

## GEOMORFOLOGÍA DE LA SIERRA DE SANTA CATARINA, D.F., MÉXICO

José Lugo-Hubp<sup>1</sup>,  
Federico Mooser<sup>2</sup>,  
Azucena Pérez-Vega<sup>1</sup> y  
Juan Zamorano-Orozco<sup>1</sup>

### RESUMEN

La sierra de Santa Catarina, situada al oriente de la ciudad de México, es un conjunto de conos volcánicos cuaternarios dispuestos, junto con sus derrames de lava, en una dirección ENE; ocupa una superficie aproximada de 75 km<sup>2</sup>, rodeada por la planicie lacustre de la cuenca de México. Se representa con detalle en un mapa geomorfológico de escala grande, con un total de 37 elementos distintos del relieve, mismo que se clasifica en endógeno (volcánico: explosivo, efusivo y explosivo-efusivo), endógeno modelado (volcánico-erosivo) y exógeno (erosivo, acumulativo y antrópico). La cartografía geomorfológica expresa el relieve del año de 1990, cambiante por la extracción de material que tiende a la destrucción de todos los conos; asimismo, permite reconocer la secuencia de desarrollo, de occidente a oriente, con seis conos monogenéticos de escoria, un domo andesítico y un *maar*. La geomorfología y las dataciones absolutas que han sido hechas en volcanes cercanos semejantes, así como en sedimentos de la planicie lacustre contigua, permiten inferir la formación de la sierra de Santa Catarina en una breve etapa durante el Pleistoceno tardío, posiblemente de menos de 20,000 años de edad.

Palabras clave: Geomorfología, sierra de Santa Catarina, Distrito Federal, México.

### ABSTRACT

The Sierra of Santa Catarina, located to the east of Mexico city, consists of an ENE trending group of Quaternary volcanic cones and associated lava flows. It covers an area of approximately 75 km<sup>2</sup> and is surrounded by the lacustrine plain of the Basin of Mexico. This area is represented in detail on a large scale geomorphological map, which shows a total of 37 relief elements that are divided into the following categories: endogenous (volcanic: explosive, effusive and explosive-effusive), endogenous-eroded (volcanic erosive), and exogenous (erosive, cumulative and anthropic). The geomorphological cartography represents the relief in the year 1990; it has been modified since then by the extraction of material, which is leading to the destruction of all the volcanic cones. Volcanism migrated from west to east and is represented by six morphogenetic scoria cones, an andesitic dome and a *maar*. Based on geomorphological studies and age determinations, carried out in similar nearby volcanoes as well as in the adjacent lacustrine plain sediments, it can be inferred that the Sierra of Santa Catarina was formed during a brief period in the late Pleistocene and is possibly less than 20,000-year old.

Key words: Geomorphology, Sierra de Santa Catarina, Distrito Federal, Mexico.

### INTRODUCCIÓN

Al oriente del Distrito Federal, en los límites de las delegaciones Tláhuac e Iztapalapa, se encuentra un conjunto de conos volcánicos jóvenes, alineados de occidente a oriente, interrumpiendo la planicie lacustre de la cuenca de México; es la llamada sierra de Santa Catarina (Figura 1).

Dos factores motivaron este estudio; el primero es que no obstante que la sierra de Santa Catarina se encuentra prácticamente en la zona urbana de la capital del país, ha sido objeto de pocas investigaciones. El segundo es que los conos volcánicos de ella están en proceso de destrucción debido a que están siendo aprovechados como material para construcción, por lo que es recomendable su estudio antes que desaparezcan. Se ha llevado a cabo un estudio geomorfológico, conveniente por la variedad de rasgos naturales causados por el vulcanismo, por la acumulación y por la erosión, incluyendo en esta última la provocada por el hombre.

La sierra de Santa Catarina es una localidad ideal para un levantamiento detallado de cartografía geomorfológica, por sus límites precisos y por su extensión pequeña—queda comprendida en un mapa de escala 1:20,000. Existe un primer estudio detallado de la sierra de Santa Catarina, en el cual se intenta explicar el proceso de su formación (Ordóñez, 1895), aunque tiene un importante antecedente en los estudios petrologógicos de la cuenca de México por Felix y Lenk (*in* Ordóñez, *op. cit.*, entre otros autores). Posteriormente, Waitz (1910, 1911) complementó el trabajo de Ordóñez (*op. cit.*). Ambos autores hacen una descripción detallada tanto del relieve como de las rocas volcánicas, y ofrecen una interpretación sobre la secuencia evolutiva de los volcanes de la sierra de Santa Catarina.

Hay otras publicaciones sobre el área de estudio (Bryan, 1948; Arellano, 1953; Garay-Maldonado, 1974; Mooser, 1975, 1990; Mooser *et al.*, 1986, 1989; de Cserna *et al.*, 1987; Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989; González-Morán, 1992); un antecedente importante de este artículo es la tesis profesional de Pérez-Vega (1992).

<sup>1</sup>Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 D.F.

<sup>2</sup>Comisión Federal de Electricidad, Río Lerma 1, Col. Cuauhtémoc, 06500 D.F.



Figura 1.- Mapa de localización de la sierra de Santa Catarina en la cuenca de México. En la actualidad, los términos Ciudad de México y Distrito Federal son, oficialmente, sinónimos.

## GEOLOGÍA

La sierra de Santa Catarina está constituida por rocas volcánicas que consisten en derrames de lava y tefra. Los primeros fueron clasificados como andesita de hiperstena (Ordóñez, 1895) y como basalto en el que, visto bajo el microscopio, "en su pasta fundamental vidriosa nadan muchísimas varillas de plagioclasa (sobre todo de labradorita y bytownita) y más grandes de olivino. La pasta misma es bastante oscura por estar impregnada de magnetita finamente diseminada" (Waitz, 1910). Recientemente, Bellia y colaboradores (*in* González-Morán, 1992) determinaron como andesita las rocas de esta zona, a partir de cuatro análisis geoquímicos. Los resultados, con modificaciones (González-Morán, 1992), dieron un porcentaje de sílice de 57.7 a 59.13. La planicie lacustre de la cuenca de México ha sido estudiada por diversos autores que han reconocido, por medio de pozos, una alternancia de arcillas lacustres con materiales de acarreo fluvial y volcánico. Los pozos cercanos a la sierra de Santa Catarina demostraron la existencia de una interdigitación de los sedimentos lacustres con depósitos volcánicos del Grupo Chichinautzin (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1991).

Las publicaciones de Bryan (1948), Arellano (1953) y Zeevaert (1953), posteriores a los estudios de Waitz, representan una contribución importante para el conocimiento del Cuaternario de la cuenca de México. Estos autores reconocieron suelos fósiles que identificaron con ambientes climatológicos húmedos o secos, mismos que correlacionaron con la cronología glacial de América del Norte. Definieron tres formaciones cuaternarias: Noche Buena (Holoceno), Becerra (Pleistoceno superior) y Tacubaya (Pleistoceno inferior-medio), que consisten en materiales poco consolidados, como arcilla, aluvión, piroclastos, suelo y depósitos eólicos. Las

unidades están separadas por paleosuelos o costras de meteorización. Esta clasificación resulta importante por ser la primera, pero ya es insuficiente debido a las contribuciones de diversos autores.

Por su morfología, composición petrológica y posición en la columna estratigráfica, la sierra de Santa Catarina ha sido considerada contemporánea de la sierra Chichinautzin, como propone Mooser (1975). En la historia geológica de la cuenca de México, la zona estudiada representa la etapa de actividad volcánica más joven—fin del Pleistoceno y Holoceno—que, probablemente, no ha culminado.

En cuanto a las estructuras disyuntivas, es obvio el alineamiento de los volcanes de Santa Catarina, de oeste a este, con ligera desviación al norte. Mooser (1990) atribuyó el origen de la sierra a "cizalleo" en un sistema de fallas al ENE, y sus estudios llevan a la conclusión que la sierra de Santa Catarina es producto de una falla principal inclinada al sur; y una secundaria antitética, casi paralela a la anterior, e inclinada al norte. La primera controla al volcán Yuhualixqui y a una serie de conos sepultados en la parte septentrional—los elementos más antiguos de la sierra—mientras que la segunda, más joven, corresponde a la posición de los volcanes actuales. Lo anterior se basa en la interpretación de una línea sísmica transversal a la sierra (Mooser, *op. cit.*).

De Cserna y colaboradores (1987) reconocieron una falla de orientación N75-80°E que controla la sierra de Santa Catarina y otra N45°E sobre la que se orienta el volcán Guadalupe. Estos autores consideran que la primera falla sea de tensión y que se haya desarrollado por deformación debida a rotación producida por las fallas NE de desplazamiento horizontal siniestro.

## GEOMORFOLOGÍA

El análisis geomorfológico, que se resume en un perfil y cinco mapas, se llevó a cabo con fotografías aéreas y mapas topográficos, de escala 1:50,000 y 1:4,500 las primeras, y 1:10,000 y 1:20,000 los segundos, y se complementó con trabajo de campo.

Se definió un conjunto de formas del relieve, como conos de escoria, conos de lava, etc., que a su vez fueron clasificados por distintas características morfológicas. Todo el relieve endógeno es del tipo volcánico acumulativo, el cual domina en los mapas realizados. El relieve exógeno se clasificó, de acuerdo con las principales recomendaciones internacionales, en erosivo y acumulativo, y se agregó un tercero, el antrópico, que se consideró preferible separar por la importancia que tiene en la zona.

En los mapas, dibujados con tinta negra, se representa por medio de símbolos de uso universal las formas del relieve, con lo que se pretende facilitar su comprensión. Por la información contenida, se puede no sólo apreciar una descripción detallada de la morfología, sino también tener una idea de las edades relativas, de la intensidad de los procesos exógenos

naturales y de la influencia del hombre en la modificación del relieve.

El análisis de las fotografías aéreas de escala muy grande—1:10,000—permitió definir los límites de los volcanes y de los derrames de lava, así como una variedad amplia de formas menores del relieve, facilitando, así, una primera interpretación de la secuencia evolutiva de todo el conjunto.

## MORFOGÉNESIS

La sierra de Santa Catarina tiene una extensión, de poniente a oriente, de 12 km (Figura 2), constituida por una serie de conos volcánicos que inicia con el Yuhualixqui y culmina con el doble cráter de explosión de La Caldera. Estos conos forman una franja de hasta 6 km de anchura, con alturas relativas de 60 a 310 m, considerando los límites de la unidad volcánica con la planicie lacustre.

La posición de los conos volcánicos en el plano horizontal se puede apreciar en la Figura 3, su aspecto en perfil en la Figura 2, y las características morfométricas principales en la Tabla 1.

El relieve de la sierra de Santa Catarina se debe a acumulaciones volcánicas muy jóvenes, de tal manera que las transformaciones por procesos naturales son mínimas.

El volcán Yuhualixqui, o San Nicolás, está aislado del resto de los conos de la unidad de Santa Catarina. Originalmente tenía un cráter que, al igual que la mayor parte del cono, ha sido modificado por la extracción de material. Se trata de un cono de escoria, material que domina en la superficie de toda la ladera y que se reconoce por fragmentos angulosos de color negro, ligeros, de tamaños dominantes de entre 3 y 12 cm. La excavación hacia el interior del volcán ha puesto al descubierto la escoria de color rojo, característica de este tipo de volcanes.

Los derrames de lava del Yuhualixqui están casi totalmente cubiertos por material piroclástico, que en algunas canteras se puede observar con más de 15 m de grosor, sin reconocerse los derrames. Algunos afloramientos muestran márgenes redondeadas o las crestas de lava mayores sobresaliendo. En la superficie se presenta un suelo joven en formación—litosol—con cultivos. El volcán está rodeado por un manto piroclástico, sobrepuesto a un derrame de lava (Figura 4); presenta rasgos de modelado antrópico, como los corredores de escombro, término que se aplica a superficies estrechas—2-3 m—y alargadas, paralelas a la ladera volcánica. Originalmente, éstas fueron veredas que gradualmente se en-

sanchan; carecen de vegetación, con escoria suelta en proceso de remoción.

El volcán Xaltepec es un cono perfecto, mayor que el Yuhualixqui (Tabla 1), pero de la misma constitución de escoria y en proceso de destrucción por la extracción de material para la construcción. La lava del Xaltepec está bien expuesta en la superficie y se extiende hacia el oriente (Figura 5). En el borde del cráter, en el sudeste, se reconoce dos capas de ceniza que yacen sobre suelos delgados, que se infiere sean depósitos de erupciones posteriores de otro volcán, posiblemente del Guadalupe.

El Tetecón es un cono de escoria con dimensiones menores que los anteriores y cráter en forma de herradura, original del proceso de formación (Figura 5). Del cono sólo permanece actualmente una parte de las laderas meridionales; el resto ha sido removido, exponiendo un área interior con muchas bombas volcánicas, en general de más de 50 cm de longitud y, con frecuencia, de más de 1.5 m. Este cono tiene un derrame de lava que se apoya sobre el volcán Xaltepec y lo rodea por el norte y el sur; es lava bien conservada que se reconoce en la superficie por crestas terminales, que están cubiertas por suelos delgados, incipientes, con cultivos. Posee también un pequeño cono adventicio, que aparentemente provocó el derrumbe y destrucción del flanco noroccidental, cubierto por piroclastos. Actualmente, el Tetecón se encuentra destruido en más de un 50% de su volumen original.

El Mazatepec es también un cono volcánico de pequeñas dimensiones, constituido por escoria y derrames de lava que surgieron por dos bocas, ubicadas al norte y sur; los de la boca meridional rodean al cono, lo que en apariencia provocó la ruptura del cráter. Las márgenes de los derrames de lava están bien marcadas; presentan unidades con textura de flujo con bordes definidos, con cubierta de suelos y cultivos, sobre todo al oriente. En el fondo del cráter del Mazatepec, se reconoce dos domos con derrames de lava dispuestos hacia el sur. Se encuentra afectado por canteras en la ladera noroccidental, pero, en cambio, muestra barrancos activos cuyas cabeceras avanzan hacia el cráter.

En apariencia, todos los volcanes mencionados tuvieron derrames de lava, y la exposición actual en la superficie depende fundamentalmente de la secuencia evolutiva. El derrame más joven está mejor expuesto y cubre superficies mayores, como en el caso del volcán Guadalupe o Santa Catarina (Figura 6).

El volcán sin nombre es un cono de dimensiones pequeñas, con derrames de lava colocados sobre los del Tetecón y el

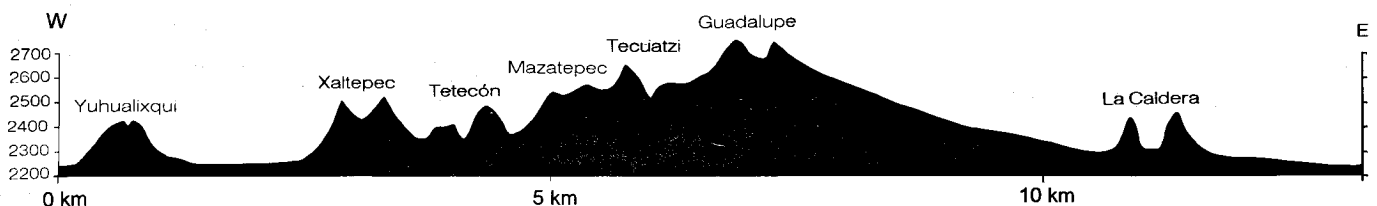


Figura 2.- Perfil longitudinal de la sierra de Santa Catarina.

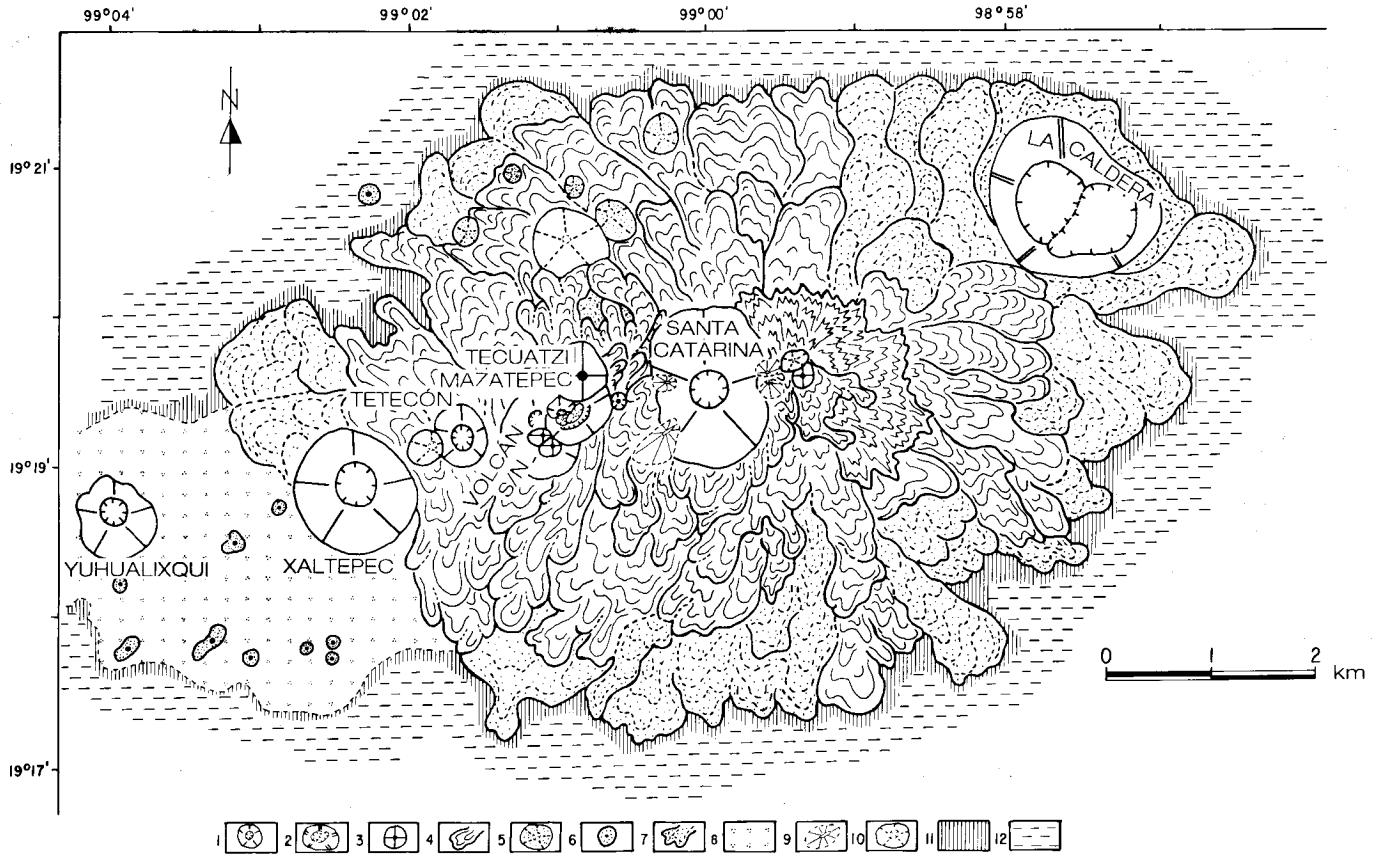


Figura 3.- Mapa geomorfológico de la sierra de Santa Catarina. 1—Cono de tefra; 2—cono freático-magmático; 3—domo de lava; 4—derrame de lava; 5—cono de tefra cubierto parcialmente por vulcanitas; 6—cono sepultado por vulcanitas; 7—derrame de lava con cobertura de piroclastos, que muestra las crestas de compresión y la dirección del flujo; 8—planicie de piroclastos; 9—laderas de volcanes antiguos, parcialmente sepultadas por derrames de lava y modeladas por la erosión; 10—volcanes de tefra modelados por la erosión; 11—pie de monte volcánico (mantos de acumulación); 12—planicie lacustre cubierta de piroclastos.

Mazatepec, bien expuestos en la superficie, que carecen de suelo y material piroclástico, con estructuras de flujo bien definidas, incluso en las márgenes.

El Tecuatzi es un domo de andesita de hiperstena (Ordóñez, 1895) que en el relieve se presenta con laderas empinadas, incluso verticales. Los derrames de lava se extienden al noroccidente y noreste para unirse al norte en un cono volcánico antiguo en el norte de la sierra de Santa Catarina (Figura 2), y cubre parcialmente los derrames del Mazatepec. Un pequeño cono contiguo al Tecuatzi—al sur—tuvo un derrame de lava posterior.

El volcán Guadalupe—Santa Catarina—es el cono de mayores dimensiones, con un cráter amplio y profundo de 120 m. Presenta en su fondo dos pequeños conos menores bien reconocidos y otros dos de menor tamaño (Figura 6). Ordóñez (1895, p. 20) definió estas estructuras de la siguiente forma:

Tabla 1.- Características morfométricas de los conos volcánicos principales.

Volcán	Altura Absoluta*	Altura relativa*	Díametro inferior*	Díametro superior (cráter)*	Díametro del fondo del cráter*	Pendiente (en grados)
Yuhualixqui	2,420	140	650	300	170	32
Xaltepec	2,510	240	1,100	410	200	32
Volcán sin	2,410	60	275			31
Tetecon	2,400	150	600	280	100	32
Mazatepec	2,550	160	750			40
Tecuatzí	2,850	270	590			>40
Guadalupe	2,750	310	1,400	350	200	32
La Caldera	2,620	260	1,850	750	360	32

\*Valores en metros.

“cuatro pequeños montículos esparcidos, demostrando los efectos atenuados del fin de una erupción”. Los derrames de lava del volcán están dispuestos en forma radial, excepto al occidente, donde cubren una gran superficie, de aproximadamente el 50% de la zona estudiada. Ordóñez (*op. cit.*) los consideró muy semejantes a los del domo Tecuatzi y los clasificó también como andesita de hiperstena, mientras que Waitz (1911) los consideró basalto.

Al oriente, se reconoce los restos de dos antiguos conos adventicios, los que presentan derrames de lava dirigidos hacia el este. Los derrames de esta zona constituyen un relieve del tipo de malpaís, con escasas corrientes—de temporada—controladas por las grietas de las rocas. Los suelos están en un proceso incipiente de formación; son capas delgadas de material piroclástico, donde crecen algunos arbustos y cactáceas.

El cono volcánico de Guadalupe presenta rasgos mayores de erosión, debido al desarrollo de barrancos con un crecimiento rápido hacia el borde del cráter, lo cual se ve favorecido por el material deleznable de escoria. Es un proceso provocado por el hombre, por el trazo de veredas y por la tala. En apariencia, en el pasado el cono estuvo cubierto por árboles, cuya eliminación explica el grado de desarrollo de los procesos erosivos. La extracción de material ha iniciado la destrucción del cono por la vertiente septentrional.

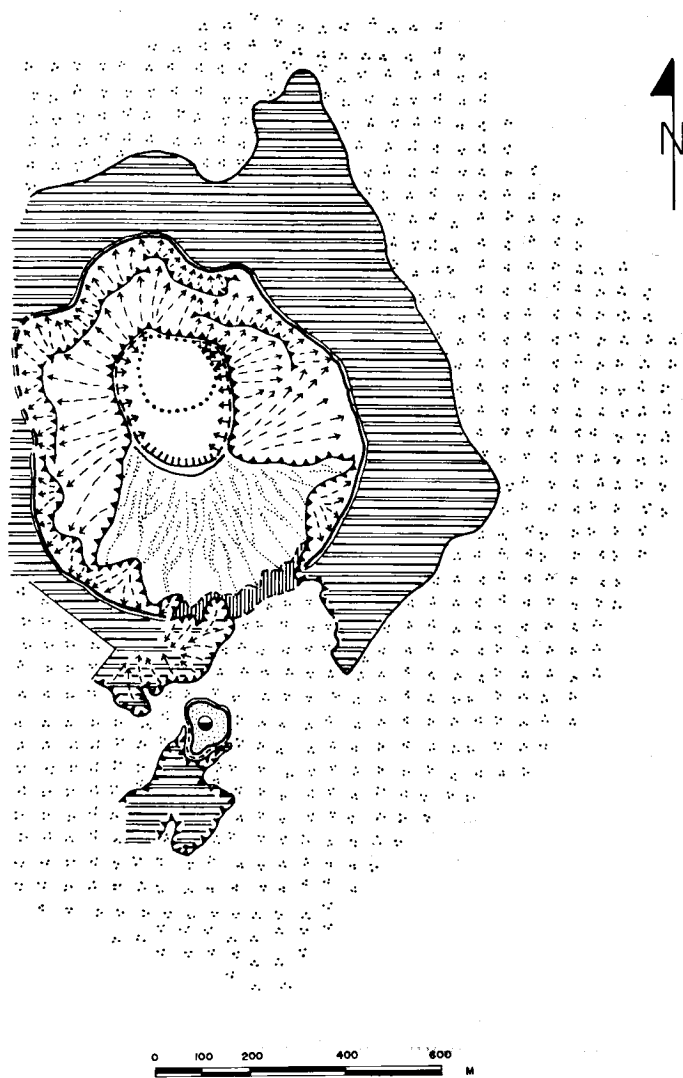
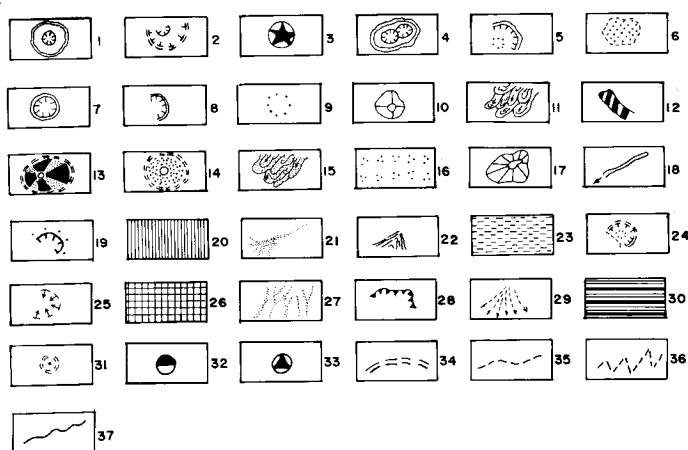


Figura 4.- Geomorfología del volcán Yuhualixqui. Explicación:

**I. RELIEVE ENDÓGENO (VOLCÁNICO ACUMULATIVO)**

**A. Explosivo**

Conos de tefra: 1—de clara expresión en el relieve; 2—con morfología de somma; 3—adventicio; 4—freático-magmático; 5—ladera interior de cráter; 6—planicie de piroclastos; 7—cráter cerrado; 8—cráter abierto (en herradura); 9—fondo de cráter.

**B. Efusivo**

10—Domo de lava; 11—derrame de lava; 12—corredor de lava (superficie plana, estrecha y alargada).

**C. Explosivo-efusivo**

13—Cono de tefra modelado por la erosión, cubierto parcialmente por lava y piroclastos (el mismo símbolo sin puntos significa sin cubierta); 14—cono de tefra sepultado por vulcanitas; 15—derrames de lava con cobertura gruesa de piroclastos, que muestran las crestas de compresión y la dirección del flujo; 16—superficie compleja de derrames de lava, con cubierta densa de piroclastos.

**II. RELIEVE ENDÓGENO MODELADO**

**D. Volcánico-erosivo**

17—Laderas de volcanes antiguos, parcialmente sepultadas por coladas de lava y modeladas por la erosión.

**III. RELIEVE EXÓGENO**

**E. Erosivo**

18—Barrancos incipientes, situados en grietas y contactos de lava; 19—circos erosivos poco profundos.

**F. Acumulativo**

20—Mantos de acumulación (pie de monte volcánico); 21—depósitos coluvial-proluviales en forma de abanico; 22—conos de erupción; 23—planicie lacustre cubierta de piroclastos.

**G. Antrópico**

24—Cráter erosionado; 25—crestas de cráter; 26—superficie con corredor de escombros; 27—corredor de escombros; 28—circos gravitacionales; 29—ladera escarpada; 30—canteras y bancos de acumulación.

**SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS**

31—Cima plana; 32—cima convexa; 33—cima aguda; 34—límite de cono volcánico; 35—límite inferido; 36—límite diferido; 37—límite bien definido.

Culmina la sierra de Santa Catarina con el cráter doble de La Caldera (Figura 7), una elevación producida por un proceso freático-magmático que está rodeada por los derrames de lava del Guadalupe. Ordóñez (*op. cit.*) considera que está formada por tobas pomosas, mientras que Bryan (1948, p. 16) la describe como "ceniza basáltica gris en placas delgadas que buzan hacia afuera en todas direcciones".

**EDAD Y EVOLUCIÓN DEL RELIEVE**

Hasta la fecha, no hay datos publicados sobre la edad absoluta de los conos de Santa Catarina; sin embargo, se puede hacer interpretaciones con base en la morfología y en algunas propiedades de las rocas, y comparaciones con otros volcanes semejantes, cuyas edades han sido establecidas.

Ordóñez (*op. cit.*, p. 20), sobre el volcán Guadalupe, consideró "como si hubiesen tenido lugar hace poco sus erupciones". Aguilera (*in* Arellano, 1953) supuso que tenían una edad cercana a la del Xitle—aproximadamente 2,200 años. Bryan (1948), con base en el reconocimiento de capas delgadas de caliche en los derrames de lava de la sierra de Santa Catarina, y en depósitos semejantes a lo que describió como Formación Becerra, consideró una edad para la sierra de fines del Pleistoceno o principio del Pleistoceno tardío—inicio de la etapa Becerra.

Al respecto, los estudios arqueológicos hechos en la localidad cercana de Tlapacoya (Figura 1) fueron un apoyo importante, incluyendo varias dataciones de estratos por diversos autores. Los resultados están publicados en numerosos

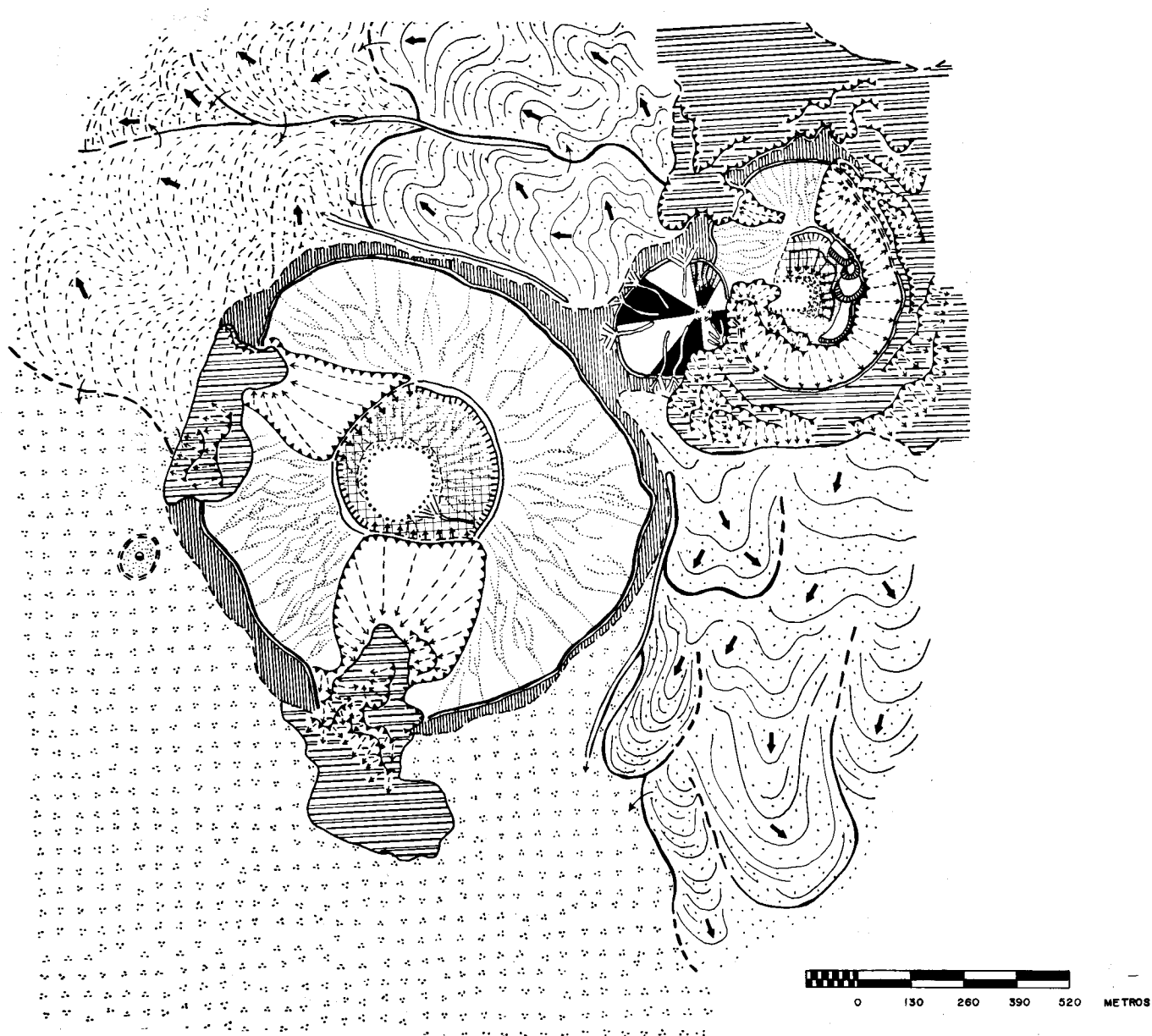


Figura 5.- Geomorfología de los volcanes Xaltepec y Tetcón. Explicación en la Figura 4.

artículos contenidos en una obra coordinada por Lorenzo y Mirambell (1986). La edad de los sedimentos volcánicos estudiados resultó de, aproximadamente, entre 4,000 y 35,000 años. El material andesítico-basáltico más joven reconocido fue de entre 13,000 y 15,000 años (Lambert, 1986).

Un estudio de núcleos del lago de Chalco y su datación por radiocarbono (Ortega-Guerrero, 1992) concluye que, hace entre 10,000 y 20,000 años, el vulcanismo en las zonas próximas al lago fue particularmente intenso.

Otro elemento que debe considerarse es la datación por carbono 14 que realizó Bloomfield (1975) en el campo volcánico de Toluca, donde encontró conos desde holocénicos hasta de 38,590 años. Los resultados de Martin del Pozzo (1982,

1990), en el campo volcánico contiguo de la sierra Chichinautzin, fueron semejantes.

Lo que se mencionó anteriormente sobre la morfología de los conos volcánicos de Santa Catarina y las características de los derrames de lava, especialmente cuando se considera el volcán Guadalupe, confirma que se trata del volcán más joven. Este volcán es semejante en morfología a los descritos por Bloomfield (*op. cit.*) y Martin del Pozzo (*op. cit.*) como con menos de 20,000 años, lo que coincide, a su vez, con la datación de Lambert (*op. cit.*) de entre 13,000 y 15,000 años.

En cuanto a los rasgos morfológicos que apoyan la edad joven del volcán Guadalupe, se tiene los siguientes: (1) las lavas expuestas en la superficie, que constituyen malpaís, con

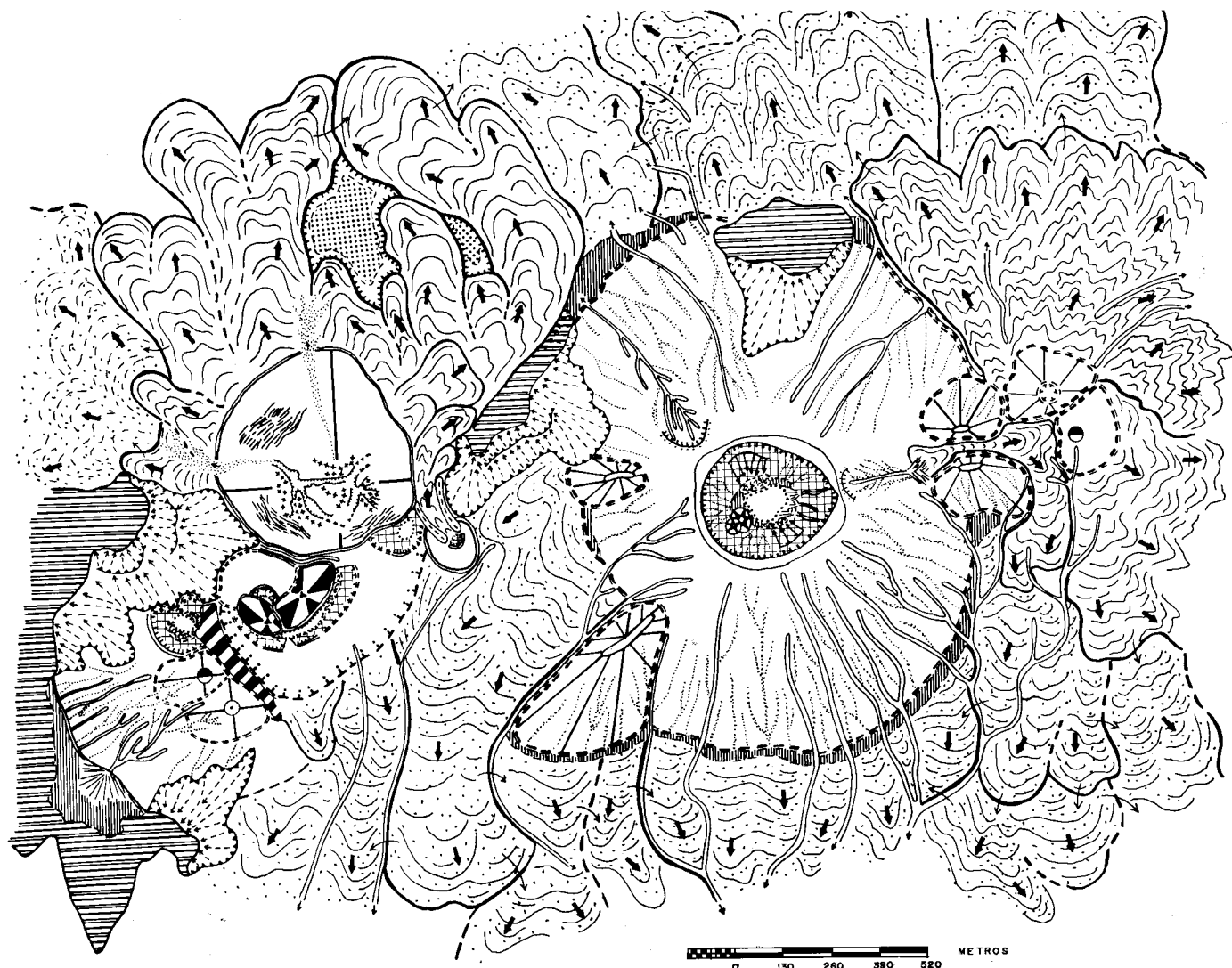


Figura 6.- Geomorfología de la porción centro-oriental de la sierra de Santa Catarina. Explicación en la Figura 4.

suelos incipientes o ausentes; y (2) el cráter profundo, con forma de embudo, que conserva el relieve original en su fondo—pequeños conos volcánicos.

El resto de los conos volcánicos de la sierra de Santa Catarina ha evolucionado, cubriéndose parcialmente uno a otro en el proceso de actividad, y surgiendo así el problema del tiempo que duró la formación de esta sierra. Lo más probable es que fuera en una rápida sucesión. Apoya lo anterior la morfología del volcán Xaltepec, con una juventud comparable a la del Guadalupe, a pesar de ser el segundo en haberse formado. Por lo pronto, sólo es posible inferirle una edad del fin del Pleistoceno tardío. Con base en todos los aspectos anteriores, se interpreta la secuencia evolutiva de Santa Catarina.

Se infiere que el Yuhualixqui sea el volcán más antiguo, aunque le antecedan otros conos sepultados.

Después, al oriente, surgió el Xaltepec, con rasgos de un volcán muy joven que no se diferencia notablemente del Guadalupe, excepto por un relleno mayor de ceniza en su cráter.

El Tetcón nació posteriormente, y a éste siguió un cono adventicio, que provocó el derrumbe y destrucción del flanco occidental del mismo.

Aparentemente, el Mazatepec tuvo dos etapas de erupción; la primera con derrames hacia el norte, y la segunda hacia el sur, rompiendo el cono y rodeándolo.

Se considera que el volcán sin nombre apareció en quinto lugar. A éste siguió el Guadalupe—Santa Catarina—que nació sobre un antiguo cono anterior (Waitz, 1911). Tuvo dos conos adventicios en la ladera oriental, y los enormes derrames de lava sepultaron otros conos menores que estaban localizados al norte, pertenecientes a una fractura más antigua, paralela a la que originó a la actual sierra de Santa Catarina.

La actividad más reciente la representa el domo Tecuatzi, con lavas de poca extensión que escurrieron al norte y se apoyan en las del Mazatepec. Un escurrimiento menor de lava se produjo de un pequeño cono contiguo al Tecuatzi, que aparentemente fue la etapa final del vulcanismo. Una efusión andesítica tuvo lugar, dando como resultado los domos en el

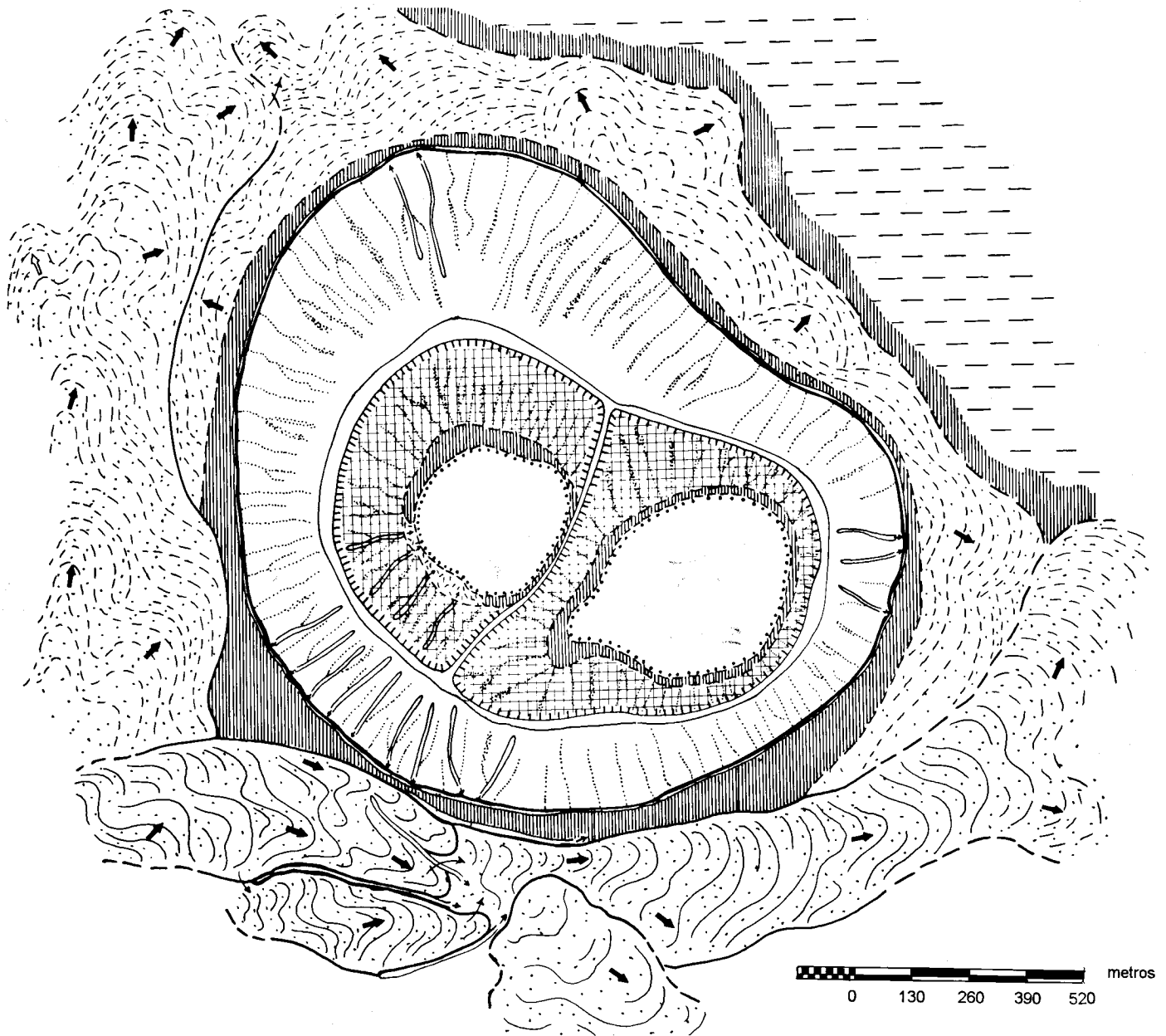


Figura 7.- Geomorfología del extremo oriental de la sierra de Santa Catarina (La Caldera). Explicación en la Figura 4.

fondo del cráter del Mazatepec, mismos que lo destruyeron. Los domos se extendieron hacia el oriente y sus lavas hacia el sur. El último en formarse fue el Tecuatzi, que derramó sus lavas al noroccidente y noreste. Finalmente, las corrientes se encontraron al chocar con un cono antiguo situado al norte de la sierra.

Como último proceso volcánico, en la ladera noroccidental del Guadalupe se formó un pequeño cono, con derrame reducido hacia el norte.

Finalmente, debe mencionarse La Caldera, que ocupa el extremo oriental. Sólo por su posición estratigráfica es posible definirla como más antigua que el Guadalupe. Sin embargo, su clara expresión en el relieve—laderas empinadas, interiores y

exteriores, bien conservadas respecto a la erosión—permite inferir que no fue cubierta en grado importante por otros volcanes, además del Guadalupe; es anterior a éste o, por lo menos, a sus derrames de lava.

La sierra de Santa Catarina muestra una migración, en sentido de occidente a oriente, de la actividad volcánica. Ésta se inicia con el Yuhualixqui, continúa en seguida con el Xaltepec, y sigue hasta aparecer el Santa Catarina o Guadalupe, donde culmina hacia su base occidental con el surgimiento del Tecuatzi. Esta secuencia supone que los conos volcánicos estén controlados por una fisura principal, en la cual están presentes centros eruptivos que migran al sellarse por solidificación del magma.



## CONCLUSIONES

El mapa geomorfológico elaborado para la sierra de Santa Catarina muestra con detalle su relieve, donde se conjugan las formas de origen volcánico con las exógenas, producidas por erosión y acumulación, así como las surgidas por la actividad humana. Este último factor es actualmente fundamental en la transformación del relieve de esta zona, por lo que el mapa expresa la geomorfología de 1990. Resulta importante conservar una imagen real de un pequeño campo de volcanes que, convertidos en canteras, están en proceso de destrucción. El mapa geomorfológico que se presenta tiene, entre otras ventajas, la de representar una metodología para el estudio de relieves volcánicos jóvenes, debido al apoyo que proporciona en la comprensión de la geología y las edades relativas, permitiendo, así, reconstruir la secuencia evolutiva.

La sierra de Santa Catarina inició su formación en el occidente con el volcán Yuhualixqui, y culminó hacia el oriente con el domo Tecuatzí, aparentemente en un período breve. Surgió en una zona de debilidad, sepultando algunos conos volcánicos anteriores.

Por la juventud de esta unidad volcánica, no se puede descartar que se encuentre aún en actividad. Se le infiere una edad de menos de 20,000 años, debido a la datación de volcanes que presentan una morfología semejante a la de ella, así como de sedimentos de la planicie lacustre contigua.

Actualmente, el relieve de la zona estudiada está afectado por la actividad humana, como son las canteras para extracción de material y el avance de la mancha urbana.

Así como es de interés estudiar el crecimiento natural de los volcanes, también lo es el observar el proceso de su destrucción, aun cuando lo ideal sería la conservación y protección de estos relieves volcánicos jóvenes, no sólo desde el punto de vista científico o por su interés como "monumentos" naturales, sino también por el papel que juegan como zonas de recarga del agua subterránea, como barrera contra los vientos del norte y por la posibilidad de conservar una pequeña zona natural en la gigantesca plancha de asfalto y construcción de la Ciudad de México.

## AGRADECIMIENTOS

En el trabajo de campo colaboraron, principalmente, José Fernando Aceves-Quesada, Gabriel Legorreta-Paulín, Arturo Montiel-Rosado y Ángel Zúñiga-Arista. El estudio se hizo con apoyo del Instituto de Geografía y de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), proyecto IN103891. Los doctores J. Tricart y S.A. Nelson dictaminaron el artículo e hicieron valiosas contribuciones al manuscrito original.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arellano, A.R.V., 1951 (1953), Estratigrafía de la cuenca de México: Universidad

- Nacional Autónoma de México, Congreso Científico Mexicano, México, D.F., 1951, Memorias, v. 3, p. 172-186.
- Bloomfield, Keith, 1975, A late Quaternary monogenetic volcano field in central Mexico: *Geologische Rundschau*, v. 64, p. 476-497.
- Bryan, Kirk, 1948, Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 13, p. 1-20.
- Cserna, Zoltan de; De la Fuente-Duch, Mauricio; Palacios-Nieto, Miguel; Triay, Leonardo; Mitre-Salazar, L.M.; y Mota-Palomino, Reynaldo, 1987 (1988), Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 104, 71 p.
- Garay-Maldonado, Elvia, 1974, Morfología de la región volcánica Chimalhuacán-Cerro de la Estrella-Sierra de Santa Catarina: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Anuario de Geografía, v. 14, p. 11-66.
- González-Morán, Tomás, 1992, Estudio hidrogeofísico de la subcuenca de Chalco—evaluación del impacto ambiental del basurero de Santa Catarina: Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad de los Ciclos Profesional y de Posgrado, Colegio de Ciencias y Humanidades, disertación doctoral, 275 p. (inédita).
- Lambert, P.W., 1986, Descripción preliminar de los estratos de tefra de Tlapacoya, in Lorenzo, J.L., y Mirambell, L., eds., Tlapacoya—35,000 años de historia del lago de Chalco: México, D.F., Secretaría de Educación Pública, Revista del Instituto Nacional de Antropología e Historia, p. 167-172.
- Lorenzo, J.L., y Mirambell, L., eds., 1986, eds., Tlapacoya—35,000 años de historia del lago de Chalco: México, D.F., Secretaría de Educación Pública, Revista del Instituto Nacional de Antropología e Historia, 297 p.
- Martin del Pozzo, A.L., 1982, Monogenetic vulcanism in Sierra Chichinautzin, Mexico: *Bulletin Volcanologique*, v. 45, p. 9-24.
- 1990, Geoquímica y paleomagnetismo de la Sierra Chichinautzin: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, disertación doctoral, 235 p. (inédita).
- Mooser, Federico, 1975, Historia geológica de la cuenca de México, in Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal: México, D.F., Departamento del Distrito Federal, t. 1, p. 7-38 y mapa geológico.
- 1990, Estratigrafía y estructuras del Valle de México, in Ovando-Shelley, Efraín, y González-Valencia, Francisco, eds., El subsuelo de la cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo: México, D.F., Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., p. 29-36.
- Mooser, Federico; Tamez-González, Enrique; Santoyo-Villa, Enrique; Holguín-Olivera, Ernesto; y Gutiérrez-Sarmiento, C.E., 1986, Características geológicas y geotécnicas del Valle de México: México, D.F., Departamento del Distrito Federal, Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, 32 p.
- Mooser, Federico, y Montiel-Rosado, Arturo, 1989, El relleno post-Chichinautzin del Valle de México y su relación con la intensidad sísmica, in Ramírez-Rascón, Armando, coordinador del simposio, Simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del Valle de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., p. 55-60.
- Ordóñez, Ezequiel, 1895, Las rocas eruptivas del suroeste de la cuenca de México: Instituto Geológico de México, Boletín 2, 46 p.
- Ortega-Guerrero, Beatriz, 1992, Paleomagnetismo, magnetoestratigrafía y paleoecología del Cuaternario tardío en el lago de Chalco, cuenca de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad de los Ciclos Profesional y de Posgrado, Colegio de Ciencias y Humanidades, disertación doctoral, 167 p. (inédita).
- Pérez-Vega, B.A., 1992, Estudio geomorfológico de la sierra de Santa Catarina, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, tesis profesional, 74 p. (inédita).
- Vázquez-Sánchez, Eliseo, y Jaimes-Palomera, L.R., 1989, Geología de la cuenca de México: *Geofísica Internacional (México)*, v. 28, p. 133-190.
- Waitz, Paul, 1910, Excursión geológica a la sierra de Santa Catarina: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 7, p. 1-7.
- 1911, Excursión geológica a la parte poniente de la sierra de Santa

Catarina: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 8, p. 1-8.

Zeevaert, Leonardo, 1951 (1953), *Estratigrafía y problemas de ingeniería en los depósitos de arcilla lacustre de la Ciudad de Mexico*: Universidad Nacional Autónoma de México, Congreso Científico Mexicano, México,

D.F., 1951, *Memorias*, v. 5, p. 58-70.

Manuscrito presentado: 25 de agosto de 1992.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 22 de abril de 1993.

Manuscrito aceptado: 26 de abril de 1993.