

# CAPITULO V

## ASPECTOS GEOLOGICOS



*DERRUMBES GIGANTES, DEPOSITOS DE AVALANCHA  
DE ESCOMBROS Y EDAD DEL ACTUAL CONO DEL  
VOLCAN POPOCATEPETL*

*MONITOREO DE LOS GLACIARES DEL POPOCATEPETL*

# DERRUMBES GIGANTES, DEPOSITOS DE AVALANCHA DE ESCOMBROS Y EDAD DEL ACTUAL CONO DEL VOLCAN POPOCATEPETL

Ć. Siebe<sup>1</sup>, M. Abrams<sup>2</sup> y J. L. Macías<sup>1</sup>

## RESUMEN

Al menos cuatro derrumbes pre-históricos de dimensiones gigantes en los flancos del complejo volcánico Iztaccíhuatl-Popocatepetl produjeron extensos depósitos de avalanchas de escombros. Estos depósitos se caracterizan por formar una típica topografía de montículos. El depósito más pequeño aparentemente se originó en la parte sur del Iztaccíhuatl y cubre un área de aproximadamente 50 km<sup>2</sup> hacia el sureste. Los tres depósitos más grandes se traslapan formando un extenso abanico que cubre un área de 600 km<sup>2</sup> al sur del actual Popocatepetl. Se estima que el depósito más grande viajó a más de 70 km de distancia horizontal del volcán y tiene un volumen mínimo de 9 km<sup>3</sup>, lo cual lo coloca entre los más grandes del mundo. El más joven de los depósitos tiene una edad radiométrica de aproximadamente 23,000 años. Esta edad equivale a la edad del actual cono del Popocatepetl. La presencia y características de depósitos piroclásticos de flujo y caída que sobreyacen directamente a este depósito indican que este derrumbe gigante estuvo asociado a una erupción de gran magnitud que cambió por completo el escenario de la región en un radio de más de 50 km. La gran altura del actual cono del Popocatepetl es prueba de su madurez. Probablemente ya alcanzó en términos geológicos la etapa de culminación de su existencia. Debido a la función de sostén que ejerce el Iztaccíhuatl sobre el flanco norte, el próximo derrumbe gigante probablemente ocurrirá nuevamente hacia el Sur en el futuro geológico del volcán. Por esta razón es necesario monitorear geodésicamente los flancos del volcán y en especial el flanco sur para poder detectar cualquier deformación del terreno que pudiese indicar un posible derrumbe en el futuro.

## 1. INTRODUCCION

El majestuoso Volcán Popocatepetl coronado por nieve y glaciares supuestamente perpetuos sin lugar a duda ha inspirado sentimientos de respeto, y admiración entre la mayoría de las personas que lo han visitado. Su gran masa y altura contribuyen a darle un aura de eternidad. Sin embargo los volcanes no son eternos y tampoco crecen indefinidamente hasta alcanzar el cielo. La anterior afirmación sin duda parece ser trivial. No lo debería ser para quienes viven en los alrededores de un volcán.

En términos generales se puede decir que son las erupciones pequeñas en las que se producen flujos de lava y cenizas de caída que se acumulan alrededor del cráter las que contribuyen al paulatino crecimiento del edificio volcánico. Contrastan con las pequeñas erupciones, las erupciones paroxísmicas en las cuales se libera una gran energía durante un lapso de tiempo muy corto. En este tipo de erupciones el edificio volcánico sufre cambios dramáticos en su fisonomía y queda frecuentemente reducido en tamaño dejando un gran cráter en su lugar.

---

<sup>1</sup> Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, C. P. 04510, México, D.F.

<sup>2</sup> Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology 4800 Oak Grove Drive, Pasadena, CA 91109 U.S.A.

Ocurren varios tipos de erupciones paroxísmicas. Las del tipo llamado Bezymianny o Santa Elena figuran entre las más destructivas (Glicken, 1986; Siebert, 1984). Se caracterizan por culminar en un gigantesco derrumbe del edificio volcánico y el emplazamiento de una avalancha de escombros que viaja a grandes velocidades destruyendo todo cuanto encuentra a su paso. Como resultado, el edificio volcánico ya solo es una ruina de lo que era antes y un nuevo ciclo de paulatino crecimiento puede volver a iniciarse. Este círculo de lento crecimiento y rápida destrucción puede repetirse en varias ocasiones hasta que el sistema magmático se agota. El volcán se extingue finalmente y sus vestigios son removidos por el intemperismo y la erosión.

En el presente artículo se pretende presentar, con un lenguaje sencillo y sin demasiados tecnicismos, las evidencias geológicas recolectadas en los alrededores del Volcán Popocatepetl durante los últimos años que sirven como base para aseverar que el Popocatepetl, al igual que todos los demás volcanes sobre la Tierra, tiene un ciclo de vida que comprende varias etapas de construcción y destrucción.

## 2. ANTECEDENTES: LA ERUPCION DEL SANTA ELENA EN 1980

El derrumbe parcial de edificios volcánicos es hoy un concepto de general aceptación en la Volcanología (Ui, 1983; Ui, 1985; Ui et al., 1986; Siebert, 1984, Siebert et al., 1987; Francis and Wells, 1988). Sin embargo éste no era el caso antes del 18 de mayo de 1980, fecha en que se produjo una tremenda erupción acompañada por el colapso de una gran parte del cono del monte Santa Elena, volcán localizado en el noroeste de los Estados Unidos (Glicken, 1986; en prensa Voight et al., 1983). A partir de esta fecha se comenzó a entender la naturaleza y complejidad de este fenómeno con mayor exactitud. La erupción fue precedida meses antes por cuantiosos temblores locales y el resurgimiento de fumarolas y pequeñas emisiones de cenizas en la región de la cima del volcán. Esta actividad atrajo la atención de las autoridades y el Servicio Geológico instaló una red de monitoreo geofísico alrededor del volcán, lo cual permitió, entre otras cosas, observar lentas modificaciones de la topografía del mismo. La parte superior del volcán sufría un paulatino inflamamiento por la inyección del nuevo material magmático al interior del edificio. Esta fue la causa más importante que llevó a la desestabilización de las laderas del volcán.

A las 8:32 AM se desprendió en pocos instantes gran parte del flanco norte del volcán causando una avalancha de escombros que viajó a velocidades mayores a los 80 km/hora, destruyendo todo cuanto encontraba por su camino. La avalancha llegó a una distancia máxima de 23 km de su lugar de origen con un tiempo de emplazamiento de pocos minutos. Así se produjo un depósito que hoy cubre un área de 60 km<sup>2</sup> y tiene un volumen de 2.5 km<sup>3</sup>. Pero eso no fue todo. Pocos instantes después del inicio del desprendimiento masivo del flanco norte se suscitó una inmensa explosión. Esta explosión fue de una magnitud tal que estuvo fuera de toda comprensión por quienes la presenciaron. Se produjo una onda de presión seguida por el emplazamiento turbulento de una nube diluida que consistió en una mezcla de vapor, ceniza y bloques que viajó a velocidades supersónicas. La ola expansiva de la explosión eventualmente rebasó a la avalancha devastando completamente un área de 550 km<sup>2</sup> (Waitt, 1981). Después de disiparse la nube de cenizas que envolvió al volcán durante y después de la erupción cataclísmica del 18 de mayo de 1980 se pudieron reconocer drásticos cambios en su morfología. El que antes había sido un elegante cono con un casco de nieve y hielos perpetuos, ahora tenía un cráter enorme abierto hacia el norte en forma de herradura. En su base, en la misma dirección se encontraba un depósito constituido por una caótica mezcla de grandes bloques, cenizas, hielo y arcillas, producto de la avalancha de escombros. Una de las principales características que distingue al depósito es, aparte de su gran extensión, su topografía que consta de innumerables montículos y lomas, resultado de la heterogeneidad física y química de los fragmentos que forman el depósito. Arriba de éste se encuentra el depósito de la explosión (llamado "blast" en inglés), el cual es de poco espesor y muy susceptible a la erosión (Hoblitt et al., 1981). A pesar de ser tan efímero y tener tan insignificante apariencia estuvo relacionado con la etapa más mortífera del fenómeno. Además del depósito de avalancha y el "blast" se generó una columna de material que fue arrojado verticalmente del cráter. Esta columna de material y gases incandescentes al colapsarse produjo flujos piroclásticos que movidos por la gravedad descendieron en forma vertiginosa por las laderas del edificio volcánico. Estos flujos de material fragmentado e incandescente usaron los valles y barrancas

del volcán como un canal y devastaron la vegetación que encontraron en su camino. Una vez que la etapa paroxísmica del evento había concluido se generaron lahares (flujos de agua, grava y cenizas volcánicas con propiedades similares al concreto mojado) como consecuencia de la cantidad de agua proveniente del deshielo y las lluvias que se mezcló con el material volcánico que ocupaba los valles y el sistema natural de drenaje. Estos lahares fluyeron por los cauces de los ríos, desbordándolos y arrastrando árboles, edificios, puentes, etc. Este fenómeno alcanzó lugares localizados a más de 60 km del volcán. A partir de la erupción cataclísmica se formó un domo de lava en el interior del gran cráter en forma de herradura. Este domo ha crecido a lo largo de los años lentamente y se prevé que algún día en muchas décadas futuras haya rellenado la oquedad del gran cráter hasta finalmente haber saneado la cicatriz dejada por la erupción cataclísmica. De esta forma después de muchas pequeñas erupciones más el Santa Elena habrá recobrado su altura original y estará listo para la siguiente erupción cataclísmica. En síntesis, los fenómenos asociados a la erupción fueron muy variados y algunos ocurrieron simultáneamente. En su conjunto cambiaron completamente el entorno al volcán en un lapso de tiempo de unas pocas horas. Fueron dos los factores que, dada la magnitud del evento, contribuyeron sustancialmente a reducir el número de víctimas. Por un lado el volcán se encuentra en una región relativamente remota y deshabitada, y por el otro el intensivo monitoreo y los cuantiosos estudios realizados por personal del Servicio Geológico permitieron predecir con gran exactitud la posible erupción del volcán. Se cerraron con anticipación las rutas de acceso al volcán y se evacuó a los habitantes de las zonas aledañas. Lo que no se pudo predecir fue el grado de violencia de la erupción, que prácticamente no tuvo antecedentes en la historia de la vulcanología. Pocas veces se había observado de cerca una erupción tan catastrófica con tanto personal científico equipado con instrumentos modernos y sofisticados.

Inicialmente se pensó que la erupción del Santa Elena había sido un evento fuera de serie y sui generis. Sin embargo en los años que han transcurrido desde aquel acontecimiento, vulcanólogos en todo el mundo comenzaron a descubrir rastros de este tipo de erupción en muchos volcanes en casi todos los continentes (véase también Ui, 1983; Ui et al., 1986; Siebert, 1984; Siebert et al., 1987; 1989; Francis and Wells, 1988). De hecho, en la remota e inhóspita península de Kamchatka ocurrieron en 1956 y 1964 dos erupciones paroxísmicas acompañadas por avalanchas de escombros en los volcanes Bezymianny y Shiveluch (Gorshkov, 1959; 1963; Gorshkov y Dubik, 1970). En ambos casos hubo pocos testigos oculares de las erupciones y debido a las restricciones impuestas durante la Guerra Fría no existió la posibilidad de estudiar el fenómeno a fondo por vulcanólogos extranjeros. Por esta razón estas erupciones pasaron ampliamente desapercibidas para la mayoría de los científicos.

Con el tiempo se ha venido formando la opinión de que lo ocurrido en el Santa Elena no fue un caso tan aislado y excepcional como se había pensado inicialmente, sino un episodio común en el ciclo de vida de un volcán.

### 3. DEPOSITOS DE AVALANCHA DE ESCOMBROS EN LOS VOLCANES DE MEXICO

No sólo en otras regiones del mundo se han descubierto depósitos de avalancha de escombros. También en México, en los grandes volcanes que se encuentran alineados a lo largo del Cinturón Volcánico Transmexicano. Estudios recientes han revelado la existencia de estos depósitos en varias localidades (Fig 1). Los depósitos de avalancha más impresionantes por sus dimensiones son los que se encuentran al sur del Volcán de Colima (Luhr y Carmichael, 1982; Luhr y Presteggaard, 1988; Robin et al., 1987, Stoopes 1991; Stoopes y Sheridan, 1990; Siebe et al., 1992, Komorowski et al., 1994) Stoopes y Sheridan (1990) demostraron que una de estas avalanchas viajó mas de 100 km desde su lugar de origen para finalmente precipitarse al Océano Pacífico. Adicionalmente se han encontrado este tipo de depósitos al norte del Volcán Jocotitlán cerca de Atlacomulco en el Estado de México (Siebe et al., 1992). Este depósito es particularmente interesante por la pronunciada topografía de montículos de su superficie así como su gran espesor. Además aún es posible reconocer el antiguo cráter en forma de herradura dejado por el desprendimiento de uno de sus flancos. Otros depósitos sumamente grandes se encuentran en la vertiente oriental del Pico de Orizaba (Sheridan et al. 1990, Håskuldsson y Robin, 1993; Carrasco et al., 1993), en la ladera sur del Nevado de Toluca y la vertiente oriental del Cofre de Perote. Finalmente merecen mención los domos Las Derrumbadas en el Estado de Puebla que como su nombre sugiere están rodeados de dichos depósitos (Siebe y Sheridan, 1990; Siebe et al., 1992; 1993, 1995 (en prensa) La cantidad de depósitos de avalancha encontrados hasta el momento en el país indica que es muy probable que se descubran aún más en el futuro cercano sobre territorio mexicano. Esto comprobará, una vez más, que las erupciones del tipo Santa Elena acompañadas de derrumbes gigantes no pertenecen a una categoría aislada sino que forman una etapa normal del ciclo de vida de un volcán.

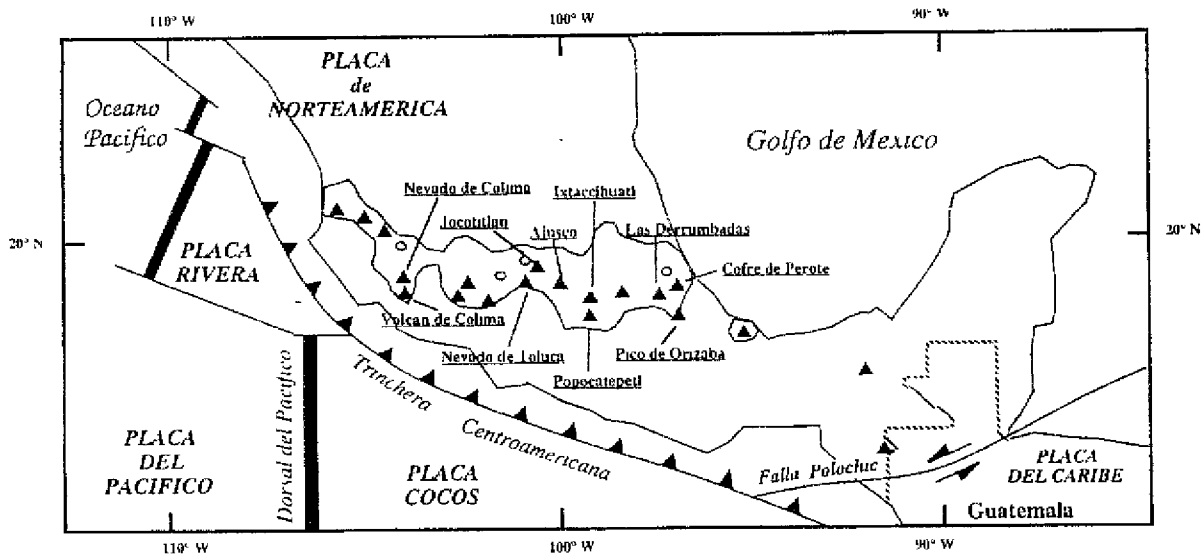


Fig 1. Mapa esquemático que muestra el Cinturón Volcánico Transmexicano y los volcanes en los que se han detectado depósitos de avalancha de escombros.

#### 4. LOS DEPOSITOS DE AVALANCHA DE ESCOMBROS EN EL POPOCATEPETL

Los primeros estudiosos que reportan este tipo de depósito en el Popocatepetl son Robin y Boudal (1984, 1987). En dos artículos que se refieren casi exclusivamente a la última erupción del tipo Santa Elena en el Popocatepetl mencionan que existe un depósito que cubre amplias partes de la ladera sur del volcán. Este depósito presenta la característica superficie conformada por montículos y tiene todos los demás atributos de este tipo de depósitos como lo son la estructura de tipo rompecabezas de los bloques que lo conforman, amplias zonas alteradas hidrotermalmente, etc. Estos autores jamás lograron obtener material orgánico que permitiese fechar el depósito, sin embargo estiman su edad entre 30 000 y 50 000 años antes de hoy. Estos autores calcularon una superficie para este depósito de 300 km<sup>2</sup> y un volumen de 27.7 km<sup>3</sup>. El alcance máximo horizontal del depósito es de  $L = 30$  km. Estiman una altura del volcán sobre la base del terreno de  $H = 3,500$  m en el momento previo al derrumbe lo que les da un coeficiente de fricción (Hsü, 1975) de  $H/L = 0.116$ . Este valor es compatible con valores reportados para depósitos de avalancha en otros volcanes del mundo (Siebert, 1984). Llegan a la conclusión que por su gran extensión este depósito en el Popocatepetl debería de ser catalogado como "gigante"

A partir de 1993 iniciamos estudios en el Popocatepetl con el fin de reconstruir su historia eruptiva. Al igual que a Robin y Boudal (1987) nos llamó la atención la gran dimensión del depósito de avalancha. Sin embargo nuestras investigaciones han revelado muchos nuevos datos que nos obligan a reevaluar los resultados obtenidos por Robin y Boudal (1987). En síntesis podemos adelantar que el depósito no alcanzó una distancia máxima horizontal de 30 km, sino de al menos 75 km hacia el sur (Figs. 2 y 3). Además no se trata de un depósito, sino de al menos cuatro, por lo que se puede hablar de un abanico gigante de depósitos de avalancha (Siebe et al., 1993). Esto significa concretamente que el actual cono del Popocatepetl no es el primer cono que existe en ese lugar, sino que han existido varios conos previamente.

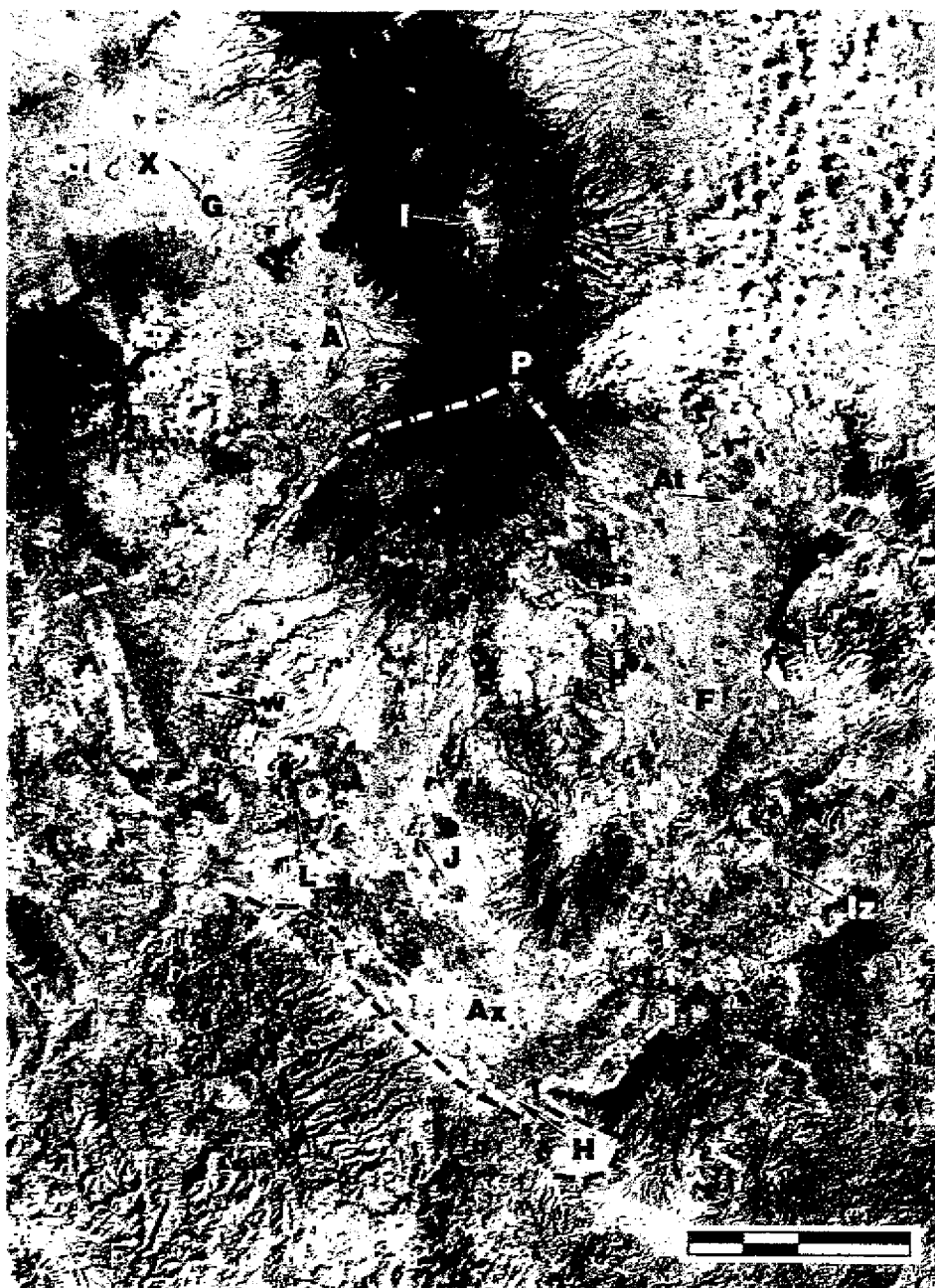


Fig. 2. Imagen Landsat "Thematic Mapper" que muestra la Sierra Nevada con los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl alineados de Norte a Sur y el área aproximada de distribución de los depósitos de avalancha de escombros relacionados a este complejo volcánico. El depósito de avalancha de escombros localizado en el flanco Este no aparece ya que el área muestra cobertura de nubes. Estructuras geológicas: Iztaccíhuatl I, Cono del Popocatepetl P, Cráter de Xico X, Granodiorita Jantetelco J, Calizas del Cretácico L, fallas tectónicas F. Poblaciones: Chalco G, Amecameca A, Cautla W, Izúcar de Matamoros Iz, Atlixco At, Axochiapan Ax, Huehuetlan El Chico H. Escala: la barra equivale a 20 km. Vea el mapa de la Fig. 2 para mayores detalles.



Fig. 3. Imagen de perspectiva desde el Sur obtenida de la combinación de datos Landsat "Thematic Mapper" y datos topográficos digitalizados. La imagen muestra el abanico de depósitos de avalancha de escombros con el Popocatepetl en el fondo.







Fig. 5. Cráter en forma de herradura abierto hacia el Sureste localizado en la parte sur del Volcán Iztaccíhuatl. Probablemente es aquí donde se originó el depósito de avalancha que se encuentra al pie del Popocatepetl en el Valle de Puebla.

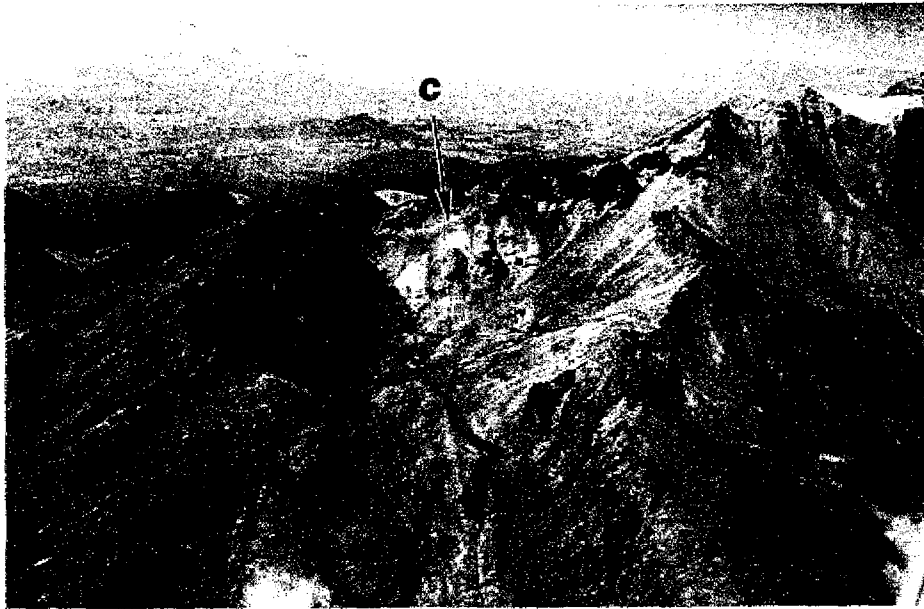


Fig. 6. Fotografía con teleobjetivo del cráter en forma de herradura abierta hacia el Sureste localizado en la parte Sur del Volcán Iztaccíhuatl. La fotografía fue tomada por Claus Siebe el día 16 de Enero de 1995.



Fig. 7. Afloramiento del depósito de avalancha proveniente probablemente del Iztaccíhuatl en un corte de la carretera que comunica los poblados de Atlixco y Tianguismanalco en el Estado de Puebla. La persona se encuentra observando un gran bloque con estructura de "rompecabezas". Nótese el espesor de varios metros del depósito.

Los otros tres depósitos de avalancha relacionados al complejo volcánico Iztaccíhuatl-Popocatepetl se encuentran en la vertiente sur del Popocatepetl. Se trata de tres depósitos que se traslapan y cubren una superficie mínima de 600 km<sup>2</sup> (Figs 2, 3 y 4). Hay muchos afloramientos en las barrancas que drenan el flanco sur del volcán que muestran claramente dos y en ocasiones hasta tres diferentes depósitos superpuestos (Figs. 8 y 9). Los tres depósitos son muy similares en su litología y estructura interna y por lo consiguiente difíciles de distinguir. Los depósitos alcanzaron una distancia de desplazamiento horizontal de más de  $L = 70$  km hacia el Sur del volcán donde afloran cerca de Huehuetlán El Chico. Si asumimos una altura del antiguo cono sobre el terreno circundante similar a la actual de  $H = 4\ 500$  m, obtenemos un coeficiente de fricción de  $H/L = 0.0643$ . Este valor es mucho menor que el valor promedio para este tipo de depósitos (Siebert, 1984) e implica una gran movilidad del material durante el transporte.



Fig. 8. Afloramiento en la localidad 2-6 (ver Fig. 15) que muestra dos depósitos diferentes de avalancha de escombros. Los depósitos de avalancha se encuentran separados por material retrabajado.



Fig. 9. Afloramiento en la localidad 2-8 (ver Fig. 15) que muestra dos depósitos diferentes de avalancha de escombros. Los depósitos de avalancha se encuentran separados por material retrabajado.