

8. ACTIVIDAD ERUPTIVA ASOCIADA AL EVENTO DEL ULTIMO DERRUMBE

Un volcán puede sufrir un derrumbe parcial de su cono con o sin una erupción que acompañe al evento. El último derrumbe del Popocatépetl estuvo asociado a la erupción más violenta que hemos podido identificar en la historia eruptiva del volcán. Prueba de ello dan los depósitos que sobreyacen al depósito de avalancha. En la Figuras 15, 16, y 17 se muestran la localización y columnas estratigráficas de diversos afloramientos que ocurren en el flanco sur del volcán y fueron estudiados por nosotros.

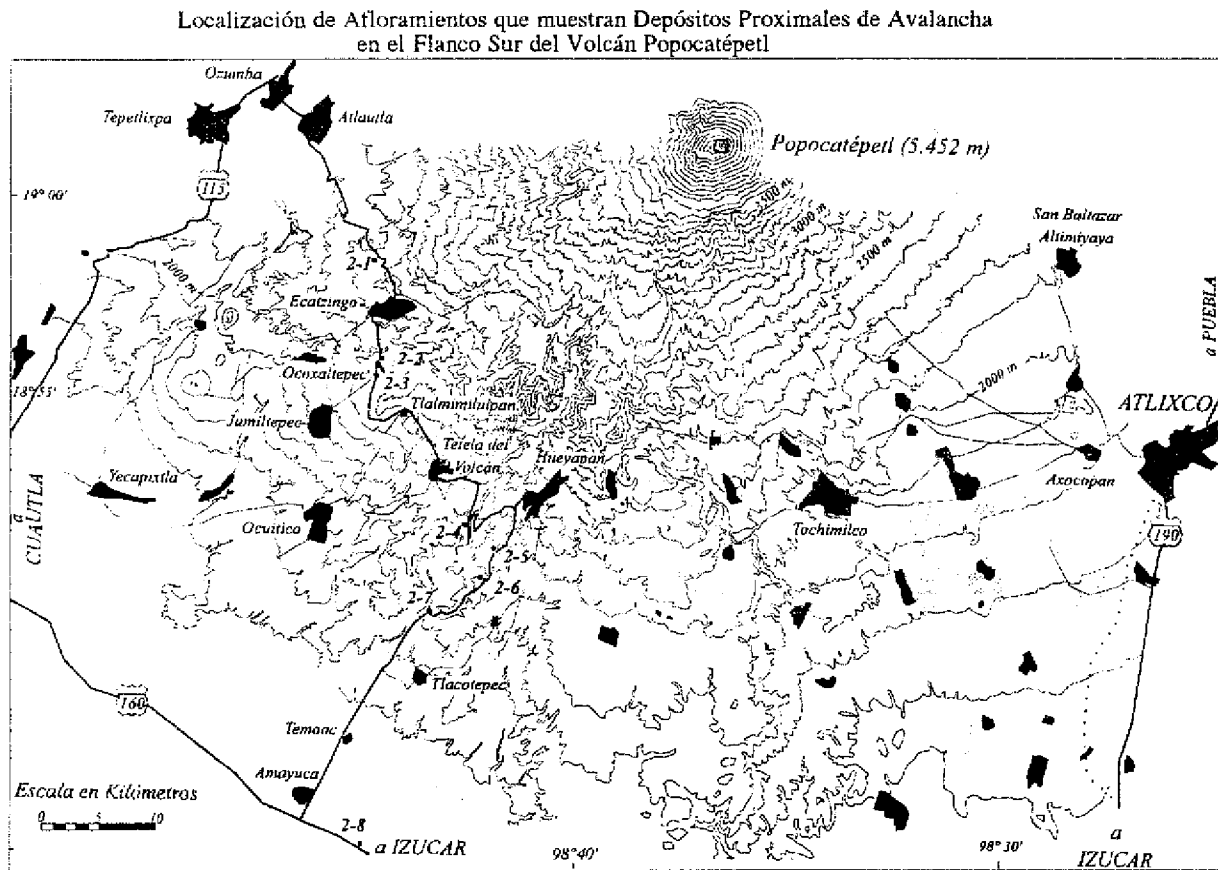


Fig. 15. Mapa que muestra la localización de afloramientos geológicos en la vertiente sur del Popocatépetl. Estos afloramientos muestran depósitos de avalanchas de escombros así como otros depósitos asociados a las erupciones cataclísmicas del tipo Santa Elena.

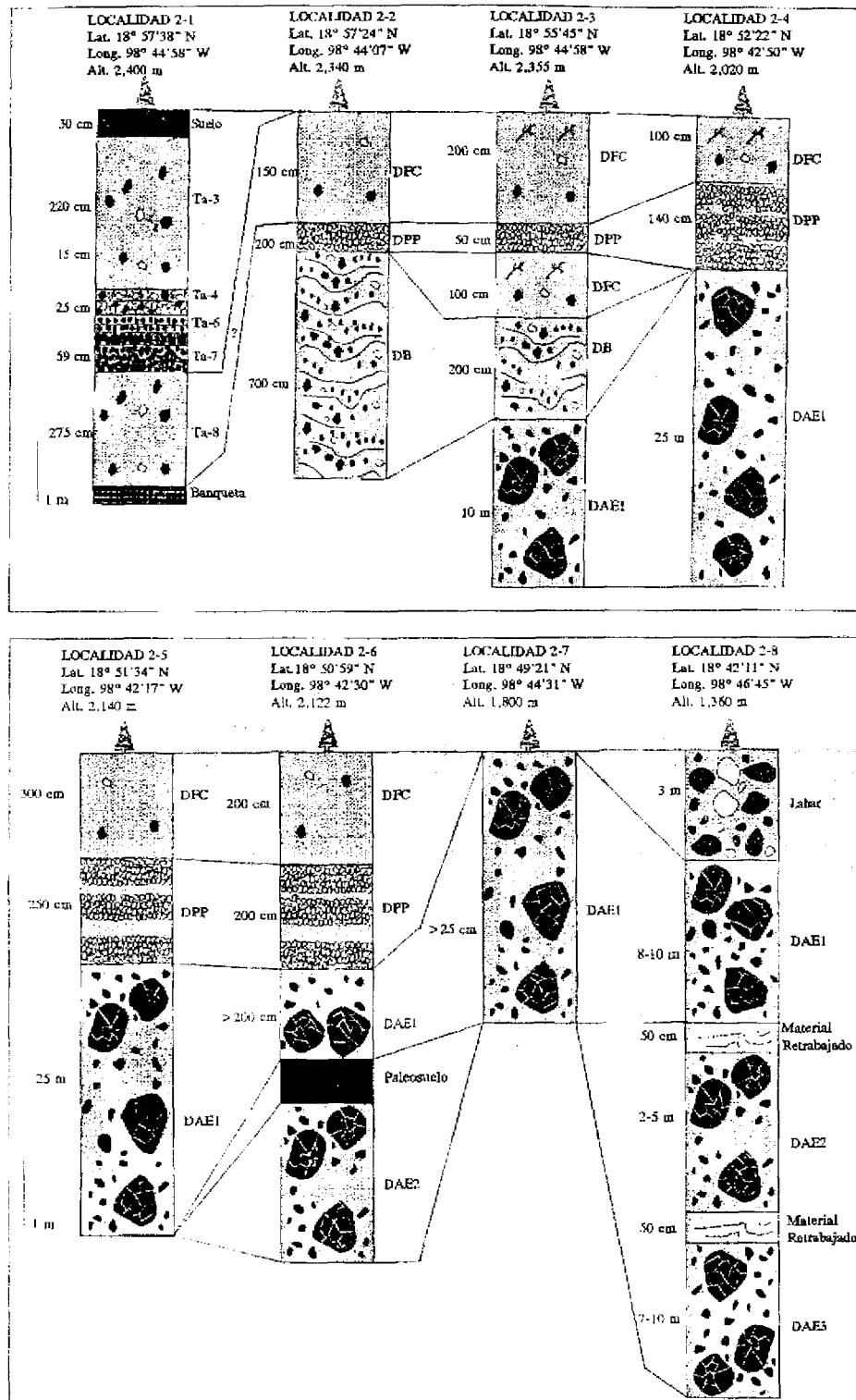


Fig. 16. Columnas de los afloramientos 2-1 a 2-9 que muestran las relaciones estratigráficas de los depósitos relacionados a las erupciones del tipo Santa Elena en el flanco Sur del Popocatepetl. DAE = Depósito de avalancha de escombros, DB = Depósito de "blast", DFC = Depósito de flujo de cenizas, DPP = Depósito de pómez de Caída "Pliniano".

Columna Estratigráfica Compuesta de los Depósitos Piroclásticos en el Flanco Sur del Volcán Popocatepetl

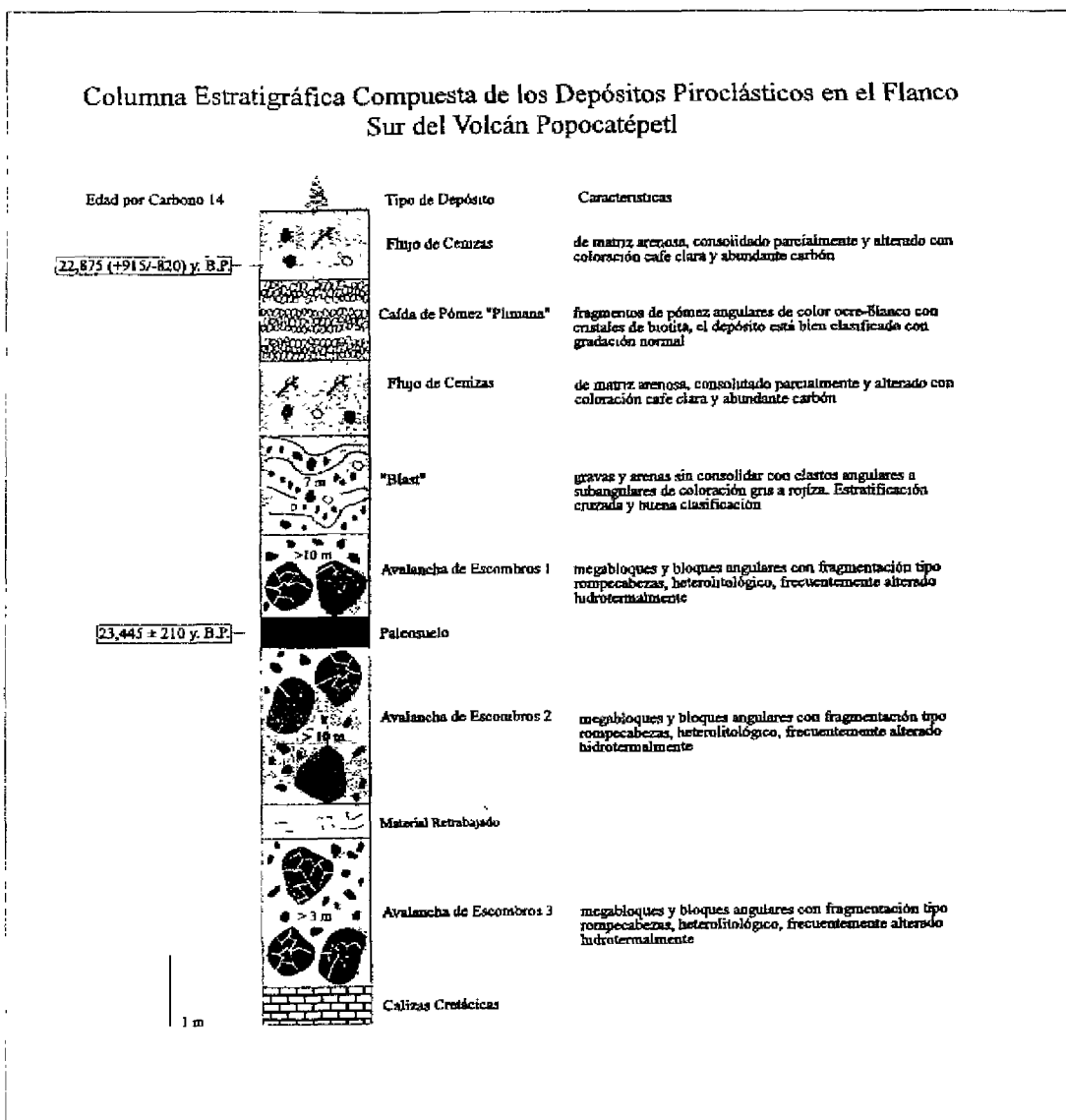


Fig. 17. Columna estratigráfica esquematizada que muestra la secuencia de los depósitos piroclásticos relacionados a las erupciones del tipo Santa Elena en el flanco sur del Popocatepetl. También se muestra la posición estratigráfica de las muestras de material orgánico fechadas por el método de radiocarbono 14.

Estos afloramientos muestran la secuencia de eventos eruptivos relacionados a las erupciones del tipo Santa Elena que dieron origen a los depósitos de avalancha de escombros. En forma similar a la erupción del Santa Elena, el desprendimiento del flanco sur causó una despresurización súbita del sistema magmático. Se generó un flujo turbulento o "blast" que produjo un depósito de varios metros de espesor a más de 10 km de distancia del cráter (Figs. 18 y 19). El depósito consta de una alternancia de capas de gravas, arena y bloques de color rojizo a gris. Los fragmentos son angulares y las capas se caracterizan por tener estratificación cruzada y otras estructuras que indican emplazamiento por un flujo horizontal, turbulento y de poca densidad.



Fig. 18. Afloramiento que muestra la secuencia de depósitos tipo "blast", que sobreyace al depósito de avalancha de escombros en la localidad 2-2 (ver Fig. 15). La secuencia "blast" es el producto de varios flujos turbulentos de baja densidad y alta energía que se generaron como producto de la despresurización súbita del sistema magmático durante los primeros instantes de la erupción tipo Santa Elena. La despresurización súbita ocurrió cuando se inició el derrumbe gigante.



Fig. 19. Acercamiento que muestra la secuencia de depósitos tipo "blast" en el que alternan finas láminas de ceniza arenosa con gravas de fragmentos angulosos y poco redondeados. La falta de redondez implica baja densidad de los flujos.

Una revisión de la literatura nos permite catalogar este "blast" como uno de los depósitos más grandes de su tipo detectados hasta la fecha alrededor del orbe. El "blast" fue seguido por el emplazamiento de un depósito de pómez de caída. Este depósito es el más grande de su tipo detectado hasta la fecha en el volcán. Consta de fragmentos angulares de una pómez de color beige a blanco con fenocristales de biotita y alcanza espesores de varios metros (Figs. 20 y 21). Por su distribución y dimensiones es sin lugar a duda el producto de la caída de fragmentos provenientes de una columna de tipo Pliniana que debe haber alcanzado alturas estratosféricas. La erupción terminó con el emplazamiento de flujos de ceniza de color café claro que se produjeron cuando la columna Pliniana ya no se pudo sostener más y colapsó por gravedad. Estos flujos alcanzaron distancias de más de 30 km del volcán. La erupción que produjo esta secuencia de depósitos fue de magnitudes enormes y produjo cambios drásticos en el paisaje. Destruyó completamente la vegetación en un radio de decenas de kilómetros y modificó completamente la red hidrográfica de la zona. Durante los años que siguieron, la red hidrográfica se volvió a reconstruir y se produjeron lahares (flujos de arena, grava y agua) e inundaciones que retrabajaron los depósitos primarios y formaron nuevos depósitos. Estos depósitos cubren las partes distales del abanico de avalanchas.

9. EDAD DEL ULTIMO DEPOSITO

Se mencionó anteriormente, que Robin y Boudal (1987) estimaron la edad de la avalancha más joven, que es la que ellos describen y actualmente forma el paisaje de montículos al sur del volcán, entre 30 000 y 50 000 años. Como la edad de la última avalancha de escombros implícitamente nos indica también la edad del presente cono del Popocatepetl pusimos especial énfasis en intentar resolver esta cuestión. Dentro del depósito de avalancha deberían abundar vestigios de material orgánico provenientes de la vegetación que cubría las laderas del volcán en el momento que se inició el derrumbe gigante. En efecto, es posible encontrar moldes de troncos y ramas de árboles en muchos afloramientos. Sin embargo, la gran mayoría de estos moldes están huecos debido a que la materia orgánica original se pudría. En algunas ocasiones el material orgánico fue reemplazado por minerales arcillosos. Por esta razón jamás hemos encontrado material fechable por el método de radiocarbono ¹⁴ directamente dentro del depósito de avalancha. Sin embargo logramos encontrar madera fechable dentro de un paleosuelo que se encuentra directamente debajo del depósito de avalancha en un afloramiento localizado 3 Kms. al este de Tepexco sobre la carretera federal que comunica los poblados de Cuautla e Izúcar de Matamoros (Figs. 22 y 23). Su análisis dio una edad de $23,445 \pm 210$ años.

Además logramos obtener material carbonizado de los flujos de ceniza que se produjeron al final de la misma erupción que produjo el depósito de avalancha de escombros y que por lo tanto deben de ser de edad contemporánea (Fig. 17). El análisis de este material produjo una edad de $22,875 \pm 915/-820$ confirmando nuestra sospecha. Estos resultados indican que la edad del depósito de avalancha de escombros y por lo consiguiente del actual cono del Popocatepetl debe estar en el rango delimitado por los dos fechamientos, esto es entre 22,000 y 23,655 años. Esto también significa que el sistema magmático del Popocatepetl ha producido entre 6 y 9 km³ de material eruptivo durante los últimos 23 000 años, lo que equivale a una tasa de producción anual de 273 a 391 m³ de magma. Recuérdese que estas cifras están basadas en estimaciones muy conservadoras.

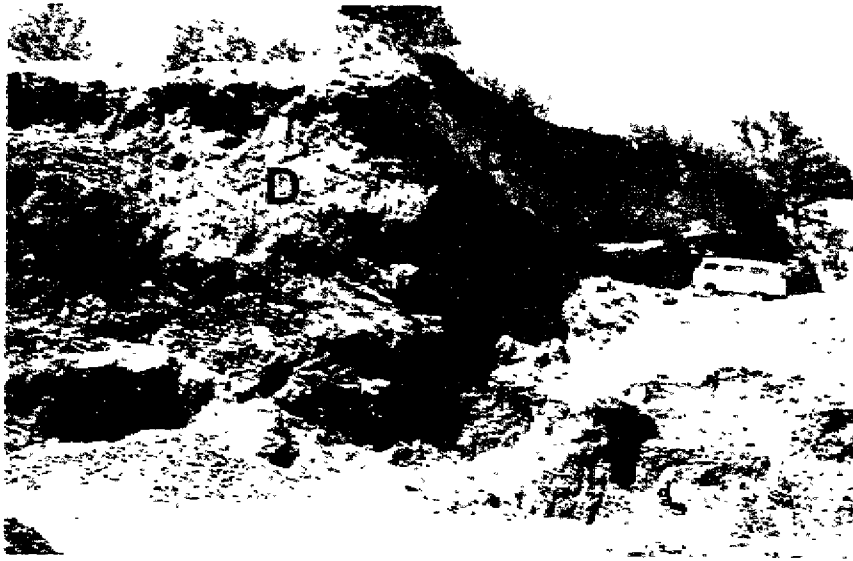


Fig. 20 Afloramiento en una mina de grava localizada en el punto 2-5 (ver Fig 15) donde se pueden observar las relaciones estratigráficas del depósito de avalancha de escombros **D** y los depósitos piroclásticos que lo sobreyacen. El depósito de caída de pómez con biotita **P** y los flujos de ceniza **F** están relacionados a una columna eruptiva que alcanzó alturas estratosféricas y se generó poco después del derrumbe gigante que produjo el depósito de avalancha.



Fig. 21. Acercamiento del depósito de pómez de caída que sobreyace al depósito de avalancha de escombros. Nótese que consta de varias series de caída que corresponden a varios pulsos magmáticos e indican una taza de erupción fluctuante.



Fig. 22 Afloramiento del depósito de avalancha más joven proveniente del Popocatepetl en un corte de la carretera federal que comunica los poblados de Tepexco e Izúcar de Matamoros en el Estado de Puebla. La muestra de material orgánico fechada en $23,445 \pm 210$ años fue tomada del paleosuelo **P** que se encuentra entre rocas calizas del Cretácico **C** y el depósito de avalancha de escombros **D**.

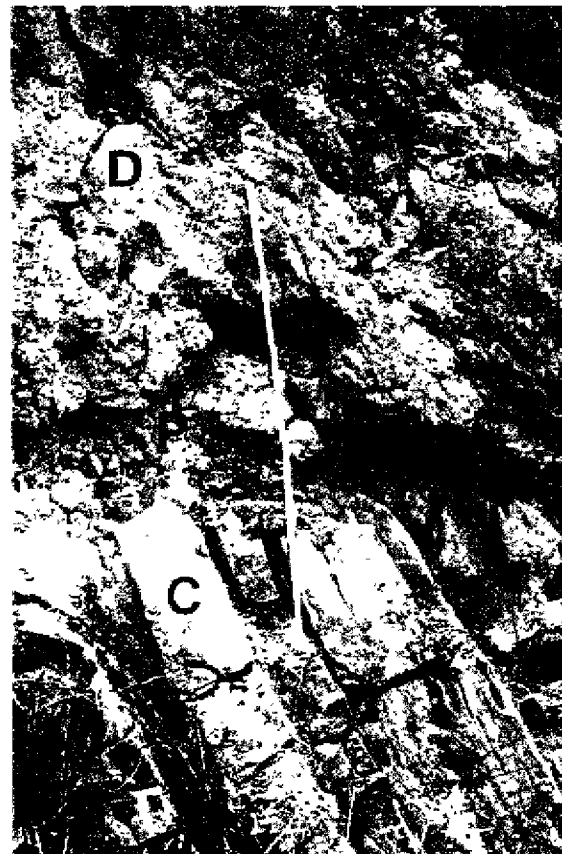


Fig. 23 Acercamiento de la localidad que se muestra en la Fig. 22. Nótese que las rocas calizas con nódulos de pedernal del Cretácico se encuentran en posición casi vertical porque fueron plegadas durante la Orogénesis Larámide.

10. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Si comparamos los depósitos de avalancha en el Popocatepetl con otros depósitos que se describen en la literatura podemos resaltar lo siguiente: Los depósitos de avalancha del Volcán Popocatepetl se pueden catalogar entre los más grandes del mundo y son comparables en sus dimensiones a los depósitos observados en el Monte Shasta, California (Crandell, 1989; Crandell et al., 1984) Socompa, Chile (Francis et al., 1985) y el complejo volcánico de Colima Stoopes (1990). Con estos últimos guardan especial similitud. En Colima también se pensaba inicialmente que sólo había un único depósito y al paso de los años se descubrieron cada vez mas (Stoopes y Sheridan, 1991; Siebe et al., 1991) Ahora se piensa que existen ahí al menos cinco depósitos diferentes (Komorowski et al., 1994). Pero hay más similitudes aún. Los volcanes de Colima, al igual que el Iztaccihuatl y el Popocatepetl, se encuentran alineados de Norte a Sur a lo largo de una cadena volcánica cuyo volcán más activo y más joven se encuentra en el extremo meridional. Los depósitos en Colima también forman un abanico de similares dimensiones que cubre amplias extensiones hacia el sur del complejo volcánico. El repetido colapso con generación de derrumbes hacia el sur se debe en ambos casos a que la gran masa del volcán más antiguo que se encuentra hacia el norte sirve como sostén impidiendo la desestabilización de los flancos septentrionales. Esta observación tiene valor predictivo pues es muy probable que el próximo derrumbe gigante ocurra en ambos lugares, el Volcán de Colima así como el Popocatepetl, hacia el Sur nuevamente. En el caso del Popocatepetl es posible que el promontorio formado por la pared de Nexpayantla, localizado en el Noroeste del actual cono, dé mayor estabilidad a ese flanco causando un debilitamiento mayor y consiguiente derrumbe gigante hacia el Sureste

En resumen se puede afirmar que el actual Popocatepetl no es el primer volcán que se encuentra localizado en ese lugar. Los anteriores volcanes que existieron ahí tuvieron un largo período de crecimiento que culminó con una erupción del tipo Santa Elena que produjo un derrumbe gigante y el emplazamiento de un depósito de avalancha de escombros hace aproximadamente 23,000 años. Esta erupción produjo además varios depósitos proclásticos entre los cuales resalta un depósito de pómez de caída que representa un excelente marcador estratigráfico en toda la zona. El actual cono del Popocatepetl se reconstruyó a partir de esa erupción, rellenó paulatinamente el gran cráter en forma de herradura y se encuentra ahora probablemente en la etapa final de su crecimiento. Trabajos futuros deberían estar encaminados a determinar las edades de los demás depósitos de avalancha con el fin de conocer el lapso de repetición de este fenómeno. Además es necesario delimitar con mayor exactitud la superficie y volúmenes de los diferentes depósitos para tener un mejor conocimiento de la tasa de producción magmática. Es necesario monitorear geodésicamente los flancos del Popocatepetl y en especial el flanco Sur para detectar cualquier deformación del terreno que pudiese indicar un inminente derrumbe

11. AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue financiado a través del proyecto CONACyT No. 0631-T9110 asignado a Claus Siebe. El trabajo de Michael Abrams fue financiado por un proyecto de la National Aeronautics and Space Administration a través del Jet Propulsion Laboratory en Pasadena, California. Los Dres. Chris Eastoe y Austin Long procesaron el material orgánico que sirvió para obtener las fechas de radiocarbono 14 en el Laboratorio de Geocronología de la Universidad de Arizona en Tucson. Además queremos agradecer el apoyo constante de las autoridades de la UNAM, que han entendido que el mejor conocimiento de nuestros volcanes puede tener en ocasiones algún valor utilitario que rebasa la mera satisfacción de la curiosidad académica y otras manías. También queremos agradecer sinceramente la ayuda editorial ofrecida por el Ing. Tomás Sánchez del CENAPRED. Nuestro compañero de trabajo y amigo Juan Manuel Espíndola gentilmente revisó una versión temprana del manuscrito. Finalmente queremos agradecer a Maria Elena y Enzo Segre su generosa hospitalidad. Gracias a ellos nos sentimos miembros de la comunidad que habita en las faldas de nuestro respetable Señor Volcán.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Carrasco-Núñez, G., Vallance, J. y Rose, W.I., 1993. A voluminous debris avalanche-induced lahar from Citlaltépetl Volcano (México): Implications for hazards assessment. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* V. 59, p. 34 - 52.
- Crandell, D. R., 1989. Gigantic debris avalanche of Pleistocene age from ancestral Mount Shasta volcano, California, and debris-avalanche hazard zonation. *U. S. Geol. Surv., Prof. Paper.*, 1861 : 1 - 32.
- Crandell, D. R., Miller, C. D., Glicken, H.X., Christiansen, R.L. y Newhall, C G., 1984 Catastrophic debris avalanche from ancestral Mount Shasta volcano, California. *Geology*, 12 : 143 -146.
- Davies, T. R. H., 1982. Spreading of rock avalanche debris by mechanical fluidization. *Rock Mechanics*, 15 : 9 - 24.
- Francis, P. W. y Wells, G. L., 1988. Landsat thematic mapper observations of debris avalanche deposits in the central Andes. *Bull. Volcanol.*, 50 : 258 - 278.
- Francis, P. W., Gardeweg, M., Ramírez, C. F. y Rothery, D. A., 1985 Catastrophic debris avalanche deposit of Socompa volcano, northern Chile. *Geology*, 13 : 600 - 603.
- Glicken, H. X., 1986. Rockslide-debris avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens Volcano, Washington. Doctoral Dissertation, University of California, Santa Barbara, pp. 1 - 303.
- Glicken, H. X., (en prensa). Rockslide-debris avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens Volcano, Washington. *U. S. Geol. Surv., Prof. Paper*, 1488 : 1-304.
- Gorshkov, G. S., 1959. Gigantic eruption of the volcano Bezymianny. *Bull. Volcanol.*, 20 : 77 - 109
- Gorshkov, G. S., 1963. Directed volcanic blasts. *Bull. Volcanol.*, 26 : 83 - 88.
- Gorshkov, G. S., y Dubik, Y.M., 1970. Gigantic directed blast at Shiveluch volcano, Kamchatka. *Bull. Volcanol.* 34, p. 261-288
- Hoblitt, R. P., Miller, C. D. y Vallance, J. W. 1981. Origin and stratigraphy of the deposit produced by the May 18 directed blast. In: Lipman, P. W. and Mullineaux, D. R. (Editors): *The 1980 eruptions of Mt. St. Helens, Washington*. *U. S. Geol. Surv., Prof Paper* 1250 : 401- 420.
- Hóskuldsson, A., y Robin, C., 1993. Late Pleistocene to Holocene eruptive activity of Pico de Orizaba, Eastern Mexico. *Bull. Volcanol.* V.55, p. 571-587
- Hsü, K. J., 1975. Catastrophic debris streams (Sturzstroms) generated by rockfalls. *Geol. Soc. Am. Bull.* 86 : 129 - 140
- Komorowski, J.C. Navarro, C. Cortés, A., Siebe, C., y Rodríguez, S., 1993. Recurrent collapse of Volcán de Colima (Mexico) since 10, 000 y. B.P.: Implications for eruptive processes, magma output, edifice stability, and volcanic risks. Abstract Volume. IAVCEI-General Assembly, Canberra, Australia, p. 60.
- Luhr, J. F. y Carmichael, I. S. E., 1982. The Colima Volcanic Complex, Mexico: III. Ash- and scoria-fall deposits from the upper slopes of Volcán Colima. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80 : 262 - 275.

Luhr, J. F. y Prestegard, K. L., 1988 Caldera formation at Volcán Colima, México by a large Holocene volcanic debris avalanche. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 35 : 335 - 348.

Robin, C y Boudal, C., 1984 Une éruption remarquable par son volume: l' événement de type Saint-Helens du Popocatepetl (Mexique). *C.R. Acad. Sc. Paris, t. 299, Série II, No. 13, p 881-886.*

Robin, C. y Boudal, C., 1987, A gigantic Bezymianny-type event at the begining of modern Popocatepetl *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 31 : 115 - 130.

Robin, C., Mossand, P., Camus, G., Cantagrel, J. M., Gourgaud, A. y Vincent, P. M., 1987 Eruptive history of the Colima volcanic complex (Mexico) *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 31 : 99 - 113.

Sheridan, M. F., Siebe, C., Kahle, A. B. y Abrams, M. J., 1990. Remotely sensed data for volcanoes of the Trans Mexican Volcanic Belt. In : *The Tectonics, Geophysics, and Volcanism of Mexico : A Symposium.* University of New Orleans and Tulane University, New Orleans, April 12 - 14, 1990.

Siebe, C. y Sheridan, M. F., 1990 Reconstrucción de las diferentes fases evolutivas de crecimiento y subsecuente colapso gravitacional de los domos riolíticos localizados en la cuenca de Serdán - Oriental, Estados de Puebla y Veracruz. (Abstract) 2a Reunión Nacional "Volcán de Colima" Univ. de Colima, Colima.

Siebe, C., Komorowski, J. C. y Sheridan, M. F. 1992. Morphology and emplacement of an unusual debris avalanche deposit at Jocotitlan Volcano, Central Mexico. *Bull. Volcanol.* 54, p. 573-589.

Siebe, C., Abrams, M. J., y Sheridan, M. F., 1992. Growth and sequential gravitational collapse of major monogenetic rhyolite domes in the basin of Serdán-Oriental, east - central Mexico. *EOS, Trans. Amer. Geophys. Union*, V. 73, No 27, p. 636, San Francisco, California.

Siebe, C., Abrams, M. J., y Sheridan, M. F., 1993 Two different types of debris avalanche deposits at Las Derrumbadas rhyolite domes, east-central Mexico. *Abstract Volume IAVCEI-General Assembly, Canberra, Australia*, p. 100.

Siebe, C., Delgado, H., y Abrams, M. J., 1993. Recurrent cone collapse of Volcán Popocatepetl, Central Mexico: Implications for risk evaluation. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, V. 74, No. 43, p. 640. San Francisco.

Siebe, C., Macías, J.L., Abrams, M. J., Rodríguez, S., Castro, R., y Delgado, H., 1995 (en prensa). Quaternary explosive volcanism and pyroclastic deposits in East-Central Mexico Implications for future hazards Fieldtrip Guide, Annual Meeting, Geological Society of America, New Orleans.

Siebert, L., 1984. Large volcanic debris avalanches: Characteristics of source areas, deposits and associated eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 22 : 163 - 197.

Siebert, L., Glicken, H. X. y Kienle, J. 1989. Debris avalanches and lateral blasts at Mount St. Augustine volcano, Alaska. *National Geographic Res.* 5 - 2: 232 - 249.

Siebert, L., Glicken, H. X. y Ui, T., 1987. Volcanic hazards from Bezymianny - and Bandai - type eruptions. *Bull. Volcanol.* 49 : 435 - 459.

Stoopes, G., 1991. Giant debris avalanches from the Colima Volcanic complex, Mexico Arizona State University, Tempe, Arizona, Unpublished Master's Thesis

- Stoopes, G. y Sheridan, M.F., 1990. Hazards related to giant volcanic debris avalanches from Volcán de Colima and Nevado de Colima, Mexico (Abstr). 2a Reunión Nacional "Volcán de Colima", Univ. de Colima, Colima pp. 15 - 16
- Ui, T., 1983. Volcanic dry avalanche deposits. Identification and comparison with non-volcanic debris stream deposits J. Volcanol Geotherm. Res 18: 135 - 150.
- Ui, T., 1985. Debris avalanche deposits associated with volcanic activity. Proceedings, IVth International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo, Japan. pp. 405 - 410.
- Ui, T., Yamamoto, H. y Suzuki-Kamata, K., 1986. Characterization of debris avalanche deposits in Japan. J. Volcanol. Geotherm Res. 29 : 231 - 243
- Voight, B., Janda, R. J., Glicken, H.X y Douglass, P.M , 1983. Nature and mechanics of the Mount St Helens rockslide-avalanche of 18 May 1980. Geotechnique 33 : 243 - 273.
- Waitt, R. B. Jr., 1981. Devastating pyroclastic density flow and attendant air fall of May 18- Stratigraphy and sedimentology of deposits In Lipman, P. W. and Mullineaux, D R., (Editors): The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington. U. S. Geol. Surv , Prof. Paper 1250 : 439 - 460.