonio, se encuentran a más de 600 m de altura con respecto a esta planicie. Es posible pensar que el depósito de estas gravas se inició poco después del emplazamiento de la avalancha San Antonio. Sin embargo, ciertos alineamientos que se observan en dirección NE-SW y que coinciden con el curso de las principales barrancas, pueden ser los indicadores para considerar un fenómeno tectono-volcánico activo, el cual ha producido una gran cantidad de gravas en esta zona, en relativamente poco tiempo.

#### Depósitos de talud

Como depósitos de talud se considera todo aquel material desprendido que cubre una parte importante de las zonas altas del volcán desde el cráter hasta la cota 3,000 m.s.n.m., aproximadamente. Las características principales de la zona de talud son la ausencia total de vegetación y su pendiente, la cual es próxima al 45 %.

## ESTRUCTURA GEOLOGICA

De acuerdo con su estructura, el Volcán de Colima se clasifica como un típico volcán compuesto o estratovolcán, característico de márgenes continentales adyacentes a zonas de subducción (Cas y Wright, 1987, p.382). Este tipo de volcán está formado por alternancia de capas de tefra, derrames piroclásticos y de lava de composición eminentemente andesítica, los cuales pueden provenir de un cráter central o de conos adventicios asociados (Macdonald, 1972, p.280; Cas y Wright, 1987, p.382).

El edificio del Volcán de Colima tiene actualmente una forma cónica bastante regular, y tiene asociados dos conos adventicios, uno en el flanco meridional conocido como Los Hijos del Volcán, cuya edad aún no ha sido precisada, y otro en el flanco nororiental conocido como Los Volcancitos, que se formó en el año de 1869 (Lámina 5).

El cráter del cono terminal del volcán es de forma aproximadamente circular, con un radio promedio de 250 m. Está ocupado por un criptodomo de relieve irregular, con algunas depresiones y elevaciones, el cual está sujeto a una dinámica ascendente que ha generado una serie de fracturas concéntricas en la zona exterior y sólida del domo. De estas fracturas, la más importante coincide con el borde mismo del cráter, siendo una evidencia de esto el claro zoneamiento de las fumarolas y solfataras, las cuales se concentran fundamentalmente hacia los bordes y partes más externas del cráter. El levantamiento continuo del domo, asociado con el

intenso fracturamiento, provoca constantes colapsos de la roca sólida hacia las partes centrales del cráter, así como hacia las pendientes del cono volcánico mismo.

La base septentrional del Volcán de Colima, en la zona conocida como El Playon, se localiza aproximadamente en la cota de 3.100 m.s.n.m. y se encuentra rodeada por un anfiteatro. La pared interior de este anfiteatro es vertical, con una altura de 200 m en sus partes más altas que, a su vez, constituye la traza del tramo de una falla circular cuyo bloque meridional está caído (Lámina 1). Dicha falla limita la caldera del Paleovolcán de Colima o somma, el cual fue destruido por erupciones catastróficas con una fuerte componente lateral, que le imprimieron una forma de herradura abierta hacia el sur, en medio de la cual creció el cono actual del Volcán de Colima (Lámina 2, sección F-F'). Su base meridional, coincide aproximadamente con la base de los conos parásitos de Los Hijos del Volcán, a una altura de 2.400 m.s.n.m. La diferencia de alturas entre los flancos septentrional y meridional, hace pensar que el edificio mismo del Volcán de Colima esté plantado sobre un basamento inclinado hacia el sur-suroeste, cuya pendiente se estima en 20 %. En la Lámina 2 (secciones AA', BB', CC', DD' y EE'), se muestra una interpretación del basamento que sostiene a los volcanes de Colima, el cual está constituido por rocas cretácicas de ambiente marino y plegadas, según se infiere del mapa geológico escala 1:250.000, Hoja Colima de INEGI (DGGTN, 1982) (Figura 4). De acuerdo a esto, se supone que estos pliegues constituyen una zona levantada, misma que



subyace a la secuencia volcánica de los volcanes de Colima y, por consiguiente, la inclinación que presenta el edificio actual del Volcán de Colima, estaría en primera instancia controlada por el buzamiento hacia el sur de las estructuras plegadas cretácicas, las cuales quedaron cubiertas por potentes espesores de rocas volcánicas del Terciario, cuyo emplazamiento estuvo controlado, de la misma manera, por la topografía preexistente.

Las fallas y fracturas principales que, aparentemente, afectan al edificio del Volcán Colima tienen dos orientaciones predominantes. Una de norte a sur, la cual coincide con el alineamiento de la cadena volcánica Cántaro-Nevado-Colima-Hijos del Volcán y otra, de noreste a surcste, que coincide con una serie de alineamientos en esta dirección a lo largo de las barrancas de La Lumbre, El Zarco y Córdoba, al suroeste del volcán, y se continúa por los conos parásitos de Los Volcancitos, hasta coincidir con una estructura de aparente fallamiento normal ubicada al noreste del volcán, la cual corre paralela a la Barranca de Atenquique (Lamina 1). De este fracturamiento, se considera que el de orientación NE-SW es más reciente y aún activo. Lo anterior se deduce de la existencia de terrazas en el área de afloramiento de las gravas Córdoba, las cuales podrían adjudicarse a una actividad tectónica local de levantamiento, así como por el carácter indudablemente reciente de los conos parásitos de Los Volcancitos.

En la Sierra de Manantlán, inmediatamente al poniente del Volcán de Colima y fuera del área de estudio, las rocas del basamento cretácico presentan espejos de falla con orientación aproximada de N30°E y con estrias indicando desplazamiento horizontal siniestro. Estos coinciden en orientación, con otro espejo de falla que contiene igualmente estrias horizontales, y que aflora en la Barranca de Beltrán al suroriente del volcán (Lámina 1), el cual afecta a brechas volcánicas de edad igualmente cretácica. La traza de esta falla de desplazamiento lateral coincide con los rasgos tectónicos de orientación noreste, reportados por Serpa y colaboradores (1990), así como con la zona de falla Atenquique-Tuxpan-Tamazula descrita por Paez y Pantoja (1990). La edad del fallamiento en las rocas cretácicas, así como su relación con la actividad tectónica local del Colima, son aún inciertas.

Sin lugar a duda, la erupción de mayo de 1980 del Volcán St. Helens en los Estados Unidos de América (Lipman y Mullineaux, 1981), marcó un importante parteaguas en la interpretación de este tipo de estructuras volcánicas. El Volcán de Colima presenta características tan similares a las del Volcán St. Helens, que en gran parte de la bibliografía moderna (Robin *et al.*, 1987; Luhr y Prestegard, 1988) se ha clasificado a la destrucción del Paleovolcán de Colima, como un evento de tipo St. Helens.

En relación con lo anterior, Siebert (1984) introdujo el término de caldera de avalancha, para las depresiones que difieren en morfología y origen, de las calderas formadas

por colapso, erosión o explosión. Este autor hizo un análisis comparativo en varias calderas de avalancha dentro de las cuales incluye al St. Helens (Figura 8). Sus resultados indican que el volumen de material faltante en la estructura del volcán destruido, es comparable con el volumen del material disperso en la base de éste. Como una conclusión, el mismo autor sugiere que el proceso dominante en el origen de este tipo de estructuras, no es por explosión destructiva del cono, sino por el deslizamiento masivo de una porción importante de uno de los flancos del edificio volcanico.

En este sentido, el Paleovolcán de Colima puede considerarse como una estructura típica de caldera de avalancha, ya que su flanco meridional se deslizó en cuando menos dos ocasiones. En la Figura 8, se incluyen datos de los volúmenes de las avalanchas Los Lobos y San Antonio.

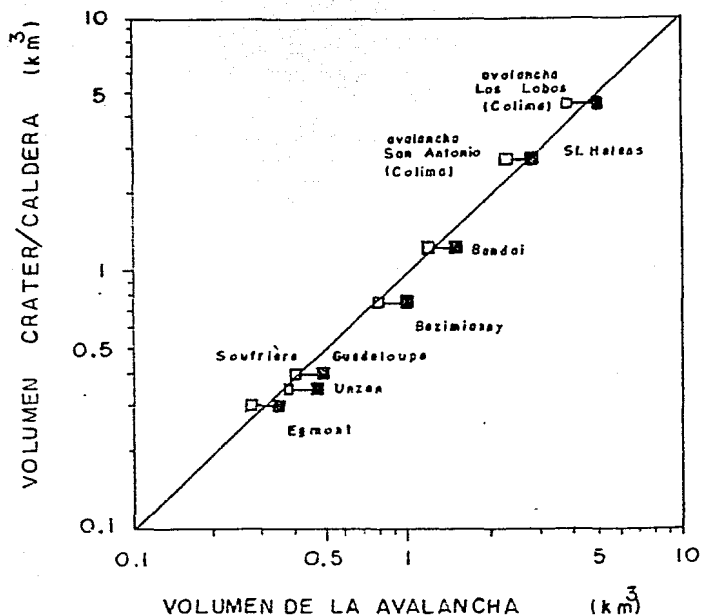


FIGURA 8. ANALISIS COMPARATIVO DE ALGUNAS CALDERAS DE AVALANCHA.

■ Volúmenes medidos de depósitos de avalancha  
 □ Volúmenes calculados del cono destruido  
 Modificado de Siebert (1984, p.165).

## EVOLUCION PETROGENETICA

El objetivo de este capítulo no es presentar un análisis detallado del comportamiento geoquímico de los materiales arrojados por los volcanes de Colima, ya que esto ha sido tratado ampliamente con diversos métodos en estudios anteriores (Luhr y Carmichael, 1980, 1982, 1990; Demant, 1981; Robin, et al., 1987, 1990). Sin embargo, se consideró necesario incluir en este estudio, una interpretación generalizada de la composición geoquímica de muestras tomadas de algunas de las unidades litoestratigráficas ya propuestas en el capítulo de Estratigrafía, en especial las que están constituidas por derrames de lava y depósitos de tefra, esto es, material fundamentalmente juvenil.

En las Tablas 1, 3, 5, 7, 9 y 10 se muestran los análisis químicos de los elementos mayores en roca total, en 31 muestras, distribuidas de la siguiente manera: tres del basamento cretácico, cinco de la andesita La Calle, dos de la formación Atenquique, cuatro de la toba Los Mazos, una de la dacita Loma Alta, cuatro de la andesita La Membrillera, seis de la andesita La Lumbre y seis de la andesita El Plavon. Las avalanchas San Antonio y Los Lobos, y los lahares Cofradía, no se sometieron a análisis debido a la heterogeneidad de sus componentes.

Siguiendo el orden estratigráfico propuesto, las Figuras 9 y 10 muestran, de manera generalizada, un comportamiento geoquímico probable para cada una de las unidades litoestratigráficas. En la Figura 9, los diagramas

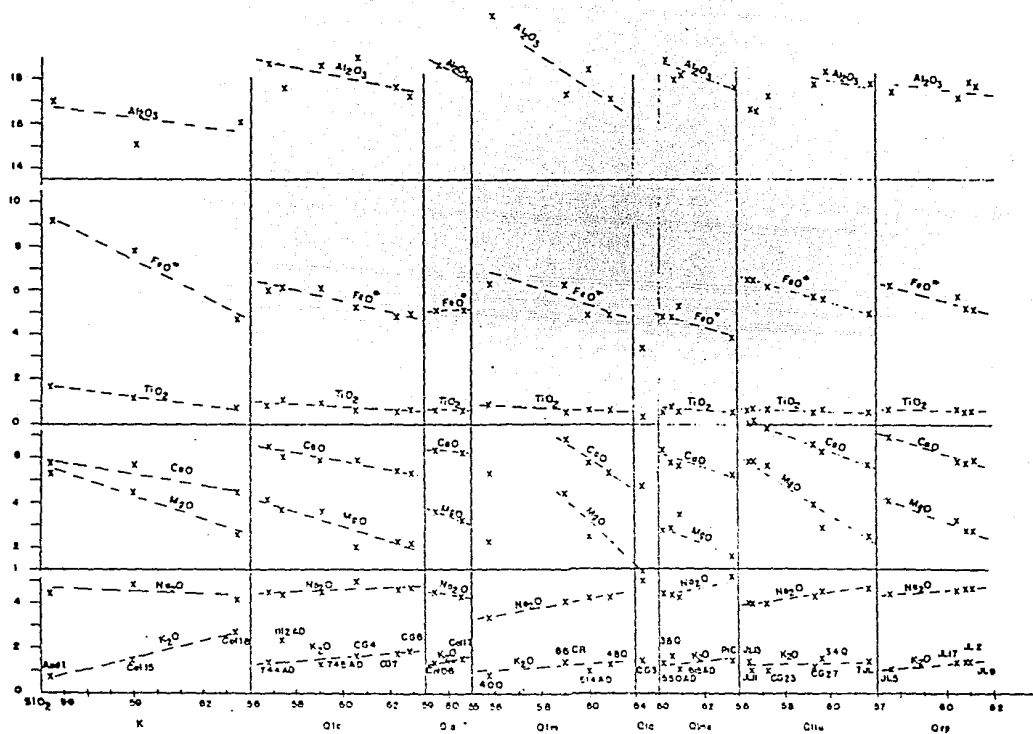


FIGURA 9. DIAGRAMAS DE HARKER DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS. K, Cretácico; Olc, andesita La Calle; Oa, formación Atanquique; Olm, toba Los Mazcos; Olme, andesita La Membrillera; Ollu, andesita La Lumbre; Cep, andesita El Plavón



de Harker evidencian los cambios en el patrón de comportamiento de cada una de las unidades analizadas. De esta figura puede deducirse que los elementos que presentan mayores variaciones entre las unidades, son:  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $FeO^+$  y  $Al_2O_3$ . Aunque en general puede decirse, que la evolución petrogenética de los volcanes de Colima se ha mantenido bajo patrones muy similares a lo largo de su historia.

Evidentemente, dentro de una misma unidad litoestratigráfica, se manifiestan variaciones importantes en el comportamiento geoquímico (Figura 10), ya que una sola unidad incluye diferentes eventos volcánicos, cada uno de los cuales con su propia caracterización geoquímica. Uno de los ejemplos más claros de esto se presenta en las erupciones históricas de 1869 y 1913 (muestras 2 JL y 15JL, Figura 10), incluidas dentro de la andesita El Playón, en donde el decremento en  $SiO_2$ , y los incrementos en  $FeO^+$ ,  $MgO$  y  $CaO$ , indican el carácter más básico de la erupción explosiva de 1913, con respecto a la erupción precedente, cuando se formaron Los Volcancitos. Petrográficamente (Tabla 8), esta unidad está representada por una andesita de hornblenda y piroxenos, clasificación acorde con su campo de variación de  $SiO_2$ .

El cambio hacia la unidad inferior, que es la andesita La Lumbre, se manifiesta igualmente por una disminución considerable del contenido de  $SiO_2$  y un aumento en  $FeO^+$ ,  $MgO$  y  $CaO$  con respecto a la erupción de 1869. Sin embargo, la muestra 7JL vuelve a registrar un súbito incremento del  $SiO_2$  (Fig. 10). La Tabla 8, muestra algunos tipos de roca y sus



características petrográficas para esta unidad, dentro de las que predomina la andesita de augita.

Un patrón errático similar se presenta para la andesita La Membrillera, en donde una muestra (PIC) queda ubicada en el límite entre las andesitas y las dacitas, de acuerdo con su contenido de  $\text{SiO}_2$ . Sin embargo, petrográficamente (Tabla 6) se clasificó como una andesita de olivino, la cual, de acuerdo con su análisis químico, resultó ser alta en  $\text{SiO}_2$ .

Las cuatro unidades que constituyen el grupo Nevado presentan patrones mas bien diferentes entre si, con la excepción de la dacita Loma Alta, la cual muestra una continuidad con la toba Los Mazos. Petrográficamente (Tabla 6), al domo dacítico Loma Alta se le clasificó como una dacita de augita. Por cuanto se refiere a la toba Los Mazos, una de sus características es el contenido de cristales de minerales ferromagnesianos y líticos. A estas dos unidades, se les considera íntimamente relacionadas entre si, pudiendo ser la dacita Loma Alta, producto del magma más evolucionado del Volcán Nevado de Colima, y la fase terminal de la actividad que originó la toba Los Mazos. La unidad inmediatamente inferior, la formación Atenquique, está constituida principalmente por derrames piroclásticos, material epiclástico y algunas lavas, las cuales fueron clasificadas petrográficamente (Tabla 2) como andesita de olivino. Finalmente, la andesita La Calle presenta un patrón de variación en el  $\text{SiO}_2$ , el cual refleja una cierta evolución del magma (Figura 10). Sin embargo, si se consideran el  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ , el patrón de variación

es mas bien errático. Esta unidad tiene una amplia variación petrográfica, con tendencia a la andesita de piroxenos (Tabla 2).

Tanto en la Figura 9 como en la Figura 10, es claramente identificable el comportamiento diferente que presentan las rocas del basamento cretácico, con respecto a toda la secuencia volcánica de los volcanes de Colima. Es significativo el hecho de que la muestra mas básica de todas las que se analizaron, AND I (Tabla 1), pertenece a la andesita zeolitizada y constituye parte del basamento de los volcanes de Colima.

## RIESGO VOLCANICO

De la historia eruptiva del Volcán de Colima (Waitz, 1932; Medina-Martínez, 1983), es posible deducir el grado de peligrosidad que tiene un volcán de esta naturaleza.

En el mapa geológico (Lámina 1), y en la secciones estructurales (Lámina 2), se puede observar la gran diversidad y distribución de los depositos volcánicos que se han derivado de los volcanes de Colima a lo largo de su historia. De la misma manera, puede deducirse que la distribución de los diferentes depositos, ha respondido a un orden de tipo preferencial, y que la influencia de variables físicas como la velocidad y dirección del viento predominante, pendientes y barrancas principales, barreras topográficas, ... etc, ha sido determinante.

Se elaboraron dos mapas de riesgo volcanico (Láminas 6 y 7), en los que se tomaron en cuenta los diferentes tipos de erupción que se esperan en el Colima, así como la distribución que los productos alcanzarían dentro del área de estudio. Las zonas de riesgo propuestas en estos mapas, se refieren a seis tipos diferentes de manifestaciones volcánicas. En la Lámina 6 se agrupan los derrames piroclásticos, los lahares y corrientes de lodo y los depositos de tefra; en la Lámina 7 se agrupan los derrames de lava, las explosiones freáticas y los depositos de avalancha y surgencia basal. El objetivo de estos mapas de riesgo volcánico, es delimitar aquellas áreas que pudieran

verse afectadas en mayor o menor grado, por cualquiera de los eventos antes mencionados.

#### Derrames de lava

Prácticamente todas las erupciones de lava que han ocurrido entre 1961 y 1982, se han restringido a la zona del Playon en las partes altas del flanco septentrional, y a las barrancas que descienden por el flanco meridional (Barranca El Cafecito, Barranca Santa Ana). Las fuentes de estas erupciones parecen haber sido las fracturas que se localizan en la zona somital. Por esta razón, se considera que las partes altas de los flancos meridional y septentrional, especialmente las barrancas de La Lumbre, Playa de Montegrande, del Muerto, la Tuna y Santa Ana, parecen tener mayores probabilidades de ser afectadas por erupciones efusivas.

La posibilidad de que se forme otro cono parasito en alguno de los flancos, no es descartable, ya que se tiene un antecedente histórico que es la construcción de Los Volcancitos en 1896. La ocurrencia de un fenómeno de esta naturaleza se plantea, como más probable, en los flancos meridional o suroccidental, por presentar estos mayores rasgos de debilidad en el terreno (los alineamientos NE-SW y N-S mencionados en el capítulo de estructura geológica)

## Material de caída

El Volcán de Colima ha manifestado diferentes grados de explosividad a lo largo de su historia. Es un hecho, que la cantidad, tamaño y distribución del material de caída, están en función del grado de explosividad de la erupción y de la dirección y fuerza del viento que fueron predominantes en ese momento.

La dirección predominante de los vientos en la región es hacia el noreste y, por esta razón, la mayor parte de los depósitos de ceniza y material de caída libre se concentra hacia el noreste y este del volcán. Es claro que la concentración y tamaño de estos productos disminuyen con la distancia de la fuente de emisión. Digno es de mencionar que asentamientos urbanos como Ciudad Guzmán, Zapotiltic, Tuxpan y Tamazula, que se encuentran fuera del área de estudio, podrían verse afectados por una lluvia constante de cenizas.

## Lahares y corrientes de lodo

Los depósitos laháricos más importantes se localizan en las partes bajas de los flancos meridional, suroriental y suroccidental, entre los poblados de La Becerrera, La Lima, El Naranjal, Montitlán, Tonila, Cofradía y San Marcos, principalmente. El emplazamiento de los lahares y corrientes de lodo ocurriría como proceso secundario, al desprenderse los frentes de derrames piroclásticos, de lava o taludes inestables de material de caída, que al mezclarse con agua de lluvia o freática, son capaces de adquirir gran movilidad encañalados aguas abajo. Por consiguiente, las barrancas de

La Lumbre, El Zarco, Cordobán, San Antonio, Playa de Montegrande, Santa Ana, del Muerto, La Tuna, Beltrán y El Durazno, serian los cauces preferentes para el descenso de lahares y corrientes de lodo.

Los lahares y corrientes de lodo, están mas bien asociados con la temporada de lluvias, la cual suele ser muy intensa durante los meses de junio a octubre, especialmente en las partes altas del volcán. Los flancos oriental, suroriental y suroccidental, son los que presentan pendientes mas abruptas, de la misma manera, en las partes elevadas se concentra material fácilmente desprendible, el cual, potencialmente, es la fuente de aporte para la ocurrencia de corrientes de lodo y escombros. Los poblados de Atenquique (fuera del área de estudio), Platanar, Queseria (fuera del área de estudio), San Marcos y La Becerrera, quedan incluidos dentro del área de afectación de un fenomeno de esta naturaleza.

#### Explosiones freáticas

Este tipo de manifestaciones queda restringido a la zona del cráter y suele ocurrir sin ninguna señal premonitoria alguna. La última manifestación de esta naturaleza en el Volcán de Colima ocurrió en julio de 1987, dejando como evidencia un crater de explosion de forma ovalada, de aproximadamente 5 m de profundidad, localizado en el borde meridional del domo.

Este tipo de manifestaciones puede producir derrumbes de importantes proporciones, aunque sólo en áreas proximales.

## Derrames piroclásticos

Por ser la más reciente la erupción altamente explosiva de 1913, es el ejemplo más típico de un evento eruptivo capaz de generar todos los tipos de derrames piroclásticos (derrames de pómez y liticos calientes, surgencias, nubes ardientes, / etc). Prácticamente todos los flancos del volcán se verían afectados por una erupción de esta naturaleza. Sin embargo, desde el momento en que este tipo de depósitos tenga una tendencia al encañalamiento, las principales barrancas que controlarían el descenso de los derrames piroclásticos serían La Lumbre, Cordobán, Playa de Montegrande, del Muerto, La Tuna, Santa Ana, Beltrán y El Durazno. Por consiguiente, los poblados y asentamientos susceptibles de ser afectados serían: San Antonio, La Becerrera, El Jabalí y La Yerbabuena al suroeste, y Quesería, Tonila, Cofradía y San Marcos al sur y sureste.

Los derrames piroclásticos tienen una gran movilidad y generalmente se desplazan a altas velocidades, con temperaturas superiores a los 500° C. Una de sus características más importantes es la capacidad de remontar pendientes.

## Avalanchas y surgencias basales

La ocurrencia de avalanchas y surgencias basales relacionadas con el desprendimiento de un gran sector del edificio volcánico, es sin lugar a dudas, muy difícil de predecir. Sin embargo, resulta claro en la geología, que en la etapa inmediatamente anterior al actual Volcán de Colima

(Paleovolcán de Fuego), sucedieron esta clase de fenómenos, teniendo como consecuencia la casi total destrucción del edificio volcánico.

Para este tipo de erupciones, se considera como zona de alto riesgo a todo el flanco meridional del Volcán de Colima. Su distribución afectaría a prácticamente todos los poblados que se encuentran en este sector. Hay evidencia de este tipo de depósitos en zonas tan alejadas como la misma ciudad de Colima, distante aproximadamente 30 km del volcán. Los depósitos de avalancha, de edad más reciente, se pueden observar en el flanco suroccidental del volcán, en los alrededores de las haciendas de San Antonio y El Jabali.

El máximo peligro para este tipo de depósitos además de su amplia distribución, es que no están condicionados por la topografía y generalmente son de alta temperatura.

#### Algunas consideraciones sobre su monitoreo

Durante los años de 1988-89, el autor estuvo involucrado en una campaña de muestreo de gases volcánicos en la zona del cráter del Volcán de Colima, conjuntamente con investigadores de la Universidad de Florencia, Italia. La conclusión de estos trabajos fue la imposibilidad de tomar muestras representativas del contenido de gases típicamente de origen magmático ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ , Cl, F, etc). debido al intenso fracturamiento existente en la parte somital, lo que permite la circulación libre de aire, con la consecuente disminución de la temperatura y concentración de los gases. Sin lugar a duda, los problemas que representa el



muestreo de gases debido a las condiciones del cráter, son muy grandes y, hasta la fecha, no se han podido obtener resultados satisfactorios que permitan un monitoreo confiable a través de este método.

El estudio de la geología del Volcán de Colima es un trabajo, sin lugar a duda, ya avanzado, pero que aún requiere de mayor grado de detalle para su conocimiento integral. En un estudio publicado recientemente, Luhr y Carmichael (1990), presentan un método de monitoreo petrológico, el cual asocia el incremento de MgO en las rocas, con la proximidad de un evento paroxismico. Según las conclusiones de estos investigadores, una erupción de este tipo no está muy lejana en tiempo.

Sin embargo, son los métodos físicos como la sismología y estudios de deformación del terreno, los que más eficiencia han mostrado en el monitoreo de erupciones volcánicas, ya que pueden ser telemetrizados. Los problemas de acceso al volcán hacen necesario poner el mayor énfasis en este tipo de métodos, con el objetivo de mantener una vigilancia y monitoreo permanente de éste y que, a su vez, permita conocer con cierta anticipación una inminente erupción y, quizá, el posible tipo de ésta.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se proponen informalmente 11 unidades litoestratigráficas, las cuales resultaron de la actividad sucesiva de tres estratovolcanes: el Nevado de Colima, el Paleovolcán de Colima o Paleofuego, y el Volcán de Colima o Volcán de Fuego actual.

De las 11 unidades, las cuatro inferiores forman el llamado grupo Nevado, que abarca mas de la tercera parte del mapa geologico (Lamina 1) y, si se consideran las áreas colindantes al norte del área de estudio, su volumen total sobrepasa los 500 km<sup>3</sup>.

Es muy complejo establecer un limite estratigráfico preciso entre la aparición de los primeros productos del Paleovolcán de Colima y los ultimos del Nevado de Colima. Los productos del Paleovolcán de Fuego se han agrupado en tres unidades litoestratigraficas, las cuales tienen un volumen total aproximado de 13 km<sup>3</sup> y sobreyacen discordantemente al grupo Nevado. Las dos unidades superiores, que son la avalancha Los Lobos y la avalancha San Antonio, fueron el resultado de dos diferentes procesos que destruyeron por completo el flanco meridional del edificio volcánico, y sus productos fueron dispersados en una vasta superficie del Valle de Colima al sur del Paleovolcán de Colima. El ultimo de estos eventos pudo haber ocurrido hace 4,300 años A.P. (Luhr y Prestegard, 1988).

De acuerdo con lo anterior, la historia del Volcán de Colima actual, se reduciría aproximadamente a los últimos 4,000 años, tiempo durante el cual ha construido su edificio. Cuatro son las unidades litoestratigráficas que han conformado al Colima: la andesita La Lumbre, los lahares Cofradía, la andesita El Playon y las gravas Cordobán. El volumen total aproximado que se estima para las cuatro unidades es de 7 km<sup>3</sup>. De acuerdo con su geología, el Volcán de Colima ha experimentado casi todos los tipos de erupción, desde las peleanas (altamente explosivas), que han destruido partes importantes de su cráter (1913, 1818), hasta las efusivas, las cuales han arrojado volúmenes considerables de lava, cenizas y bombas.

La geoquímica de las rocas, según puede verse en las Figuras 9 y 10, tiene una tendencia a mostrar cambios importantes en los límites de las unidades litoestratigráficas. Estos cambios son aún mas evidentes en el MgO, CaO, FeO<sup>4</sup> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sin embargo, puede afirmarse que, de acuerdo con los análisis incluidos en este estudio, la composición química promedio de las rocas de los volcanes de Colima, ha sufrido pocos cambios, predominando de una manera importante las andesitas de olivino y piroxenos.

Sin lugar a duda, el Volcán de Colima tendrá erupciones futuras y no es cosa fácil predecir cuando y de qué tipo serán estas. Sin embargo, se puede afirmar con base en los registros históricos existentes (Waitz, 1934; Medina-Martínez, 1983), así como por su geología, que este volcán ha experimentado erupciones altamente explosivas en

repetidas ocasiones y, por consiguiente, es capaz de reincidir.

Las Laminas 6 y 7 presentan una zonificación de las zonas de riesgo incluidas en el área de estudio, considerando fenómenos como derrames de lava, ceniza y material de caída libre, lanares y corrientes de lodo, explosiones freáticas, derrames piroclásticos, avalanchas y surgencias basales..

El conocimiento geológico cada vez mas detallado del Volcán de Colima es, sin duda alguna, necesario para el establecimiento de programas de monitoreo y mapas de riesgo cada vez mas eficientes, tarea que puede aún tomar algo de tiempo a las personas actualmente implicadas en su estudio. Sin embargo, su vigilancia debe de ser permanente en aspectos físicos como sismicidad y deformación del terreno, con el objetivo de registrar fenomenos premonitorés de una probable erupción volcanica futura y mitigar, en la mayor medida posible, las pérdidas que de acuerdo con su intensidad esta provocaria.

## AGRADECIMIENTOS

La idea original para llevar a cabo el presente estudio, surgió de las discusiones sostenidas con el Dr. Fernando Ortega Gutiérrez, en las que se analizaron las opciones mas viables para el estudio de alguno de los volcanes activos de Mexico. Agradezco de manera especial al Dr. Ortega, todo el apoyo y la motivación que he recibido de su parte, a lo largo del desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Zoltan de Cserna agradezco no solamente sus multiples revisiones criticas y acertadas sugerencias, sino tambien el haber aceptado dirigirme esta tesis. Sin duda, sus consejos y ayuda desinteresada que siempre me ha brindado, han sido determinantes en mi superación académica.

Las observaciones de campo y las discusiones sostenidas con los doctores Michael F. Sheridan y James Luhr, asi como con Gary Stoops, Claus Siebe y Bruno Capaccioni, fueron de gran importancia para clarificar algunas de las ideas aquí expresadas.

Agradezco de manera especial al Sr. Javier Osorio, la realizacion del dibujo del mapa geológico, las secciones estructurales y los mapas de riesgo.

El Sr. Esteban Monroy procesó los mapas originales para su impresión final.

Los análisis químicos de las muestras colectadas, fueron realizados por José Luis Macías durante su estancia en la Universidad de Florencia, Italia, y por el Dr. Steve Nelson de la Universidad de Tulane.

Desde mi ingreso al Instituto de Geología, esta institución me ha brindado un invaluable apoyo para mi formación dentro del campo de la volcanología; dedico este trabajo a mis compañeros del instituto, con quienes he intercambiado ideas y amistad a lo largo de todos estos años.

Esta tesis la dedico especialmente a mi esposa, Ingrid; su ayuda, comprensión y cariño, sin lugar a dudas me han aligerado el camino. Y por supuesto a mi hijo David, el más activo y fantástico volcán que hay en casa.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

Alencáster, Gloria, y Pantoja-Alor, Jerjes, 1986, Coalcomana ramosa (Boehm) (Bivalvia-Hippuritacea) del Albiano temprano del Cerro de Tuxpan. Jalisco: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 47, p.33-46.

Allan, J.F., y Carmichael, I.S.E., 1984, Lamprophyric lavas in the Colima graben, SW Mexico: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 88, p.203-216.

Allan, J.F., 1986, Geology of the northern Colima and Zacoalco Grabens, southwest Mexico: Late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt: Geologic Society of America Bulletin, v.97, p.473-485.

Araña-Saavedra, Vicente, y Ortiz-Ramis, Ramón, 1984, Volcanología: Madrid, Editorial Rueda, 510 p.

Arreola, J.M., 1903, The recent eruptions of Colima: Journal of Geology, v. 11-8, p.749-761.

----- 1915, Catalogo de las erupciones antiguas del Volcán de Colima: Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate (México), v. 32, p. 443-481.

Eárcena, Mariano, 1887, Informe sobre el estado actual del Volcán de Colima: Mexico D.F., Secretaria de Fomento, 40 p.

Cas, R.A.F., y Wright, J.V., 1987, Volcanic successions, modern and ancient: Londres, Allen and Unwin, 528 p.

CETENAL, 1982, Hoja Venustiano Carranza (E-13-B-24): México D.F., Secretaria de Programación y Presupuesto, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta Topográfica escala 1:50,000.

Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1983, Código estratigráfico norteamericano 1983: México, D.F., Instituto de Geología UNAM, Sociedad Geológica Mexicana, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 87 p.

Constantino-Herrera, Sergio, 1966, Geología de los volcanes de Colima: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis de licenciatura 62 p. (inedita).

De la Fuente, Mauricio, Cserna, Zoltan de, Mena, Manuel y Aiken, C.L.V., 1990, Anomalías potenciales en el Volcán de Colima: Colima, Universidad de Colima, Memorias de la Segunda Reunión Nacional "Volcán de Colima" y 1ª Reunión Internacional de Vulcanología, p. 37 (resumen).

Demant, Alain. 1978. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 2. p.172-187.

----- 1979. Vulcanología y petrografía del sector occidental del Eje Neovolcánico: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 3, p.39-57.

----- 1981. L'Axe Neo-volcanique Transmexicain. Etude Volcanologique et Petrographique, signification géodynamique: Marseille, Université de Droit, D'Economie et des Sciences D'Aix- Marseille, disertación doctoral, p. (inedita).

DETENAL, 1988, Hoja Cuauhtemoc (E13B35): México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección de Estudios del Territorio Nacional, Carta Topográfica escala 1:50,000.

DGGTN, 1981, Hoja Guadalajara: México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, Carta Geológica escala 1:1,000,000.

DGG, 1982, Hoja Colima (E13-3): México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección General de Geografía, Carta Geológica escala 1:250,000.

Díaz, Severo, 1903, Las últimas erupciones del Volcán de Colima a la luz de nuestra diaria observación: Soc. Astronom. de Mex., Ed. Aguilar e hijos, 17 p..

----- 1906, Efemerides del Volcán de Colima, según las observaciones practicadas en los observatorios de Zapotlán y Colima de 1893 a 1905: Mexico, D.F., Congreso Geológico Internacional, 10. t. 11, p.763.

Drummond, K.J., ed., 1981, Plate tectonic map of the circum-Pacific region, northeast quadrant: Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, scale 1:10,000,000.



INEGI, 1987, Hoja Ciudad Guzmán (E13B25); México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Carta Topográfica escala 1:50,000.

----- 1986, Hoja Comala (E-13-B-34); México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Carta Topográfica escala 1:50,000.

Johnson, Christopher, 1987, A study of neotectonics in central Mexico from Landsat thematic mapper imagery: Miami, Florida, University of Miami, tesis de maestría, 111 p. (inérita).

Lipman, P.W., Moore, J.G., y Swanson, D. A., 1981, Bulging of the north flank before the May 18 eruption-Geodetic Data, in Lipman, P.W., y Mullineaux, D.R., eds., The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington: Geological Survey Professional Paper 1250, p.143-155.

Luhr, J.F., y Carmichael, I.S.E., 1980, The Colima volcanic complex, Mexico; I. Post-Caldera andesites from Volcán Colima: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 71, p. 343-372.

----- 1981, The Colima volcanic complex, Mexico; Part II. Late Quaternary cinder cones: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 76, p.127-147.

----- 1982, The Colima volcanic complex, Mexico; Part III. Ash and scoria-fall deposits from the upper slopes of Volcán Colima: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 80, p.262-275.

----- 1990, Petrological monitoring of cyclical eruptive activity at Volcán Colima, Mexico: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 42, p.235-260.

Luhr, J.F., y Frestegaard, K.L., 1985, Caldera formation at Volcan Colima, Mexico; a large, Mount St. Helens-type avalanche event 4,300 years ago: EOS, Transactions of the American Geophysical Union, v. 66, p.411 (resumen).

1988. Caldera formation at Volcán Colima, Mexico, by a large Holocene volcanic debris avalanche: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 35, p.335-348.

Luhr, J.F., Nelson, S.A., y Carmichael, I.S.E., 1985. Active rifting in southwestern Mexico: manifestations of an incipient eastward spreading-ridge jump: *Geology*, v. 13, p.54-57.

Macdonald, G.A., 1972. *Volcanoes: New Jersey*, Prentice-Hall, 510 p.

Martín del Pozzo, A.L., Romero, V.H., y Ruiz Kitcher, R.E., 1987. Los flujos piroclásticos del Volcán de Colima, México: *Geofísica Internacional (México)*, v. 26, p. 291-307.

Medina-Martínez, Francisco, 1983. Analysis of the eruptive history of the Volcán de Colima, Mexico (1560-1980): *Geofísica Internacional (México)*, v. 22-2, p. 157-178.

Mooser, Federico, 1961. Los volcanes de Colima *in* Fenómenos geológicos de algunos volcanes mexicanos: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 61, p.49-71.

Ordóñez, Ezequiel, 1897. Les Volcans Colima et Ceboruco: *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate (México)*, v. 11, p. 325-333.

Ortiz, S.G., 1944. La zona volcánica "Colima" del Estado de Jalisco: Guadalajara, Universidad de Guadalajara, Instituto de Geografía, 44 p. y 1 mapa.

Páez-Juárez, Vicente, y Pantoja-Alor, Jerjes, 1990. Estudio geomorfológico de la región de Tamazula de Gordiano, Estado de Jalisco: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Reunión Nacional de Geomorfología 2, p. 20-21 (resumen).

Pantoja-Alor, Jerjes, y Estrada-Barraza, Samuel, 1986. Estratigrafía de los alrededores de la mina de fierro de El Encino, Jalisco: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 47, p. 1-15.

Robin, Claude, Mossand, Philippe, Camus, Guy, Cantagrel, J.M.; Gourgaud, Alain, y Vincent, P.M., 1987, Eruptive history of the Colima Volcanic Complex (Mexico): Journal of Volcanology and Geothermal Research, v.31, p.99-113.

Robin, Claude, Komorowski, J.C., Boudal, Christian, y Mossand, Philippe, 1990, Mixed-magma pyroclastic surge deposits associated with debris avalanche deposits at Colima volcanoes, Mexico: Bulletin of Volcanology, v.52, p. 391-403.

Sartorius, Charles, 1871, Eruption of the volcano of Colima in June, 1869: American Journal of Science, v. 102, p.381-383.

Serpa, Laura, Cassandra, Katz, y Skidmore, Charles, 1990, Potential fields studies south of Volcan de Colima: Colima, Universidad de Colima, Memorias de la Segunda Reunión Nacional "Volcán de Colima", 1ª Reunión Internacional de Vulcanología, p.36 (resumen).

Siebert, Lee, 1984, Large volcanic debris avalanches; characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 22, p.163-197.

Skidmore, Charles, 1988, A geophysical and tectonic study of the Colima graben, Mexico: Nueva Orleans, University of New Orleans, tesis de maestría, 89 p. (inédita).

Sobota, Félix, 1986, Estudio sobre el ciclo de la actividad del Volcán de Colima, Jalisco en los años 1894-1966: Guadalajara, Gobierno del Estado de Jalisco, 53 p.

Stoops, G.R., y Sheridan, M.F., 1990, Hazards related to giant volcanic debris avalanches from Volcán de Colima and Nevado de Colima, Mexico: Colima, Universidad de Colima, Segunda Reunión Nacional "Volcán de Colima", 1ª Reunión Internacional de Vulcanología, p.15-16 (resumen).

Thorpe, R.S., Gibson, I.L., Vizcaino, J.S., 1977, Andesitic pyroclastic flows from Volcan Colima: Nature, v. 265, p.724-725.

Uí, T., 1983, Volcanic dry avalanche deposits: identification and comparison with nonvolcanic debris stream deposits: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 18, p.135-150.

Voight, Barry, Glicken, Harry, Janda, R.J., y Douglass, P.M., 1981. Catastrophic rockslide avalanche of May 18, in Lipman, P.W., y Mullineaux, D.R., eds., The 1980 eruptions of Mount St. Helens. Washington: Geological Survey Professional Paper, 1250. p.347-378.

Waitz, Paul, 1906. Le Volcan de Colima: Mexico D.F., Congreso Geológico Internacional, 10, Guide des Excursions, 13, 28 p.

----- 1915. Der gegenwartige Stand der mexikanischen Vulkane und die letzte Eruption des Vulkans von Colima (1913): Zeitschrift fur Vulkanologie, v.1, p.247-274.

----- 1921. Nubes ardientes observadas en las erupciones del Jorullo (1759), del Ceboruco (1870) y del Colima (1913): Memorias de la Sociedad Cientifica Antonio Alzate (Mexico), v. 37, p. 267.

----- 1934. Datos históricos y bibliográficos acerca del Volcan de Colima: Memorias de la Sociedad Cientifica Antonio Alzate (Mexico), v. 53-26, p.349-384.

### LAMINA 3

#### NEVADO DE COLIMA Y FORMACION ATENQUIQUE

Fig. 1.- Vista hacia el norte mostrando el Nevado de Colima desde El Playón. El acantilado en el primer plano, corresponde a la pared septentrional de la caldera del Paleovolcán de Colima, definida en este tramo por una falla normal, con su bloque meridional caído.

Fig. 2.- Alternancia de brechas, lahares y conglomerados volcánicos de la formación Atenquique, en las proximidades del Centro Industrial de Atenquique.



Fig. 1



Fig. 2

LAMINA 4

BLOQUE EN LA AVALANCHA LOS LOBOS, Y PILONES  
(HUMMOCKS) FORMADOS POR LA AVALANCHA SAN ANTONIO.

Fig. 1.- Bloque contenido en la avalancha Los Lobos, a una distancia de aproximadamente 15 km del cráter. La persona da una idea del tamaño.

Fig. 2.- Vista hacia el nororiente, mostrando en primer plano los pilones (hummocks) formados por la avalancha San Antonio, en el Rancho El Jabali.



Fig. 1.



Fig. 2

BLOQUE EN AVALANCHA LOS LOBOS, Y PILONES (HUMMOKS)  
FORMADOS POR LA AVALANCHA SAN ANTONIO



LAMINA 5

LOS HIJOS DEL VOLCAN, EL VOLCAN DE COLIMA Y  
LOS VOLCANCITOS, VISTOS DESDE EL SURESTE.



LOS HIJOS DEL VOLCAN, EL VOLCAN DE COLIMA Y LOS VOLCAN CITOS, VISTOS DESDE EL SURESTE.