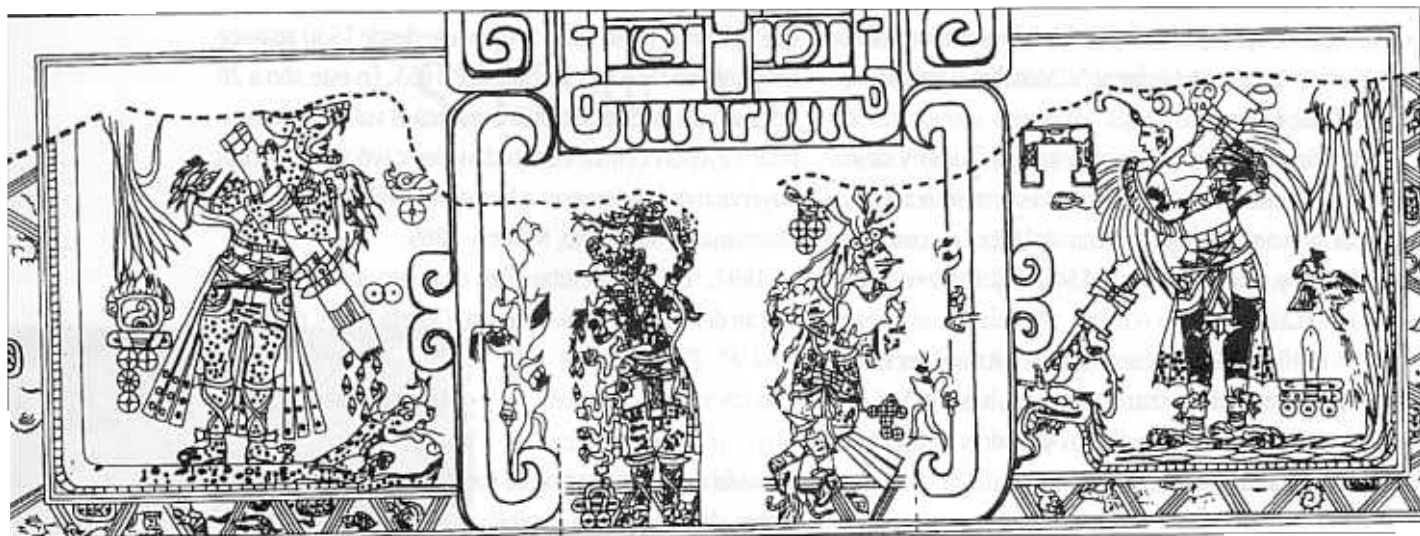


# La destrucción de Cacaxtla y Cholula: un suceso en la historia eruptiva del Popocatepetl



CLAUS SIEBE, JOSÉ LUIS MACÍAS VÁZQUEZ, MICHAEL ABRAMS Y JOHANNES OBENHOLZNER

La reciente reactivación del Popocatepetl, que culminó el 21 de diciembre de 1994 con la emisión de cenizas que cayeron en forma de un delgado velo sobre la ciudad de Puebla, nos ha recordado a los habitantes del centro de México que vivimos en una región eminentemente volcánica y que, por consiguiente, estamos expuestos a un permanente riesgo.

Con el fin de reducir dicho riesgo, las instancias gubernamentales de protección civil y diversas instituciones educativas, en particular el Centro Nacional para la Prevención de Desastres y la Universidad Nacional Autónoma de México, han colaborado en el diseño e instalación de

sistemas de monitoreo de la actividad del Popocatepetl. Además se realizó un mapa de sus peligros volcánicos, y se ha alertado a los sistemas operativos de protección civil, los cuales han desarrollado planes de evacuación así como programas de prevención de desastres. Aunque falta mucho por hacer al respecto, hoy día se puede afirmar que se han consolidado esfuerzos y alcanzado logros sustanciales.

Es imposible apagar un volcán. Con un poco de suerte y un buen sistema de monitoreo se pueden hacer predicciones a corto plazo, lo que puede ser de gran utilidad para evacuar oportunamente a la población en caso de una inminente

erupción. Sin embargo, la vida sigue después de una erupción catastrófica. En caso de desastre, necesariamente se deberá atender a los damnificados por un lapso de tiempo indefinido, reconstruir la infraestructura y reordenar la economía de la región afectada. Es decir, el simple monitoreo de la actividad y el establecimiento de un operativo de evacuación no son suficientes para afrontar una situación de crisis y desastre volcánicos. Se necesita además crear una infraestructura legal y financiera para controlar una situación tan imprevista como ésta, lo más pronta y eficientemente posible. Para una mejor planeación del desarrollo de la re-

gión es indispensable hacer un estudio minucioso de su vulnerabilidad. Para ello se necesita en primera instancia evaluar el potencial destructivo del volcán, usando como guía su historia eruptiva y haciendo un estudio estadístico que incluya la estimación de la magnitud y frecuencia de las erupciones pasadas, la determinación de los alcances de los diferentes fenómenos volcánicos y la extensión de las áreas afectadas. Esta labor concierne a los geólogos. Al mismo tiempo, es necesario hacer un censo de la región que incluya un catastro de su infraestructura con énfasis en las instalaciones estratégicas, como lo son el suministro de energía, agua y las rutas de transporte. Para reducir la vulnerabilidad será necesario realizar programas educativos para la población, la implementación de una legislación de uso del suelo y códigos de construcción, la creación de una infraestructura financiera con mecanismos de

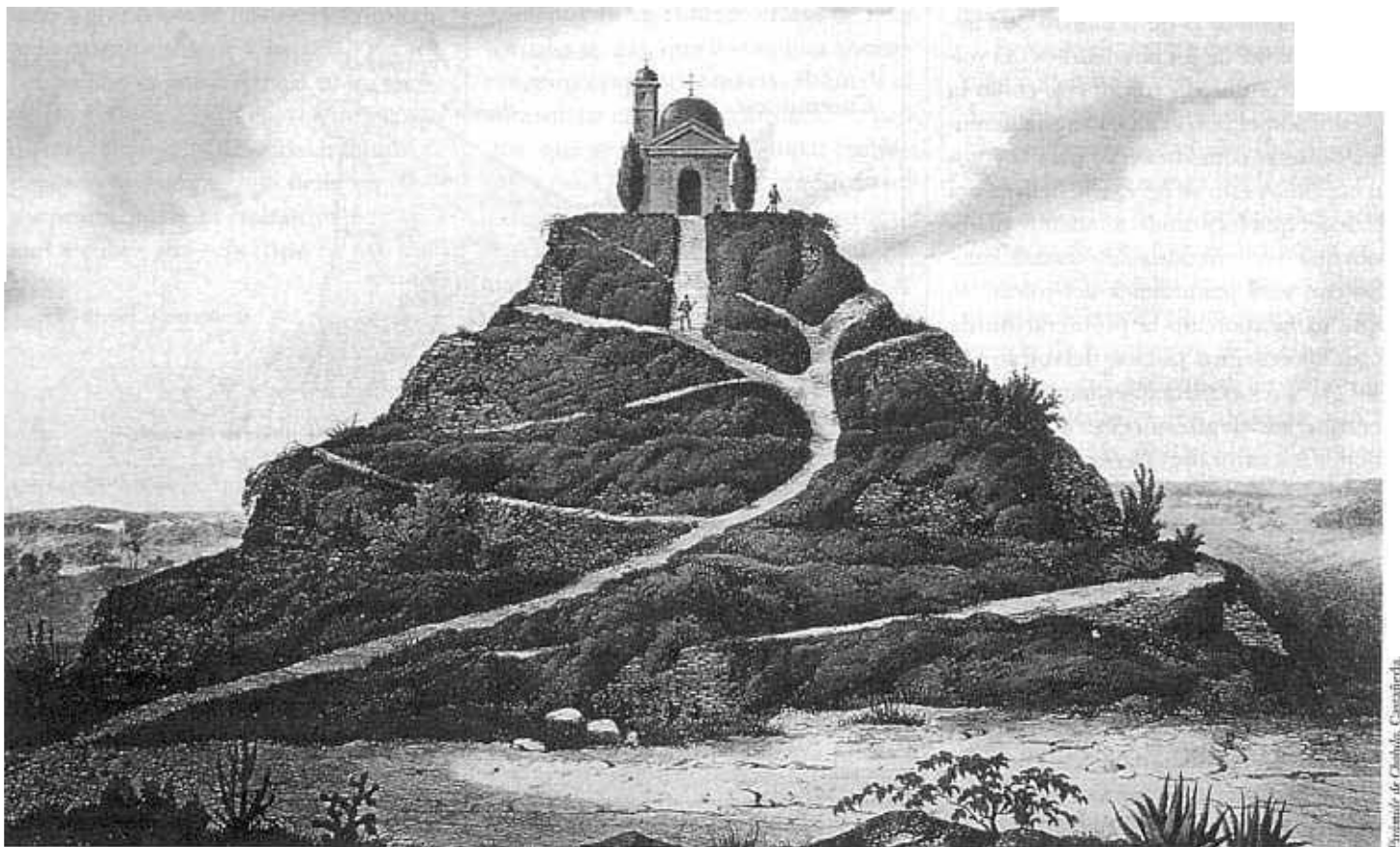
seguros sobre la propiedad y bienes, la reubicación de centros de trabajo, servicios médicos, etc. En fin, una labor que requiere de una participación activa de todos los sectores de la sociedad y de un liderazgo político con una amplia visión del futuro.

En un país con una economía desordenada que sufre crisis periódicas y en el que la mayor parte de la población soluciona día con día los problemas más inmediatos de su existencia, es evidente que no estemos acostumbrados a planear a largo plazo. La experiencia nos ha demostrado en incontables ocasiones que la planeación a mediano y largo plazo es una actividad poco fructífera y de nulo valor práctico. Siempre surge algún factor que no habíamos tomado en cuenta y que echa nuestros planes por los suelos. Quien planea a largo plazo corre el riesgo de ser catalogado como un Quijote: soñador y disparatado. Éste es el contex-

to real y poco fértil en el que se tendrá que sembrar la semilla de la cultura de la prevención de desastres. La experiencia igualmente ha mostrado que no hay mejor promotor de esta cultura que los desastres mismos. Esto ha ocurrido en numerosas ocasiones alrededor del orbe y el costo ha sido, tristemente, muy elevado. ¿Cómo poder salir de este marasmo? Ni la exaltación demagógica de nuestra capacidad de improvisación (ya demostrada en incontables ocasiones), ni otro tipo de exorcismos ayudarán a resolver este problema.

### Las bondades de un volcán

Con el fin de conocer mejor la historia eruptiva del Popocatepetl y evaluar la magnitud de sus erupciones desde la Conquista hasta nuestros días se han analizado diversos documentos históricos. En resumen, se puede decir que este volcán



Fotografía de Chihuahua, Cuauhtémoc

ha mostrado una constante actividad fumarólica y frecuentes erupciones de pequeña magnitud. Dichas erupciones ocurren en promedio dos veces por siglo y son muy similares a la erupción presenciada en fecha reciente, que esencialmente sólo produjo cantidades menores de ceniza. Este tipo de actividad más bien representa un atractivo turístico que le añade un colorido especial a la región, que posiblemente también sea responsable del significado del toponímico náhuatl Popocatépetl: "Cerro que humea". Este atributo no espanta a nadie; por el contrario, sugiere a muchas personas que se trata de un gigante paternal y benévolo, cuyas faldas con suelos fértiles permiten la explotación forestal y agrícola. Además, los manantiales y arroyos que se nutren de la precipitación pluvial en el volcán han permitido el desarrollo de la agricultura de riego en algunos lugares, así como el desarrollo de balnearios como Oaxtepec, Agua Hedionda, Axocopan, etc. El agua potable de muchas localidades, incluyendo la de la ciudad de Puebla, se extrae de los alrededores del volcán. Los productos volcánicos, como la piedra pómez, son explotados en diferentes canteras como material para la construcción. A esto se agrega la belleza del paisaje, que ha atraído a muchos ciudadanos quienes han construido casas de campo con vista panorámica del volcán, lo que ha ocasionado la proliferación de fraccionamientos. La cima del volcán con sus glaciares es meta obligada de alpinistas que miden ahí su resistencia física y donde encuentran gratas experiencias espirituales. El volcán es indudablemente un recurso natural que representa una fuente de riqueza y esparcimiento para vastos sectores de la población. Sin embargo, la historia eruptiva del volcán Popocatépetl previa a la Conquista nos remite a escenarios bastante diferentes al descrito arriba; escenarios que deben ser tomados en cuenta seriamente y que nos obligan a replantear nuestros esquemas de desarrollo.

**Las erupciones: la otra cara de la moneda**

Los autores de este artículo llevaron a cabo un estudio de los depósitos volcánicos producidos por las erupciones de este volcán, en la búsqueda por conocer mejor su historia eruptiva y evaluar la magnitud de sus erupciones durante los últimos 25 000 años. En este proyecto también han colaborado nuestros colegas Lorenzo Vázquez y Michael Sheridan, así como varios estudiantes de posgrado con sede en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Los resultados han sido

sorprendentes y aún estamos perplejos: nuestro magnífico volcán es capaz de todo, y las erupciones que ha hecho son proporcionales a su majestuosidad. Nuestros estudios aún no han concluido. A continuación nos limitaremos a describir brevemente las erupciones más importantes ocurridas durante su historia geológica reciente, mismas que hemos podido identificar con mayor precisión. Omitiremos una serie de erupciones de magnitud mediana, cuyos depósitos aún necesitan ser estudiados más a fondo; cabe mencionar que durante



Figura 1: Mapa esquemático que muestra la extensión de los depósitos de avalancha de escombros en los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl (según Siebe *et al.*, 1995). El área hacia el sur del Popocatépetl corresponde aproximadamente al depósito de avalancha emplazado durante la erupción fechada en 23 000 años antes del presente.

los años setenta y ochenta, Heine y Heide-Weise, Miehllich, Robin, así como Boudal y Robin realizaron estudios anteriores a los nuestros.

#### *Una erupción del tipo Santa Elena*

Ocurrida hace aproximadamente 23 000 años ésta erupción es sin duda alguna la más violenta que hemos podido identificar. También fue la erupción que mayores cambios produjo en la morfología de la región.

En síntesis, el actual cono del Popocatepetl no es el primero que existe en ese lugar. El cono anterior tenía una altura similar a la del actual, cuando un cuerpo magmático muy viscoso de grandes dimensiones ascendió desde las profundidades y quedó emplazado dentro del edificio del volcán. El edificio se infló, lo que provocó la inestabilidad de sus flancos. Finalmente, el flanco sur, que resultó ser el más débil, cedió ante la presión, lo cual culminó en un gigantesco derrumbe del edificio volcánico y un alud de escombros que viajó a grandes velocidades, destruyendo todo cuanto encontró a su paso. Esta avalancha llegó a una distancia mayor de 80 km de su lugar de origen, con un tiempo de emplazamiento de pocos minutos. El depósito que se produjo tiene un espesor promedio de 15 m, un volumen de 9 km<sup>3</sup> y cubre una superficie de 600 km<sup>2</sup>

→ Dirección del viento

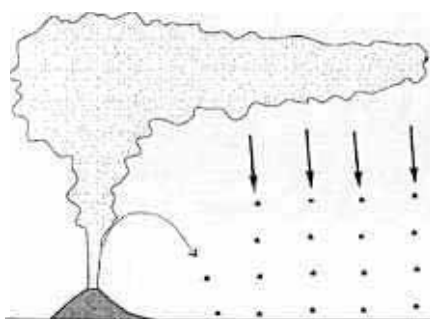


Figura 2: Dibujo que muestra de manera esquemática la forma de una columna pliniana del volcán Popocatepetl, las celdas de convección en la atmósfera y la desviación del material de caída libre por el viento dominante a grandes alturas. La columna alcanza una altura de 30 kilómetros.



(Figura 1). Instantes después de iniciado el derrumbe, el desprendimiento del flanco sur causó una despresurización súbita del sistema magmático, que resultó en una tremenda explosión seguida del surgimiento de un chorro vertical de magma rico en gas, que formó una enorme columna eruptiva de más de 30 km de altura similar en tamaño y forma a los "hongos" que se generan al detonar bombas atómicas. Como resultado, el edificio volcánico quedó en ruinas, y fue a partir de este momento que se inició la formación del cono volcánico que observamos actualmente. La erupción produjo cambios drásticos que crearon un paisaje lunar en un radio de 50 km. Aparentemente, los depósitos producidos por esta erupción también rellenaron el valle que drenaba la cuenca de México hacia el sur, lo cual debe haber provocado indudablemente un reordenamiento del sistema hidrológico de la región, causando un alza en el nivel de los lagos de la cuenca.

Este tipo de erupciones se conoce como del "tipo Santa Elena", debido a que en ese volcán, localizado en el oeste de Estados Unidos, se observó por primera vez directamente una erupción de esta índole en 1980.

#### *Un volcán predominantemente "pliniano"*

Las erupciones plinianas han caracterizado los últimos 15 000 años de la historia eruptiva del Popocatepetl, pues éstas se repiten con intervalos de tiempo que fluctúan entre los 1 000 y los 3 000 años.

Se les da el nombre de erupciones plinianas debido a Plinio el Joven, quien describió la famosa erupción del Vesubio que ocurrió en el año 79 y destruyó las ciudades romanas de Herculano y Pompeya. Una de las principales características de este tipo de erupción es la formación de una enorme columna eruptiva (Figura 2) constituida por una mezcla de fragmentos de magma ricos en gases, que ascienden formando un chorro vertical y que alcanzan alturas estratosféricas. Aunque inicialmente el material eruptivo es lanzado hacia la atmósfera debido a la descompresión de los gases que contiene, éste alcanza realmente mayores alturas por la formación de celdas de convección que dan un mayor empuje al chorro de gas y al material caliente (pómez y ceniza). El material de la columna es más ligero que el aire, por lo que el ascenso cesa cuando al enfriarse adquiere la misma densidad que la atmósfera, entonces la mezcla de



gas y material fragmentado se expande en forma horizontal creando un hongo o sombrilla que impide el paso de los rayos solares y produce una penumbra que puede durar varios días. Los materiales más densos retornan a la superficie de la Tierra produciendo depósitos de piedra pómez y ceniza. La forma de la sombrilla no es simétrica, pues es deformada por el viento que prevalece durante la erupción. Por esta razón los depósitos de pómez y ceniza no caen en forma radial alrededor del cráter, sino en dirección de un eje de dispersión que tiene la misma dirección que la del viento dominante. Las partículas más finas y los aerosoles que son dispersados, pueden permanecer en la atmósfera por muchos meses. Cuando la erupción y el empuje cesan, la columna eruptiva se colapsa por la gravedad y se forman flujos piroclásticos de pómez y ceniza de gran temperatura y velocidad, que bajan por las laderas del volcán y arrasan con todo lo que encuentran en su camino. Estos flujos pueden llegar a más de 25 km de distancia horizontal del cráter, y representan uno de los mayores peligros asociados a una erupción pliniana.

*Una erupción "freatoplíniana"*

Hace aproximadamente 14 000 años el paisaje del centro de México era muy distinto del actual. El clima era mucho más frío, por lo que también la vegetación difería considerablemente. Los volcanes y demás prominencias topográficas estaban provistos de un casquete de hielo de grandes dimensiones, y los glaciares ocupaban las barrancas que descienden por sus flancos. De igual manera, los flancos del Popocatepetl estaban desprovistos de los bosques que conocemos ahora. En este ambiente ocurrió la erupción pliniana más violenta que se haya registrado en este volcán. Curiosamente, se trata de una erupción que no ocurrió en el cráter principal, sino en el flanco no-

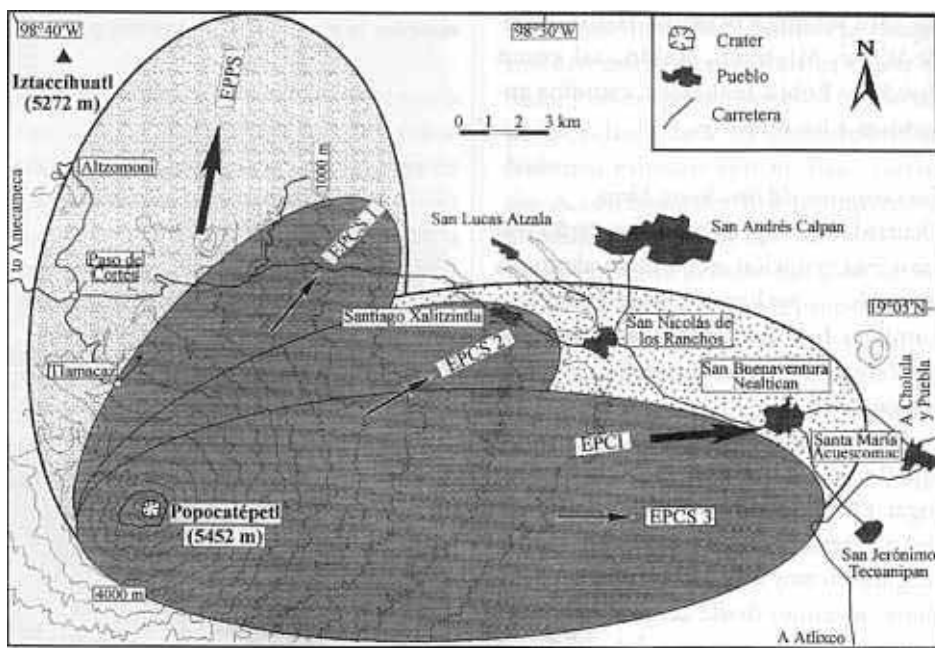


Figura 3: Mapa simplificado de isopacas (líneas de igual espesor) para los depósitos de pómez de caída emplazados durante las últimas grandes erupciones plinianas del Popocatepetl (modificado según Siebe *et al.*, 1996). Las isopacas dibujadas delimitan áreas con espesores de pómez mayores a los 50 cm. Las flechas indican direcciones de dispersión que coinciden con la dirección del viento durante la erupción. EPPS = Erupción Pliniana del "Precerámico" Superior (3195-2830 a.C.). EPCI = Erupción Pliniana del "Cerámico" Inferior (800-215 a.C.). EPCS 1, EPCS 2, y EPCS 3 = Erupción del "Cerámico" Superior (823 / 824 d.C.).

roeste, en el lugar conocido como barranca de Nexpayantla.

Además de formar un cráter nuevo (la barranca de Nexpayantla), el magma que ascendía a la superficie interactuó con una gran cantidad de agua (freatos), produciendo "explosiones freatomagmáticas". En este tipo de "explosiones" el magma sobrecalienta el agua que se encuentra en los poros y fracturas de las rocas que la encajonan, lo que produce un sistema altamente presurizado. Si este sistema sufre una ruptura, el agua sobrecalentada pasa de la fase líquida a la gaseosa con suma violencia y produce la fragmentación de la roca encajonante. Este fenómeno se repite en varias ocasiones hasta que el agua se consume y se abre un conducto que permite la formación de un chorro y de una columna pliniana. Los depósitos de caída de esta erupción fueron dispersados hacia el noroeste, donde ahora se encuentra la Ciudad de México. El material de caída de

esta erupción ha sido observado en diferentes lugares de la cuenca de México. En Nonoalco alcanza un espesor de 5 cm, en Tláhuac pudimos medir 20 cm, y en Xico (Valle de Chalco) casi 30 cm.

*Las últimas tres erupciones*

Hoy sabemos que ocurrieron erupciones plinianas de magnitud mediana hace alrededor de 11 000, 9 000 y 7 000 años antes de nuestra era. Estas erupciones aún no han sido estudiadas con todo detalle. En contraste, estudiamos minuciosamente los productos de las últimas tres erupciones plinianas que ocurrieron en el Popocatepetl, mismas que logramos fechar con mayor exactitud. Nuestros fechamientos por medio del método de Carbono 14 indican que las erupciones ocurrieron entre los años de 3 195 y 2 830 a.C., 800 y 215 a.C., y 675 y 1 095 d.C. Esto significa que las tres erupciones ocurrieron durante la etapa en la que con toda certeza ya existían asentamientos

humanos en el centro de México y por consiguiente pudieron ser observadas por aquellos ancestrales pobladores.

Hemos bautizado estas erupciones plinianas, correlacionándolas con las etapas culturales de Mesoamérica, como la del "Precerámico" Superior, la del "Cerámico" Inferior y la del "Cerámico" Superior, comenzando por la más antigua (Figuras 3 y 4). La estratigrafía de los depósitos volcánicos indica que las tres erupciones fueron similares en magnitud, así como en el patrón de las secuencias eruptivas. Las tres erupciones iniciaron con la emisión de pequeñas cantidades de ceniza y pequeños flujos piroclásticos. Acto seguido ocurrieron explosiones freatomagmáticas, cuyos flujos rasantes se extendieron de manera radial a grandes velocidades por las laderas del volcán, lo que culminó en una fase paroxísmica con el surgimiento de una gran columna pliniana, la caída de piedra pómez y el emplazamiento de flujos piroclásticos al colapsarse la columna. La vegetación circundante quedó carbonizada y la red hidrográfica destruida al ser cubierta por los materiales emitidos (Figura 3). La columna pliniana alcanzó en cada ocasión alturas mayores a los 25 km, lo que causó una oscuridad casi total en los alrededores del volcán por varios días. El surgimiento de la columna pliniana estuvo acompañada por fuertes descargas eléctricas y truenos. Finalmente, cuando la erupción declinó, se generaron tormentas con lluvias torrenciales que produjeron lahares (corrientes de lodo y ceniza) que de manera diluvial bajaron por las laderas del Popocatepetl y también del Iztaccíhuatl, donde varios km cúbicos de material no consolidado habían sido depositados por la erupción (Figura 5). Los lahares más voluminosos se generaron principalmente en las laderas este del Iztaccíhuatl y el Popocatepetl, porque fueron éstas en las cuales se depositó la mayor cantidad de material fragmentado. Esto se debió a que los vientos predominantes durante la erupción soplaron desde el oeste y el su-

roeste, y por consiguiente desviaron la columna pliniana hacia el este y noreste. Los lahares inundaron prácticamente toda la cuenca de Puebla drenada por el río Atoyac, y también afectaron de manera significativa los valles de Atlixco y Cuautla. Otros valles fueron afectados también, pero en menor grado. Estos lahares tuvieron una consistencia y flui-

dez similar a la del concreto mojado, y una densidad mucho mayor a la del agua. Las áreas afectadas quedaron completamente destruidas e inservibles para la agricultura por muchos años, hasta que las primeras plantas pioneras coadyuvaban a fijar nitrógeno en estos nuevos suelos arenosos. Curiosamente, las tres erupciones deben haber ocurrido duran-

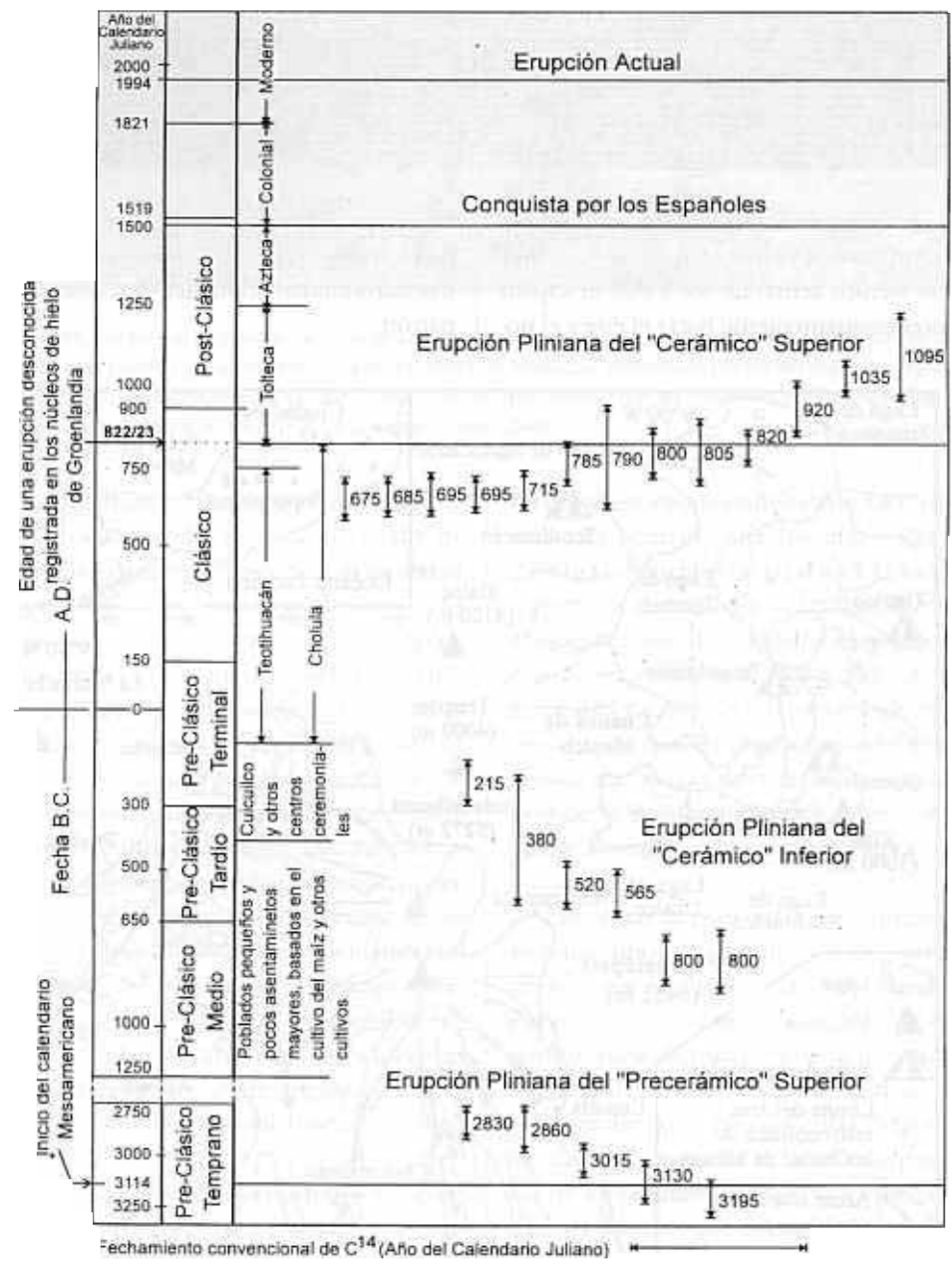


Figura 4: Cuadro cronológico cultural (según Millon, 1994; Sanders *et al.*, 1979; Porter Weaver, 1993) y fechamientos de Carbono 14 de depósitos piroclásticos producidos por las últimas tres erupciones plinianas del Popocatepetl.



te la época de secas, es decir, en invierno o primavera, ya que en dichas estaciones los vientos arriba de los 5 000 m soplan predominantemente hacia el este y el no-

reste. Por ahora no sabemos si se trata de una coincidencia o si puede existir un control astronómico y climático detrás de este patrón.

Las erupciones arriba descritas tuvieron un impacto considerable en su entorno. Destruyeron esencialmente la vegetación así como la vida animal en un radio de 30 km. Los únicos sobrevivientes (probablemente roedores) se encontraban en madrigueras subterráneas. Los lahares alcanzaron distancias mayores y arrastraron consigo cuanto encontraron a su paso. Los únicos lugares seguros y resguardados en las planicies que circundan el volcán fueron las elevaciones topográficas, desde donde se debió observar el fluir del letal lodazal. La columna pliniana y las explosiones se debieron notar a grandes distancias. Los sobrevivientes en las inmediaciones del volcán, como lo son la cuenca de Puebla y los valles de Atlixco, Cuautla y Amecameca, tuvieron que emigrar a otros lugares. En breve, hemos hablado aquí de grandes catástrofes naturales que sin duda tuvieron un impacto en el quehacer de los moradores de la región. En este contexto, vale la pena mencionar la famosa "Leyenda de los soles" del *Códice Chimalpopoca*, que trata de la cíclica creación y destrucción del mundo. Algunos párrafos de este texto pueden ser interpretados como descripciones poéticas de una erupción pliniana.

Enno Seele fue el primero en descubrir milpas y artefactos hechos por el hombre en las cercanías de San Nicolás de los Ranchos y San Buenaventura Nealticán que habían sido sepultados por depósitos volcánicos en la era prehispánica. Más recientemente, las arqueólogas Gabriela Uruñuela y Patricia Pluncket, de la Universidad de Las Américas, han llevado a cabo excavaciones más sistemáticas en la región identificada por Seele, y encontraron restos de habitaciones debajo de una capa de pómez fechada por nosotros entre 800 y 215 a.C. Estos hallazgos, al igual que observaciones hechas por nosotros cerca de Paso de Cortés, Amecameca, Calpan, Huejotzingo, Cholula, Totimiahuacon, San Pedro Atlixco, Tianguismanalco, etc., donde hemos vis-

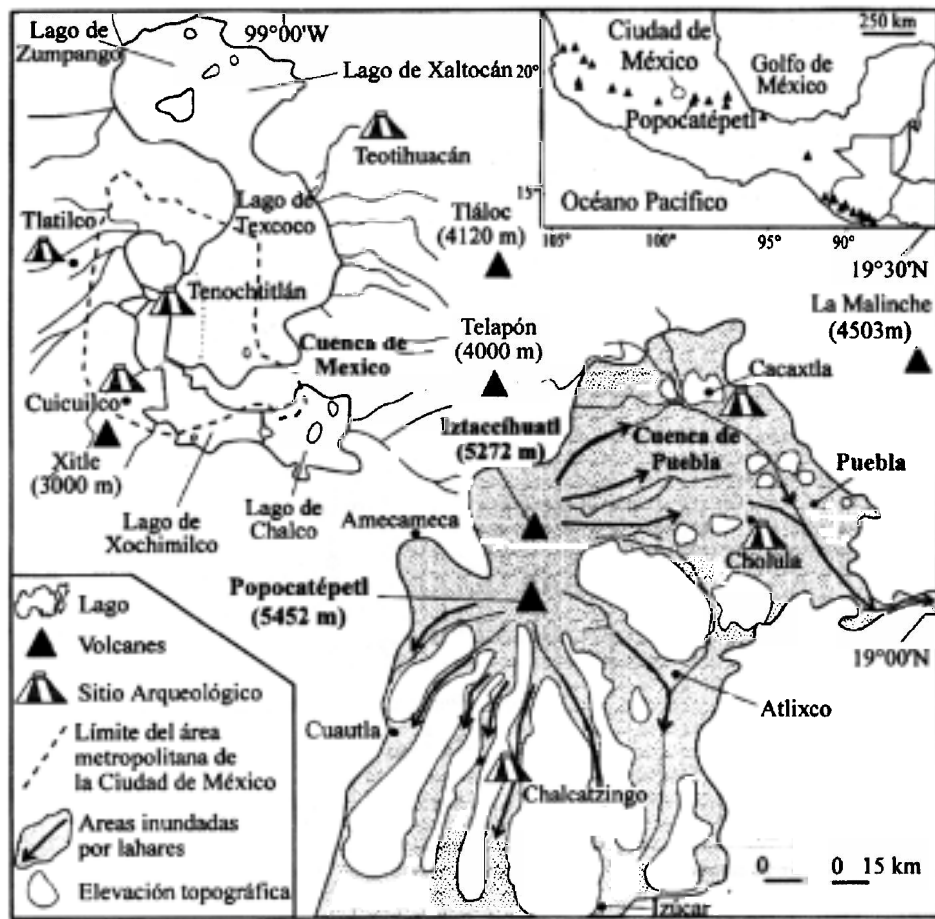


Figura 5. Localización del Popocatepetl y áreas afectadas por lahares emplazados durante las últimas grandes erupciones plinianas (modificado según Siebe *et al.*, 1996) y localización de zonas arqueológicas.





Figura 6. Depósitos de lahar en las cercanías de Calpan, Puebla, que fueron emplazados al finalizar la última gran erupción pliniana del Popocatepetl alrededor de los años 823/824 d.C. Estos depósitos consisten en fragmentos de pómez y ceniza volcánica. La flecha indica un "tepalcate" empotrado dentro del depósito. Figura 7 (derecha). Vista de las ruinas de Cholula. Nótese el espesor de varios metros de los depósitos de lahar (flecha) que tuvieron que ser removidos por los arqueólogos para descubrir la base de la escalinata. Al fondo se ve el Iztaccíhuatl, donde se originaron en gran parte estos lahares.

to fragmentos de cerámica sepultados por *detritus* volcánico, son evidencia suficiente para afirmar que en la época prehispánica ocurrieron desastres causados por erupciones del Popocatepetl (Figura 6).

Pero esto no es todo: durante una inspección turística de la zona arqueológica de Cholula pudimos observar de manera fortuita que la Gran Pirámide se encuentra rodeada de depósitos de lahar que forman la planicie sobre la cual se encuentra asentada la actual ciudad de Cholula (Figura 7). Nuestras observaciones de la estratigrafía indican que estos lahares bajaron de la barranca Ametlapanapa, que tiene su inicio en los flancos orientales del Iztaccíhuatl. Logramos fechar los depósitos de los lahares y obtuvimos una fecha de emplazamiento de  $790 \pm 175$  d.C. Este fechamiento coincide con los que hemos obtenido para la última gran erupción pliniana en el Popocatepetl (véase Figura 4). De igual manera visitamos otros sitios arqueológicos en el valle de Puebla, como lo son Cacaxtla, Xochitcatl y Totimiahucan. Estas ruinas es-

tán asentadas sobre pequeños cerros que sobresalen de las planicies del valle de Puebla, conformadas casi en su totalidad por depósitos de lahar. Desde estos promontorios topográficos los antiguos moradores del valle de Puebla, quienes reaccionaron con inteligencia al notar la erupción pliniana, pudieron observar cómo los lahares que bajaban de los volcanes destruían sus construcciones y campos de cultivo, localizados pocos metros más abajo en la planicie. Muchas personas deben haber perecido a causa de los lahares que avanzaban a velocidades mayores a los 50 km/h. Sin embargo, creemos que también hubo muchos sobrevivientes a las catástrofes, quienes tuvieron que emigrar, ya que durante muchos años el área quedó inservible para la agricultura.

¿Hacia dónde emigraron los antiguos pobladores? No lo sabemos. En este contexto vale la pena mencionar que nuestros fechamientos de los depósitos producidos por las últimas grandes erupciones plinianas coinciden con etapas importan-

tes de la historia mesoamericana. La erupción que ocurrió entre los años 3 195 y 2 830 a.C. coincide con la fecha 3 114 a.C. que es la del inicio del Calendario Mesoamericano. Las erupciones que ocurrieron entre los años 800 y 215 a.C. y entre 675 y 1 095 d.C. coinciden de manera burda con las transiciones del Preclásico al Clásico y del Clásico al Postclásico de la arqueología mesoamericana (véase Figura 4). ¿Es todo esto mera coincidencia?

Para tratar de responder a esta pregunta estudiamos y fechamos los depósitos dejados por la última gran erupción del Popocatepetl con mayor detalle. No tenemos duda alguna de que la columna pliniana alcanzó alturas estratosféricas, lo que significa que las partículas finas de ceniza y los aerosoles ricos en compuestos de azufre fueron dispersados alrededor del orbe, donde se mantuvieron suspendidos en la atmósfera por varios meses antes de precipitarse en la superficie terrestre. La estratigrafía de la precipitación anual se preserva con particular nitidez



en las zonas polares, como Groenlandia, donde se forma anualmente una capa de nieve que se distingue bien de las que se precipitaron en años anteriores. Recientemente Zielinski y sus colaboradores han recobrado núcleos de hielo en perforaciones de varios kilómetros de profundidad llevadas a cabo en los glaciares de Groenlandia. La estratigrafía de la precipitación anual recobrada en estas perforaciones abarca varios miles de años. El hielo se analizó químicamente capa por capa, y se encontró que hay años en los cuales la precipitación es particularmente rica en compuestos de azufre. Se ha llegado a la conclusión de que esto se debe a que en esos años ocurrieron grandes erupciones plinianas que inyectaron estos compuestos a la estratósfera en algún lugar del orbe. En la mayoría de los casos ha sido posible la correlación de la fecha de erupción cataclísmica de algún volcán con los horizontes de hielo ricos en azufre. Sin embargo, aún hay horizontes que no se han podido correlacionar con erupciones concretas, por ejemplo, el que se formó en los años 823/824. Nuestros fechamientos de los depósitos de la última gran erupción del Popocatepetl coinciden de manera casi perfecta con la edad de este horizonte (dentro de los límites metodológicos del Carbono 14). Esto significa que la última gran erupción pliniana del Popocatepetl ocurrió probablemente en uno de esos años, lo que es particularmente importante para nuestros fines, y debería serlo aún más para los arqueólogos. De acuerdo con estos últimos, los siglos VIII y IX de nuestra era (transición del Clásico al Postclásico) se caracterizaron por la sucesión de diversos fenómenos que convulsionaron las sociedades prehispánicas de Mesoamérica. Se estima que Teotihuacán fue abandonada aproximadamente en 750 d.C. y Cholula y Cacaxtla en 800 d.C. En el siglo IX también ocurrió el colapso de la Civilización Clásica Maya. ¿Qué papel desempeñó el Popocatepetl en estos sucesos?

Sabemos ahora que los lahares tuvieron un impacto directo en toda la cuenca del río Atoyac en el actual estado de Puebla, y por ende podemos concluir que el abandono de Cholula y Cacaxtla se debió a una erupción del Popocatepetl. ¿Pero Teotihuacán y el colapso de los mayas? ¿Es posible que los sobrevivientes de la erupción hayan emigrado hacia zonas circundantes (incluso hasta la zona maya) en busca de nuevas tierras de cultivo, creando así conflictos y sobrepoblación?


Hoy sabemos que las erupciones plinianas pueden tener efectos sobre el clima. Los estudios paleoclimáticos realizados recientemente han mostrado que la Península de Yucatán y zonas vecinas fueron afectadas por severas sequías durante el siglo IX (ver al respecto los textos de R. B. Gilly y D. A. Hodell y colaboradores). ¿Tuvo el Popocatepetl también algún papel en este fenómeno?

Por ahora, nuestro conocimiento de los posibles efectos de las erupciones plinianas del Popocatepetl (y otros volcanes) en las sociedades prehispánicas son sumamente fragmentarios. Sólo sabemos que la última gran erupción del Popocatepetl coincide temporalmente con una época de crisis general.

El propósito de este artículo es provocar una discusión académica al respecto, pues tenemos la certeza de que estudios futuros que tengan como objetivo dilucidar el efecto de erupciones pasadas en sociedades antiguas serán de gran utilidad para prevenir los efectos más desastrosos en posibles erupciones futuras. De esta manera, la realización de estudios interdisciplinarios coadyuvará en la solución de problemas de vital importancia para nuestra sociedad y para las generaciones futuras\*. Esta clase de estudios podría ir más allá de la mera creación de nuevos atractivos turísticos y el engrandecimiento de nuestro pasado como una artimaña ideológica para lograr la identidad y cohesión nacional. La existencia de un volcán como el Popocatepetl, a escasos 50 km de la ciudad más grande del

mundo, nos plantea un problema que debe ser afrontado con seriedad y profesionalismo, y cuanto antes, mejor.

### Agradecimientos

Nuestros estudios en el Popocatepetl han sido posibles gracias al generoso financiamiento otorgado por varias instituciones, entre las que se encuentran la Universidad Nacional Autónoma de México, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, el Centro Nacional para la Prevención de Desastres, la National Aeronautics and Space Administration y el Lateinamerika Institut en Viena. 

\* Durante la próxima Asamblea General de la International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI) que se llevará a cabo en Puerto Vallarta, Jalisco en enero de 1997 habrá un simposio especial sobre vulcanismo y arqueología, en el que se abordarán estos temas.

Claus Siebe, José Luis Macías, Instituto de Geofísica, UNAM. Michael Abrams California Institute of Technology, USA y Johannes Obenzholzer, Montan-Universität Leoben, Austria.

### Bibliografía

- Boudal, C. y C. Robin. 1988. Relations entre dynamismes éruptifs et réalimentations magmatiques d'origine profonde au Popocatepetl. *Canadian Journal of Earth Sciences* 25:955-971.
- Boudal, C. y C. Robin. 1989. "Volcán Popocatepetl: recent eruptive history, and potential hazards and risks in future eruptions", en Latter, J.H. (ed.); *Volcanic Hazards, IAVCEI Proceedings in Volcanology* 1, Berlin, Springer Verlag, pp. 110-128.
- Culbert, T.P. 1973. *The Classic Maya Collapse*. Albuquerque, University of New Mexico Press.
- Diehl, R.A. y Berlo. 1989. *Mesoamerica after the decline of Teotihuacán A.D. 700-900*. Washington, D.C., Dumbarton Oaks Research Library and Collection.
- Gill, R.B. 1994. *The great Maya droughts*. Tesis doctoral, The University of Texas at Austin.
- Global Volcanism Network Bull. 1994. v. 19-11, p. 2-4.
- Global Volcanism Network Bull. 1994. v. 19-12, p. 3-4.
- Heine, K. y H. Heide-Weise. 1973. Jungquartäre Förderfolgen des Malinche Vulkans und des Popocatepetl (Sierra Nevada, México) und ihre Bedeutung für die Glazialgeologie, Paläoklimatologie und Archäologie: Münstersche Forschungen in der Paläontologie und

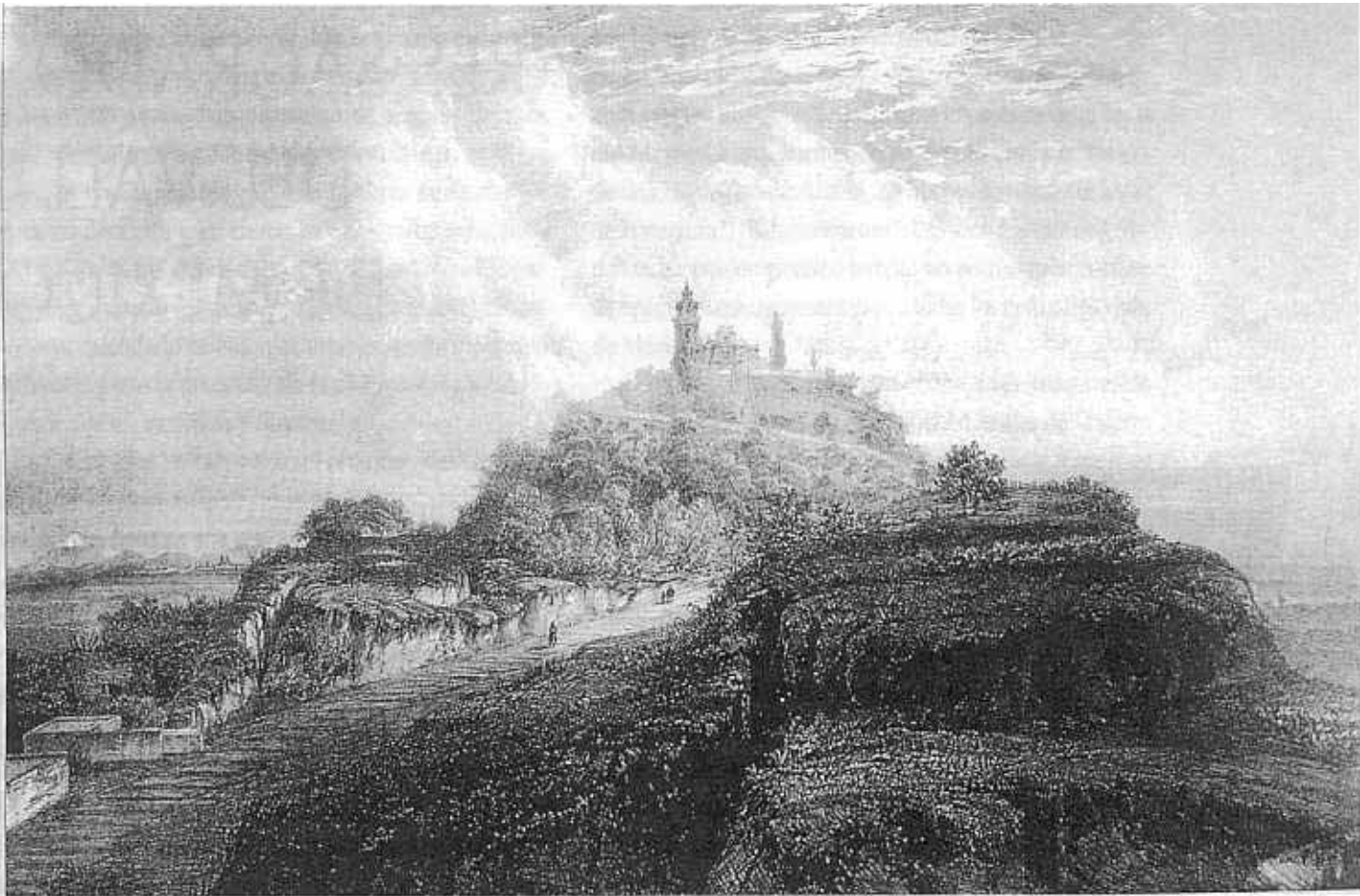


Foto de Chohula, Nebel

- Geologie, v. 31/32, p. 303-322.
- Hodell, D.A., J.H. Curtis y M. Brenner. 1995. Possible role of climate in the collapse of Classic Maya. *Nature* 375:391-394.
- Johnson, R.W. 1993. *Volcanic Eruptions and Atmospheric Change*. Australian Geological Survey Organisation Issues Paper, Canberra.
- Luhr, J.F. 1991. Volcanic shade causes cooling. *Nature* 354:104-105.
- Macías, J.L., G. Carrasco, H. Delgado, A.L. Martín del Pozzo, C. Siebe, R. Hoblitt, M.F. Sheridan, R. Tilling. 1995. *Mapa de peligros volcánicos del volcán Popocatepetl*. México, Instituto de Geofísica, UNAM.
- Miehlich, G. 1984. *Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanascheböden eines randtropischen Gebirges* (Sierra Nevada de México). Tesis posdoctoral, Universidad de Hamburgo.
- Millon, R. 1994. Teotihuacán. *Scientific American*, número especial sobre ciudades antiguas, 5-1:138-148.
- Robin, C. 1984. Le volcan Popocatepetl (Mexique): structure, évolution pétrologique et risques. *Bulletin Volcanologique* 47 (1):1-23.
- Sanders, W.T., J. Parsons y R.S. Santley. 1979. *The Basin of Mexico. Ecological Processes in the Evolution of a Civilization*, Nueva York, Academic Press.
- Santana-Sandoval, A. 1990. "Ubicación cronológica del gran basamento y sus pinturas", en *Cacaxtla, Proyecto de Investigación y Conservación*, INAH y Gobierno del estado de Tlaxcala, pp. 33-34.
- Seele, E. 1973. Restos de milpas y poblaciones prehispánicas cerca de San Buenaventura Nealticán, Puebla. *Comunicaciones* 7:77-86.
- Siebe, C., M. Abrams, J.L. Macías y J. Obenholzer. 1996. "Repeated volcanic disasters in Prehispanic time at Popocatepetl, Central México: Past key to the future?", en *Geology*, Revista mensual de la Geological Society of America. En prensa.
- Siebe, C., M. M. Abrams, M. y J.L. Macías. 1995. "Derrumbes gigantes, depósitos de avalancha de escombros y edad del actual cono del Volcán Popocatepetl", en *Volcán Popocatepetl: Estudios realizados durante la crisis de 1994-1995*. Comité Científico Asesor de la Secretaría de Gobernación CENAPRED-UNAM, pp. 195-230.
- Siebe, C., J.L. Macías, M. Abrams, S. Rodríguez, R. Castro y H. Delgado. 1995. *Quaternary Explosive Volcanism and Pyroclastic Deposits in East Central Mexico: Implications for Future Hazards*. Geological Society of America Annual Meeting 1995, New Orleans, Louisiana, Field Trip Guide Book 1, p. 1-47.
- Simarski, L.T. 1992. *Volcanism and Climate Change*. Special Report American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Suárez-Cruz, S. y S. Martínez-Arreaga. 1993. *Monografía de Cholula*. Puebla. Offset Mabeck.
- Uruñuela, G. y P. Plunket. 1995. com. pers. "Hallazgos arqueológicos en el flanco NE del Popocatepetl", conferencia leída en el Coloquio sobre el Volcán Popocatepetl, Instituto de Geofísica, UNAM, Enero 13, 1995.
- Zielinski, G.A. 1995. Stratospheric loading and optical depth estimates of explosive volcanism over the last 2100 years derived from the Greenland Ice Sheet Project 2 ice core. *J. Geophys. Res.* V. 100, D10, p. 20,937-20,955.
- Zielinski, G.A., P.A. Mayewski, L.D. Meeker, S. Whitlow, M.S. Twickler, M. Morrison, D.A. Meese, A.J. Gow y R.B. Alley. 1994. "Record of volcanism since 7000 B.C. from the GISP2 Greenland ice core and implications for the volcano-climate system". *Science* 264: 948-952.