

Universidad Nacional Autónoma de México

Monografías del Instituto de Geofísica

**LOS
GLACIARES
DE MEXICO**
SEGUNDA EDICION

por José L. Lorenzo

1

PROLOGO A LA SEGUNDA EDICION

APARECIDA A MEDIADOS de 1959, la primera edición de esta obra cumplía un propósito: presentar, por primera vez, el catálogo de los glaciares existentes en el territorio de la República Mexicana. Esta había sido la misión encargada al autor por el Comité Nacional de México para el Año Geofísico Internacional.

En esta edición se han hecho algunas correcciones menores que no alteran la anterior en lo medular, salvo en la parte correspondiente a los glaciares del Iztaccihuatl, completamente nueva. Durante el transcurso del A.G.I. fue imposible trabajar en este volcán por las condiciones meteorológicas anormales que prevalecieron. El estudio de sus glaciares se había dejado para el final de la temporada por ser los que presentan mayores dificultades de técnica alpina pensando que, para entonces, nuestro pequeño grupo estaría ya perfectamente acoplado.

La temporada de lluvias se adelantó y en las fechas previstas, la cubierta de nieve producida por las precipitaciones en las cotas altas impidió delimitar las masas de hielo. Se pospuso la fecha para los últimos meses del año pero la gran cantidad de nieve que había caído nos dejó imposibilitados de cumplir nuestra tarea por la misma razón: los datos buscados estaban cubiertos.

Con posterioridad, en 1959 y 1960, se hicieron las observaciones requeridas que corrigen las que se infirieron en 1958 del simple estudio de las aerofotografías de 1945.

Los nuevos trabajos se llevaron a efecto con el personal siguiente: Raúl Ocampo, Rafael Márquez, Leoncio Hernández y Gonzalo Hernández, junto con Agustín Guerrero, Alfonso Muñoz y el que escribe, los tres últimos participantes de la temporada oficial del AGI. En esta edición, como en la anterior, las fotografías que acompañan al texto aparecen sin autor, salvo las de origen comercial. El único autor reconocido es la Sección de Glaciología del Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, en cuyos trabajos toman parte todos los nombrados.

***Informe que rinde la Sección de
Glaciología del Comité Nacional
de México para el Año Geofísico
Internacional.***

I

EL COMITE NACIONAL de México para el Año Geofísico Internacional hizo suyas las resoluciones sobre Glaciología que adoptó la Conferencia de Bruselas del Comité Especial para el año Geofísico Internacional, del 8 al 14 de septiembre de 1955. Estas se enunciaron como sigue:

- IX. 1 EL CSAGI recomienda que a todos los Comités del AGI que tengan glaciares dentro de su extensión nacional se les pida que den listas completas de estos glaciares al final del AGI.
- IX. 2 EL CSAGI resuelve que cuando se concluya el AGI sea publicada una lista de todos los glaciares conocidos, lo más completa posible, registrando cuando menos:
 - (i) lugar y elevación,
 - (ii) nombre,
 - (iii) área (aproximada),
 - (iv) volumen (estimado),
y si es posible:
 - (v) una fotografía,
 - (vi) medidas de actividad,
 - (vii) otras observaciones de valor glaciológico y meteorológico.

De acuerdo con ello y tomando en cuenta la falta de práctica existente en nuestro medio para la realización de semejantes estudios, la carencia de equipo de maniobra y observación y la escasez de medios económicos con que subsanar las deficiencias mencionadas, se convino en restringir las actividades del grupo de glaciología a un mínimo que cuando menos fuera satisfactorio de los cinco primeros puntos de los recomendados en Bruselas.

Se encargó de los trabajos de campo al autor quien formó el grupo con los Sres. Oscar González Rul, Agustín Guerrero y Ricardo Ferré. Con este último cayese enfermo durante el desarrollo de las observaciones primeras, su puesto fue ocupado por el Sr. Alfonso Muñoz.

El personal participante fue provisto del equipo necesario para poder realizar sus actividades en alta montaña con plena seguridad. Se obtuvo material de alpinismo y de campamento para grandes alturas que funcionó a satisfacción, permitiendo estancias prolongadas en lugares por encima de los 5,000 metros.

El trabajo de campo por el cual se obtuvieron los datos que se exponen se llevó a cabo durante marzo y abril de 1958, con motivo del Año Geofísico Internacional; en abril, mayo y junio de 1959 mediante una serie de salidas de corta duración y en mayo y junio de 1960.

Para el desarrollo se contó con los siguientes materiales: Cartografía: para Popocatepetl e Iztaccihuatl se consiguió una copia del levantamiento de la Empresa Hidroeléctrica de los Volcanes, S. A. a escala 1:20,000, generosamente cedida por el Ing. Pablo Bistraín. Del área del Citlaltepétl se contó con un mapa provisional, escala 1:50,000, establecido por Estudios y Proyectos, A. C., gracias al Ing. Felipe G. Mauriño (q.e.p.d.). Este levantamiento fue realizado sobre aerofotos.

Aerofotografías: las del Popocatepetl y el Iztaccihuatl se obtuvieron de la Cía. Mexicana de Aerofoto, S. A. siendo copias de las obtenidas por ellos en 1945. Para el Citlaltepétl pudimos conseguir las tomadas por la Comisión del Papaloapan en 1955, copias de las cuales se encuentran en el Instituto de Geografía de la Universidad de México, dirigido por la Srita. Rita López Llergo. En ambos casos las fotografías no eran de valor primordial por las fechas de las tomas, empleándolas más como guía que como evidencia directa.

Altimetría: empleamos altímetros Thommen de bolsillo graduados hasta los 6,000 m. de altura, con divisiones cada 10 m. Dispusimos de cuatro, todos ellos con sus tablas de correcciones, establecidas por los laboratorios del Servicio Meteorológico Mexicano. Tuvimos también un termómetro con graduaciones cada grado centígrado con el que se hicieron las correcciones por temperatura del caso. En el Popocatepetl pudimos emplear bancos de nivel cercanos en los que comparar con frecuencia el funcionamiento de los altímetros. Todas las lecturas altimétricas fueron hechas durante varios días y en los mismos puntos, en forma de asegurar lo correcto de la medida hasta donde nuestros instrumentos lo permitían.

En el trabajo de campo se usó el siguiente método: identificación de puntos sobre las aerofotos, altimetría de los mismos y lectura de rumbos de brújula (Brunton) que los relacionaba entre sí. En algunos casos estos puntos eran identificables en los mapas en nuestro poder pudiéndose establecer bases someras. De acuerdo con los datos anteriores y en combinación con ellos, se situaron los límites que presentaba el hielo durante las observaciones. De esta forma, que admitimos es bastante rudimentaria, se dibujaron las posiciones de las áreas glaciadas y su extensión.

De la combinación de la cartografía, aerofotos y lecturas de brújula y altímetro, salió el material que exponemos. Nos parece que dentro de la parquedad de los elementos técnicos a nuestra disposición, los errores no serán muy grandes.

II

LOS GRANDES volcanes activos y subrecientes de México quedan distribuidos a lo largo de dos fracturas primordiales que cortan la corteza terrestre, siendo éstas la fractura Clarión y la fractura Chapala-Acambay, ramal de la San Andrés (CROQUIS 1).

La fractura Clarión se extiende desde el oeste de las islas Revillagigedo, en el Océano Pacífico, hasta el Pico de Orizaba cercano al Golfo de México en el este. Sigue así casi exactamente el paralelo 19° de latitud N. y en su trazo se erigen entre otros los volcanes de Colima, Tancítaro y Popocatepetl.

La fractura de San Andrés viene de California, se prolonga rumbo al sur por el Golfo del mismo nombre y alcanza las islas Mariás; en este punto parece ramificarse, dividiéndose en varias fracturas distintas. Entre ellas, la fractura más septentrional se dirige al sureste desde las Islas Mariás y penetra al continente en la región de Tepic; de aquí se prolonga al lago de Chapala, continúa por Acambay, pasa al norte de la Cuenca de México y por Tlaxcala para unirse, finalmente, con la fractura Clarión en los alrededores del Citlaltepétl o Pico de Orizaba, llamándose a este ramal Chapala-Acambay (Mooser, 1956). En este trazo se levantan varios grandes volcanes, entre ellos el Ceboruco, la Malinche de Tlaxcala y, probablemente, el Cofre de Perote.

Las demás fracturas que parten de las Islas Mariás se prolongan al sur y describen extensos arcos en su trayectoria hacia el sureste. Una penetra en el continente por la costa de Michoacán y se prolonga a Guerrero y Oaxaca. Otra marca en su recorrido el límite entre el continente y la zona profunda del Pacífico, siguiéndose así, probablemente, hasta la América Central. Parece que el vulcanismo no tuvo manifestaciones de gran importancia en las dos últimas ramas de la fractura de San Andrés.

Además de las fracturas primordiales mencionadas y a causa de su existencia, se crearon fracturas menores, de carácter tensional, que coadyuvaron en la formación del llamado Eje Volcánico o Neovolcánico de México. Este forma una banda de cerca de 900 kilómetros de largo por una anchura que oscila entre los 70 y los 100 kilómetros, extendiéndose desde Colima y Tepic en el oeste hasta San Martín Tuxtla en el este. Queda entre los paralelos 18° y 19° de latitud N., salvo en el extremo oeste, donde parece ensancharse hasta alcanzar el 22° de latitud N.

Esta zona volcánica ocupa una posición crítica en la estructura epeirogénica de Norteamérica, ya que separa la Meseta Central de México del terreno de la América Media, escarpado y profundamente labrado, encontrándose bajo su cubierta de productos volcánicos tardíos la transición entre dos provincias geológicas distintas.

Para algunos, el Eje Volcánico marca el límite sur de Norteamérica y la parte que queda al sur de él, en el territorio mexicano, tiene las características de Centroamérica.

Al norte del Eje Volcánico está la Mesa Central, consistente en una meseta alta, de alturas generales que varían de los 2,000 a los 2,500 metros sobre el nivel del mar. Sus rocas consisten principalmente en calizas de edad Mesozoica, cubiertas en muchos lugares por mantos volcánicos y depósitos del Terciario medio y superior. Las líneas estructurales más importantes de esta provincia son de rumbo noroeste. El área que queda al sur del Eje Volcánico, la Sierra Madre del Sur, en comparación, resulta ser muy accidentada, de estructura geológica compleja y sumamente erosionada. Se caracteriza por rocas cristalinas y múltiples intrusiones, quedando las calizas de edad Mesozoica y las rocas volcánicas restringidas sobre todo a remanentes en las porciones más altas.

Considerándolo de este a oeste, en el Eje Volcánico se encuentran algunos volcanes activos, el de San Martín Tuxtla, Citlaltepétl o Pico de Orizaba, Popocatepétl, Parícutín, Jorullo, Colima, Ceboenco y San Juan, así como otros grandes edificios volcánicos extinguidos, Cofre de Perote, Sierra Negra, Malinche de Tlaxcala, Iztaccihuatl, Tlaloc, Ajusco, Nevado de Toluca, Tancitaro y Nevado de Colima¹.

De ellos, Citlaltepétl, Popocatepétl e Iztaccihuatl, siguen teniendo áreas cubiertas por la congesta² y el hielo, y Cofre de Perote, Malinche de Tlaxcala, Sierra Negra, Tlaloc, Ajusco Nevado de Toluca y Nevado de Colima muestran huellas claras de haber estado sometidos a fenómenos glaciales en épocas recientes (ver CROQUIS 1).

Tanto unos como otros quedan dentro de la zona tropical, al sur del Trópico de Cáncer. La razón por la cual todavía existen glaciares en territorio de la República de México se encuentra precisamente en la gran altura de los edificios volcánicos sobre los que se hallan, pasando todos ellos de los 5,000 metros de altura sobre el nivel del mar. También los que alguna vez tuvieron glaciares son montañas de gran tamaño ya que todos los mencionados en último término pasan de los 3,800 metros.

La causa de las glaciaciones en las zonas tropicales, no bien conocida, queda sin embargo aparente al considerar el factor altimétrico como capaz de anular la latitud geográfica. Están por discernirse los verdaderos alcances y las épocas de las glaciaciones de las

¹ Esta parte está basada en Foshag, William F. and Jenaro González R.; "Birth and Development of Parícutin Volcano"; Geological Survey Bulletin, 965-D, Washington, D. C., 1956 y en comunicaciones personales de Federico Mooser.

² Congesta (del lat. congesta f. del pp. de congerere, amontonar) f. Ar. Nieve amontonada en los vetisqueros y de la que se forman las lenguas (glaciáricas en los países donde hay glaciares.) Sin., cinarra. V. chinarra (en Suiza, nevé). Diccionario de Geología y Ciencias Afines, p. 113; Editorial Labor, S. A., 1957.

que sólo nos quedan los restos, pero eso es asunto de la Geología Glacial.

III

EL CITLALTEPETL, de Citlalli, estrella y tepetl, montaña; "Montaña de la Estrella", o Pico de Orizaba, es la cumbre más alta de la República Mexicana con 5,675 m sobre el nivel del mar. Esta altura no está muy bien precisada y hay divergencias entre diversos autores. La que adjudicamos nos parece ser la más correcta, en vista de nuestras propias observaciones.

Geográficamente se encuentra a los 19° 02' de latitud N y a 97° 17' de longitud O. Queda unos 200 kilómetros al E de la Ciudad de México, en el borde de la Meseta Central (CROQUIS I Y II).

A partir de los 4.500 m se levanta sobre un viejo basamento volcánico, de enormes dimensiones, del que su vecino la Sierra Negra (5,000 m.) es el testigo más aparente. Este basamento se debe a las efusiones lávicas del Mioceno y del Plioceno. Sobre este gran pedestal surge un airoso cono, aparentemente del Pleistoceno, formado sobre todo por lavas de andesita de hornblenda y augitas, con o sin hipersteno. La parte superior presenta la abertura del cráter, muy juvenil en su aspecto, de forma ovalada con el eje mayor de unos 500 m de diámetro, orientado en la línea NO-SE y el eje menor de cerca de 400 m en la NE-SO. Conserva todavía algunas solfataras. (FIGS. 1, 2 Y 3.)

Por su alejamiento de la Ciudad de México y sus relativas dificultades de acceso ha sido poco estudiado, aún en su aspecto geológico; Waitz (1910 y 1915) y Mooser (1958) han dado los datos más serios a su respecto, cubriendo la geología y el vulcanismo. Esto no quiere decir que los mencionados sean los únicos trabajos que existen; también Galeotti (1858), Plowes, Rodríguez y Vigil (1877), Angermann (1904), Dannenberg (1907) y Muhlenpfordt (en un trabajo no localizado pero citado por Angermann) se refieren específicamente al pico de Orizaba. Todos los datos que ellos aportaron fueron recogidos y mejorados por los autores citados en preferencia. Respecto a la Glaciología, es poco lo que en ellos puede obtenerse y, recientemente, Blázquez (1957) menciona ciertos condicionamientos periglaciales y glaciofluviales referidos al Citlaltepetl que de ser comprobados aportarían una nueva visión de problema.

Fue Waitz (1910, p. 75) quien proporciona la única mención glaciológica la cual copiamos textualmente:

"Si aún hoy día no hay ventisqueros propiamente dichos, siempre se ve en las grietas que se forman en aquellos lados (NE,

N y NO) la sobreposición de diferentes capas de nieve endurecida y de gran grueso”.

No podemos por menos que disentir de lo asentado por el viejo maestro de la geología mexicana, ya que nuestro trabajo en aquel edificio volcánico puso en evidencia el mayor conjunto de hielo de la República, tan grande y tan extenso que no es posible pensar que se haya formado en los pocos años transcurridos desde su visita a la nuestra sin que semejante condicionamiento local no hubiera trascendido por lo menos a las inmediaciones, no habiendo sido el caso así.

Poco antes de su sentido fallecimiento, tuve la oportunidad de hablar con el Dr. Paul Waitz, en su doble capacidad de geólogo y alpinista. Le presenté el material fotográfico de los glaciares del Pico de Orizaba, más abundante que el que aquí se publica. Su espíritu científico le llevó a admitir sin discusión la existencia de los glaciares ante las pruebas que se mostraron.

La verdadera causa de esta aparente omisión se debe a que Waitz hizo la ascensión por la vieja ruta sur, la que efectivamente cruza por terrenos donde no hay glaciares y, una vez alcanzado el borde del cráter, es éste el sitio menos oportuno para observar la gran masa de hielo que de él arranca por la parte N. Como alpinistas y habiendo practicado la ruta norte, sabíamos de la existencia del glaciar desde hace algún tiempo pero no conocíamos ni su extensión ni sus ramificaciones hasta que con ocasión del AGI nos fue dado el estudiarlo.

La ruta de acceso al volcán es la que damos a continuación. Se sale de México, D. F. por la carretera que lleva a Veracruz pasando por Puebla; tres kilómetros adelante de San Salvador el Seco se toma, a la derecha, la desviación que lleva a Tlachichuca, que es también el camino para San Andrés Chalchicomula (Ciudad Serdán). Una vez llegados a Tlachichuca, se continúa por un mal camino hasta alcanzar el poblado de Villa Hidalgo, a unos 3,400 m de altura sobre el nivel del mar. Hasta aquí se puede hacer el trayecto en vehículo de doble tracción, siendo este tipo de locomoción imprescindible, por lo menos en el trayecto de Tlachichuca a Villa Hidalgo.

Hasta 1962, en este último punto se alquilaban animales de carga y silla y tras una hora u hora y media, dependiendo la diferencia del andar de los animales y de la carga que lleven, se llegaba al refugio de Piedra Grande, a 4,200 m de altura que se encuentra enclavado al pie de la cara norte y al borde la majestuosa barranca de Jamapa. En la actualidad existe un camino para vehículos de doble tracción que saliendo de Villa Hidalgo llega hasta la puerta del refugio de Piedra Grande, en unos 45 minutos. Este refugio, de madera y aluminio y con capacidad para ocho personas, fue el que nos sirvió de campamento base. (FIG. 8). Desde él se tiene acceso

a la extremidad del glaciar que llamamos de Jamapa en una hora de subida bastante fuerte. También empleamos como campamento la Cueva del Muerto, en la ladera sur y a poco más de 4,000 m de altura. Nuestra estancia en este último lugar no fue fructífera ya que la escasez de agua y el mal tiempo nos impidieron realizar las observaciones proyectadas. (CROQUIS II).

Las zonas glaciadas del Citlaltepétl ocupan sobre todo la parte N del cono superior y la porción existente entre éste y el llamado Sarcófago u Hombro Azul (5,080 m), derramándose después en distintas direcciones, posiblemente siguiendo la topografía que dejaron las antiguas efusiones de lava, (CROQUIS III; FIGS. 4, 5, 6 Y 7).

La temporada de trabajo la iniciamos el día 24 de abril, habiendo permanecido en la montaña hasta el 2 de mayo. Aunque ya teníamos el entrenamiento del Popocatepetl, una estancia tan prolongada nos causó bastante fatiga, puede ser que algo hubiera de la llamada deterioración fisiológica, ya que aunque acampamos a los 4,200 m. diariamente subíamos por encima de los 5,000 m. El tiempo fue irregular; mañanas bastante buenas hasta las 11 o 12, en que empezaba la tormenta, habiendo tenido que soportar algunas bastante fuertes, inclusive una nevada que descendió hasta los 3,900 m dejando en los alrededores del refugio de Piedra Grande una capa de 5 cm.

En la época del trabajo no dispusimos de cartografía de apoyo para el Citlaltepétl, teniendo que suplir su ausencia con montajes sobre aerofotografías. Se siguió la rutina que se describe en la primera parte y pronto los datos reunidos nos hicieron pensar que estábamos ante el glaciar mayor de México, como resultó ser.

La realidad es que toda la ladera norte está cubierta por el hielo hasta diversas alturas, siendo la más baja la de las dos lenguas en que se divide el glaciar de Jamapa. Toda la masa de hielo se derrama, como dijimos, en distintas direcciones, abundando más las lenguas en la parte oeste.

Naturalmente, ante tantas lenguas glaciares tuvimos que comenzar a bautizarlas, pues la gente de las cercanías, entre ellas nuestros dos ayudantes, no parecían tener una toponimia muy segura al respecto. Desde luego conocen y nombran todos los accidentes del paisaje, inclusive algunos puntos de las lenguas de hielo pero de la parte propiamente glaciada hubo pocas coincidencias persistentes en la nomenclatura por lo que optamos por dar a la mayoría nombres de acuerdo con su posición respecto a la estrella de los vientos.

Casi exactamente al norte del cráter, está la lengua del Chichimeco bastante ancha y poco desarrollada longitudinalmente, que se desprende del punto conocido como la Media Naranja (punto B en el CROQUIS IV). Por su lado E tiene continuidad desde el borde del cráter, a los 5,650 m. y por el O forma parte de la gran masa que

ocupa toda la ladera N, no independizándose de ella hasta la cota 4,780 (FIGS. 9, 10, 11 y 12). (CROQUIS III Y IV; I.)

Sigue a ésta la que llamamos de Jamapa, quizá la más espectacular de todas. También se diferencia a la altura de la Media Naranja, en su parte media aunque con los recursos a nuestro alcance no pudimos marcar la separación de la del Chichimeco en esta zona. Por el lado O, comienza en realidad a partir de la cota 5,000 en el collado que se forma entre el Sarcófago y el Pico propiamente dicho, prolongándose con rumbo NO hasta dividirse en dos lenguas, la E y la O, de las cuales la primera termina a los 4,650 m y la segunda a los 4,640 m. En ambas encontramos arroyos subglaciales que corrían a partir de las 11 de la mañana en los días de sol, para congelarse hacia las 6 de la tarde. (FIGS. 11, 13, 14 y 15). (CROQUIS III Y IV; II.)

El lado O del campo de hielo es el más espectacular. En él se encuentran hasta cinco lenguas mayores y varias menores; unas se prolongan en forma de glaciares semejantes a los de valle y otras se desprenden en cascadas de hielo desde alturas de 200 y 300 m sin crear en su base glaciares regenerados.

Al sur del promontorio rocoso llamado el Sarcófago, se extiende la serie de estos glaciares. El Sarcófago, en su contacto SE con el cono forma una especie de explanada en la que se sitúa sin que podamos precisarla claramente, la divisoria de la parte N de la O (FIGS. 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23). (CROQUIS III Y IV, III, IV, V, VI Y VII.)

Los glaciares del O comienzan con los de acantilado, primero el del Toro y luego el de la Barba (CROQUIS III Y IV; III Y IV). Aquí, la lava formó una especie de escalón, hasta el borde del cual llega el hielo, desplomándose en grandes masas al valle inferior, que presenta un cierto aspecto de circo. El glaciar del Toro se detiene a los 4,930 m y el de la Barba a los 5,090 m. En ningún lugar de donde caen los bloques de hielo existe, en nuestros días, glaciar regenerado, lo que posiblemente se debe a lo grande del desnivel, que hace que el hielo desprendido quede en una zona de temperaturas más altas fundiéndose al poco tiempo. (FIG. 21).

Sigue el grupo de los Occidentales (CROQUIS III Y IV; V, VI Y VII) a los que nombramos respectivamente el Noroccidental, el Occidental y el Suroccidental. El primero es una pequeña lengua apenas discernible de la gran masa de hielo, que desciende hasta los 4,920 m. El segundo, de gran desnivel, baja hasta los 4,980 m separándose claramente desde las cotas 5,150-5,200. Finalmente, el Suroccidental, llega hasta los 4,980 m. también, con un transcurso final bastante suave, más o menos desde la cota 5,200 (FIGS. 22 y 23).

El glaciar Oriental (CROQUIS III Y IV; VIII) queda algo aislado de la masa de hielo, manteniendo contacto con ella tan sólo en su

parte superior, donde se apoya en el borde del cráter y aun este contacto es dudoso, no participando este área en nada de su alimentación; comienza a los 5,600 m de altura y llega hasta los 5,070 m. Es un glaciar muy escarpado con abundancia de grietas y seracs que hacen su ascenso bastante difícil, por lo que hasta ahora no se ha efectuado en su totalidad. Es muy posible que los malogrados Tobella y Samaniego murieran al intentarlo, ya que los cuerpos se encontraron a su pie. (FIGS. 24 y 25).

En realidad, todos los glaciares menos el Oriental surgen de la gran masa de hielo que se extiende por la ladera superior norte. Son ramales de hielo que por condiciones topográficas se separan del gran núcleo, existiendo como glaciares particulares en trayectos bastante cortos; en verdad son lenguas de hielo de un gran glaciar al que hemos llamado Gran Glaciar Norte.

El área que cubre el Gran Glaciar Norte es de algo más de 9 kilómetros cuadrados y el Oriental 420,000 m², con lo que el Citlaltépetl tiene un total de 9.5 Km² de zona glaciada, la más grande de la República y una de las más importantes de la zona tropical del hemisferio Norte.

Quedan por definir los valores precisos de los extremos de los glaciares de acantilado y diferenciar, mediante líneas de estacas observadas regularmente, la conducta del hielo en la gran masa que llamaremos central, para ver si es posible conocer la verdadera parte en la que cada lengua del glaciar adquiere independencia, inclusive, si lo que aparentan ser lenguas no son glaciares completos que se inician desde el cráter. La observación de las líneas de estacas plantea un problema, el de fijar las estaciones pues la masa de hielo, por su tamaño, impide establecer vértices sobre roca en muchos puntos, haciendo necesaria la observación a largas distancias.

Por no disponer del equipo necesario no se hicieron mediciones del espesor del hielo. A juzgar por la profundidad de las grietas y sobre todo, los cortes visibles en los glaciares de acantilado del Toro y la Barba, gran parte del Gran Glaciar Norte debe sobrepasar los 50 m de espesor.

IV

EL POPOCATEPETL es la segunda cumbre de México (5,452 m) y se encuentra situado a los 19° 01' latitud N y 98° 37' longitud O, unos 70 km. al SE de la Ciudad de México. Consiste en un edificio volcánico formado por lavas, brechas, piroclásticos sin consolidar y cineríticos que comenzó a formarse desde principios del Pleistoceno. Su nombre significa "Montaña que humea" en la lengua nahuatl y en las crónicas se guarda recuerdo del otro nombre que tuvo

Xalliquehuac, que quiere decir "El que arroja cenizas". Este último es significativo al enfrentarlo con el actual. El más antiguo señala un período de actividad cinerítica y el actual, y cuando decimos actual empleamos el usado en la época de la Conquista, siglo XVI, marca claramente su actividad fumarólica.

La vía de acceso empleada desde la capital se inicia por la carretera que sale al E de ésta, rumbo a Veracruz por la ruta de Puebla. A la altura del kilómetro 19 se toma la desviación de la derecha; en el 28.8 se abandona esta carretera para tomar nuevamente a la derecha, rumbo a Cuautla, pasando por Amecameca. Dos kilómetros adelante de esta población se toma otra desviación que hay a la izquierda. Tras 23 kilómetros de camino de terracería se llega a Paso Cortés y de allí se sigue por el ramal también de terracería que se dirige hacia el sur, terminando a los cinco kilómetros en un paraje llamado Puerto Tlamacas, a 3,882 m de altura sobre el nivel del mar. Este es el punto desde el cual se inicia la ascensión al Popocatepetl. (CROQUIS II).

Por su silueta cónica característica, que se destaca con firmeza de la línea de horizonte y su relativa cercanía a la Ciudad de México, el Popo, como normalmente se le nombra, ha sido visitado desde hace largos años, traduciéndose esto en numerosos artículos más o menos científicos. A pesar de ello, las menciones a sus áreas glaciadas son muy escasas.

La primera se la debemos a Aguilera y Ordóñez (1895) y es más bien negativa ya que sólo reconocieron la existencia de una acumulación de nieve en lo que ahora se llama Barranca del Ventorrillo, acumulación que según los autores citados (p. 11) "presenta los caracteres de hielo de ventisquero". Admiten la existencia de estrías y pulimento de origen glaciario pero no indican de qué época puede ser.

Parece ser que Farrington (1897) también menciona aspectos relacionados con la Glaciología en su obra, que no he podido consultar.

Con motivo de la erupción de 1920-21, los geólogos que estudiaron el fenómeno, pudieron darse cuenta de la existencia innegable del área glaciada. Waitz (1920) encontró el glaciario plenamente visible y así lo señala (p. 297) reiterando esta observación en otras páginas (305-6, 311 y 313), Weitzberg va más lejos aún y su trabajo (1923) es el primero en el que, específicamente, se toma en cuenta el glaciario. Otro de los que estudiaron la erupción, Camacho (1925), también señala la existencia del glaciario (pp. 41 y 43).

Es muy posible que, aparte del fenómeno eruptivo que atrajo a tantos observadores, las propias características de éste crearan el condicionamiento necesario para la connotación del glaciario, puesto que tuvo una cierta fase cinerítica. La capa de cenizas que según

palabra de Waitz (op. cit. p. 313) cubrió parcialmente la nieve, debió producir un acelerado proceso de ablación, anormal, hasta el punto de hacer visibles grietas que hasta aquel momento no lo habían sido.

Desde esta época, que va de 1920 a 1925, hay que esperar hasta que White (1954) publica el único trabajo de Glaciología que a la fecha existe de los glaciares de México. En él señala la presencia de un campo de congesta en el Popo y da informes interesantes sobre el régimen del glaciar, a base de observaciones personales y de interpolaciones de valores sobre factores meteorológicos obtenidos en las cercanías.

Durante el AGI, ésta fue la primera montaña estudiada (FIG. 26), permaneciendo en ella del 13 al 17 de abril. Primero en el refugio de Teopixcalco 4,950 m y luego acampados en el Labio Inferior del cráter 5,197 m. (FIG. 35). De este último lugar tuvimos que retirarnos en muy malas condiciones físicas, pues el viento cambió en la noche y nos hizo respirar durante el sueño los gases del cráter (FIG. 36) en una abundancia que mostró ser bastante perjudicial para nuestra salud.

Mientras estuvimos en el refugio de Teopixcalco estudiamos el glaciar del Ventorrillo (CROQUIS V Y VI; I) en su límite inferior (norte), y en su lado oeste, donde entra en contacto con los restos de otro glaciar (CROQUIS V Y VI; III) el Noroccidental, también identificado en esta fase del trabajo y que va del Pico Mayor hasta la parte de los grandes acantilados del lado oeste. (FIGS. 27, 28, 29 y 31).

La determinación del extremo de la lengua del glaciar, al que hemos llamado del Ventorrillo o Teopixcalco (FIG. 30), no fue muy segura por encontrarse cubierta por los restos de la fuerte nevada que cayó en enero y, dado que en esa parte la barranca está muy encajonada y apenas recibe el sol, no se había fundido. Creemos poder afirmar que la terminal se encontraba a 4,690 m admitiendo la posibilidad de un error de 20 m. Este glaciar ocupa 435,000 m² aproximadamente.

El glaciar Noroccidental es apenas discernible en nuestros días aunque por las huellas de pulido y abrasión que muestran los promontorios rocosos que lo delimitan por el O y SO, debió ser muy importante en épocas pasadas. En la parte superior se apoya casi en el Pico Mayor y en la inferior queda detenido sobre los acantilados que caracterizan el lado O del volcán en la parte superior de su cono (FIGS. 27, 28 30 y 31). Su separación del Ventorrillo es claramente perceptible desde la cota 5,300. En total, apenas cubre 95,000 m².

Una vez obtenidos los datos de este área, pasamos, en travesía del glaciar del Ventorrillo, a establecer nuestro campamento en el Labio Inferior (FIG. 35). En nuestro recorrido pudimos cerciorar-

nos de la existencia de los restos de otro glaciar (CROQUIS V Y VI; II), el Norte. (FIGS. 27, 28 Y 37). Este glaciar, o más bien resto de glaciar, está en contacto directo por su lado O con el lado E del glaciar del Ventorrillo, normándose la separación por la topografía sumergida. El límite E no está bien definido y debe ser oscilante pues se apoya sobre las cenizas que cubren esa parte del cono. Termina abruptamente en la parte superior de la Barranca Central pero sin formar cascada, por lo que su espesor no debe ser muy grande. Posteriormente y antes de que el envenenamiento por los gases nos dejara en malas condiciones, establecimos el contacto superior de este glaciar, donde existen partes visibles de la rimaya y también delimitamos su contacto con el del Ventorrillo, y la parte superior de éste. Su área es de aproximadamente 190,00 m².

Como no dispusimos de equipo para medir la profundidad del hielo, este dato sólo puede ser inferido de la profundidad de las grietas como único valor, a sabiendas de que esta cifra no es ni la de la profundidad absoluta del hielo en la zona de grietas ni puede darse como valor general. Aceptando estas salvedades, las grietas mayores, situadas en el glaciar del Ventorrillo, entre las cotas 5,030-5,200, alcanzan profundidades del orden de 30 m.

En términos generales puede decirse que los tres glaciares del Popocatepetl se encuentran en la cara N, mayoritariamente, comparten un área común de acumulación, difícil de diferenciar en sus límites superiores y, después, entre las cotas 5,300-5,250, cada cual adquiere una cierta independencia. La propia forma cónica del volcán norma esta disposición, así como, en épocas pasadas, hacía que por sus faldas se derramasen lenguas de hielo independientemente, como es posible constatar por las direcciones, en verdad radiales, de las estrías que se encuentran sobre la roca.

En el futuro se hace necesario establecer líneas de estacas para determinar: a) la clara diferenciación de cada uno de los glaciares en sus partes superiores, aparentemente comunes; b) el movimiento particular a cada uno de los glaciares si existe y c) las observaciones pertinentes de las partes terminales de cada uno de ellos.

Afortunadamente, existen los suficientes crestones de roca en los que poder establecer las bases para las observaciones de teodolito e inclusive relacionarlas con los vértices geodésicos establecidos en la vecindad inmediata.

V

CON UNA ALTURA DE 5,286 m sobre el nivel del mar, el Iztaccihuatl viene a ser la tercera cumbre de México. Geográficamente su cumbre mayor está situada a los 19° 11' de latitud N y a los 98° 39' de

longitud O, unos 60 km al SE de la Ciudad de México. Consiste en un edificio volcánico alargado, cuya silueta recuerda la de una mujer acostada, de ahí su nombre: Iztac, blanco y cihuatl, mujer, debiéndose lo del color blanco a la nieve que la cubre.

Su historia geológica se inicia con la presencia de traquian-desitas expuestas en la base occidental del gran aparato, de una edad Oligoceno superior-Mioceno, a partir de cuya fecha empieza a formarse la gran montaña. La erosión, actuando a lo largo de bastantes milenios, niega la posibilidad de reconocer los edificios volcánicos individualmente, por ello no puede decirse nada de la forma o altura que tuvo el Iztaccihuatl en aquella época.

Posteriormente, durante el Plioceno medio-superior, se reanuda la actividad volcánica y surgen lavas del tipo andesita porfídica de piroxena en efusiones tranquilas y muy abundantes que son las que van a formar la mayor parte del Iztaccihuatl que hoy conocemos, siendo tal su importancia que ha dado el nombre a la serie geológica correspondiente por considerarse al volcán el sitio epónimo.

Durante el Pleistoceno se formó la parte superior del Pecho, a juzgar por la presencia en él de los restos de un cono escoriáceo cuyo material es de escoria roja de andesita basáltica (tezontle) y basalto de olivino, por lo cual se incluye en la serie basáltica Chichinautzin (Mooser, 1956).

En la formación de la peculiar silueta actual intervinieron tanto factores volcánicos como erosivos, y en estos últimos los de erosión glaciar jugaron un papel importante.

Al Iztaccihuatl se puede llegar bien por su lado este o por su lado oeste. Para la primera zona se llega por la carretera que comunica México con Puebla y desde San Martín Texmelucan o desde Huejotzingo hay brechas que suben por las laderas hasta cotas bastante altas. Si se trata de llegar a la montaña por el lado oeste, el más familiar para los habitantes de la Ciudad de México, y si se quiere llegar por la parte norte u occidente, al llegar a Tlalmanalco se desvía a la izquierda hasta la fábrica de papel de San Rafael, desde allí hay caminos para vehículos de doble tracción que suben hasta la cota 3,700, y de ellos, el que más llega rumbo al sur termina en el paraje llamado El Salto, en el cual un refugio en construcción es base estratégica para llegar al área glaciada.

En caso de querer visitar el Iztaccihuatl por el lado sur, se sigue exactamente la misma ruta que para llegar al Popocatepetl, con la diferencia que al llegar a Paso de Cortés se toma un ramal que se dirige al norte, hasta alcanzar el paraje de La Joya, término del camino, a 7.8 Km del Paso y a una altura aproximada de 4,080 m. Desde allí pueden tomarse veredas que conducen al lado suroriental o al occidental, siendo también desde aquí donde comienzan las ascensiones a la cumbre.

En páginas anteriores se han explicado las dificultades que se tuvieron para estudiar el Iztaccihuatl; imposibilidad material en 1958 y necesidad de emplear dos ciclos, uno en 1959 y otro en 1960, para obtener los resultados que se dan a continuación.

En el Iztaccihuatl hay varios refugios de alta montaña, entre otros existía el de la Cruz Roja, a 5,120 m. de altura, arrancado por un temporal en 1958.

Curiosamente el Iztaccihuatl es la montaña de la que se tiene la referencia más antigua en cuanto a glaciares. Entre 1781-1789, sin que se pueda fechar con mayor precisión, el padre José Antonio de Alzate y Ramírez, insigne miembro de la Ilustración en México, hizo observaciones barométricas en el extremo de uno de los glaciares y, según sus propias palabras, el lugar fue antes "...un grande frontón de nieve, que por su mucho diámetro manifiesta hallarse formado allí de tiempo inmemorial" (Alzate, 1831). La lectura obtenida, puesta en sistema métrico decimal, nos da 4,633 m. sobre el nivel del mar, lo que puede ser cierto. Es natural que no mencionase para nada el glaciar en sí; todavía no habían movido el interés científico.

Hasta 1890 no volvemos a encontrar nada de los glaciares del Iztaccihuatl. En este año, según una cita de Ordóñez (1895), un viajero, Angelo Heilprim, intenta el ascenso a la montaña, para lo cual cruza un ventisquero y se tiene que detener poco antes de llegar a la cumbre, pues dos grandes grietas le impidieron el paso (Heilprim, 1890 en Brecker, 1908).

La obra de Ordóñez (1895), es ya específicamente sobre los glaciares de los que reconoce dos en el lado occidental. Su toponimia es algo oscura pero parece que los reconocidos son los que llamamos de Ayolotepito y de Ayoloco, calificando a éste de glaciar suspendido.

Gilchrist (1907), lleva a cabo una ascensión que a juzgar por el texto se realiza por el glaciar de Ayoloco y dice "...al regreso al ventisquero donde fotografié una cueva de hielos, situada en la lengua de dicho ventisquero..."

Otro autor, Freudenberg (1911), hace la descripción fisiográfica, de sur a norte, del lado occidental del Iztaccihuatl. Menciona sin darle nombre, el glaciar que llamamos Atzintli, además de los ya reconocidos por Ordóñez. Cabe a Freudenberg el gran honor de haber sido el primero que señala la existencia de glaciares en el lado este. Así, en la p. 72, encontramos "Puede distinguir, en el lado este del Iztaccihuatl tres 'kars' distintos, al norte del Cerro Gordo (este cerro según informantes de Amecameca es el también llamado Amacuilecatl o Pies del Iztaccihuatl). El más al sur estaba prácticamente libre de nieve. En el segundo había algunos campos de nieve. El tercero estaba totalmente lleno por un glaciar". Si tomamos en cuenta que subió en el mes de diciembre y que hizo el

recorrido desde los Tobillos hasta el Pecho, bajando posiblemente por Ayoloco, se entiende que viera lo que indica; la parte más alta de la montaña no es la que mejor nos permite comprender su topografía. De todas formas, el honor le queda y el suyo fue un bello esfuerzo que por muchos años no habría de tener continuadores.

Efectivamente, hay que esperar hasta 1956 (White, op. cit.), para volver a encontrar una mención de los glaciares del Iztaccihuatl que no sea lo dicho por los autores anteriores.

Farrington (1897), Boese y Ordóñez (1901), Robles Ramos (1944) y otros varios escribieron sobre el Iztaccihuatl, pero sus aportaciones no son mayores. Quizá De Terra (1949), apoyándose en lo hecho por los autores ya citados y en Jaeger (1926) y Bryan (1946), pueda considerarse como iniciador de algo, la Geología Glacial del Iztaccihuatl, pero lo suyo fue más síntesis de lo conocido que aportación, a juzgar por lo errático de sus resultados respecto a lo que hemos podido ver.

En fecha reciente, White (1962), ha presentado los resultados de varias temporadas de estudios llevadas a cabo en esta montaña, en un trabajo, único en su género, que si bien es cierto que sólo comprende el estudio de la Geología Glacial de las laderas oeste y noroeste, también es verdad que con él se hace muy fácil incorporar los datos de las demás laderas e inclusive comprender en el futuro los mismos fenómenos en los demás volcanes altos del centro de México.

Pasaremos a describir los glaciares del Iztaccihuatl, siguiendo un orden de norte a sur. Para mayor facilidad mantendremos la toponimia popular que ha designado las formas más importantes de la montaña de acuerdo con su correspondiente en la anatomía; así, de norte a sur, se encuentran: la Cabeza, el Cuello, el Pecho, la Barriga, las Caderas, las Rodillas, los Tobillos y los Pies. Algunos ya han sido mencionados pasajeramente en el texto, perdónesenos por haber retrasado esta aclaración (FIGS. 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 y 47).

En el primer glaciar que mencionaremos se encuentra en la parte norte de la Cabeza y por su posición se llama Glaciar de la Cabeza. Consiste en una plancha de hielo que comenzando en los 5,045 m desciende hasta los 4,900 donde termina abruptamente en la parte superior de los grandes acantilados que se conocen como la Cabellera (CROQUIS VII Y VIII; I). Ocupa un área de aproximadamente 15,000 m² e indudablemente es un glaciar de acantilado de cuyos desprendimientos se regeneraba otro al pie del cantil, del cual quedan huellas en forma de morrenas (FIGS. 39, 44 y 48).

Al E del Cuello y apoyado en la ladera que se inicia en la cresta del collado que se sitúa entre la Cabeza y el Pecho, se encuentra un glaciar bastante inclinado por su situación llamado del Cuello; baja desde los 4,990 hasta los 4,760 m. Su área es de más o menos

79,000 m² (CROQUIS VII Y VIII; II. FIGS. 43, 44 Y 49). Por su posición topográfica parece ser resto fragmentado de un glaciar mayor que descendiendo del Pecho ocupaba un área más grande, conservándose por su posición altimétrica hasta nuestros días como un glaciar colgante.

En la cumbre de la montaña, cota 5,286, se inicia un sistema de glaciares bastante complejo al que llamamos sistema de glaciares del Pecho. La parte superior, de apariencia bastante plana, en los últimos años y quizá debido a un balance deficiente, ha venido mostrando cada día con mayor claridad una loma de aspecto semi-circular, abierta hacia el este que corrobora lo dicho respecto a que el Pecho del Iztaccihuatl es un pequeño volcán cinerítico de edad pleistocénica (Mooser, 1956; White, 1962). Por encontrarse coronando una gran mole rocosa, también volcánica pero de edad anterior, es capaz de captar un cierto volumen de nieve originador de una gran masa de hielo, la cual se desplaza en diferentes direcciones debido a la topografía (FIGS. 40, 43 Y 45).

Siguiendo el giro de las manecillas del reloj y comenzando en las doce que en este caso haremos coincidir con el norte, encontramos la parte superior del glaciar de Ayolotepito (CROQUIS VII Y VIII; III), que a pesar de iniciarse en el Pecho en la cota 5,250 y con franco rumbo N, desciende vertiginosamente en las primeras centenas de metros, gira al oeste, hacia la izquierda, para terminar a los 4,760. La posición topográfica de este glaciar, en la parte norte del Pecho, hace que esté muy protegido de los rayos del sol, así como también de los vientos más fuertes, aquellos del cuadrante NE, con lo cual se crea una masa de hielo de tamaño bastante grande, que no proviene del Pecho (FIGS. 45 Y 50).

A continuación y también al norte, comenzando a los 5,250 m. hay un pequeño glaciar que cuelga de una pared rocosa casi vertical, el glaciar que llamamos Norte (CROQUIS VII Y VIII; IV). Termina abruptamente al borde de unos acantilados, cota 5,050 y en la base de estos regenera una pequeña lengua que va de la cota 5,010 a la 4,910 (FIGS. 45 Y 51).

Después se encuentra el glaciar que sale del cráter, a los 5,286 m, por lo cual será llamado del Cráter. Consta de dos lenguas: una, la NE, se desplaza en esta dirección hasta la cota 4,890, quedando dos masas aisladas más bajas (su punto inferior es la cota 4,750) que por posición parecen haberse desprendido de esta misma lengua (CROQUIS VII Y VIII; V). La otra se dirige francamente al este pero por muy corto trecho. Ofrece un frente caótico de seracs en la cota 4,910 que está en proceso continuo de desprendimiento por una ladera de pendiente muy fuerte (FIGS. 45, 52 Y 53).

Al ONO del Pecho (FIGS. 45, 52 Y 53). hay otro glaciar de acantilado (CROQUIS VII Y VIII; VI), bajo el cual no se presenta ningún proceso de regeneración lo que sin duda se debe a que la base

del acantilado se encuentra en una cota demasiado baja y además es muy inclinada. Se inicia en la cota 5,286 y termina en la 5,010 (FIGS. 45 Y 54).

Desde luego, la división del sistema del Pecho en la serie de glaciares que se han indicado se basa en características topográficas. Sólo si pudiéramos establecer unas cuantas líneas de estacas sería posible decir con hechos concretos cuáles son las direcciones de desplazamiento de la masa del hielo del Pecho y con ello la diferenciación clara de los distintos glaciares.

En resumen, el sistema de glaciares del Pecho se inicia a los 5,286 y, en su punto más bajo, alcanza los 4,760 m ocupando un área total de 488,200 m².

En la región al SE del Pecho se encuentra un pequeño glaciar, el glaciar Nororiental, que comenzando en la cota 5,050 llega hasta la 4,830 y ocupa aproximadamente 25,000 m². (CROQUIS VII Y VIII; VII. FIG. 55). Por presentar una superficie bastante homogénea no se pudo percibir otra cosa que congesta; quizá tenga hielo en zonas más profundas.

La parte central de la montaña, conocida vulgarmente como la Barriga, es el origen de otro sistema de glaciares, pero éstos, a diferencia de los que nacen del Pecho, pueden individualizarse porque la cresta divisoria de laderas este y oeste es mucho más aparente aquí (FIG. 46).

Al este se dirige un glaciar, el Centro Oriental (CROQUIS VII Y VIII; VIII. FIG. 56), que comienza a los 5,190 y baja hasta los 4,715 m cubriendo un área de 245,000 m². Por el lado oeste de la cresta se encuentra el Glaciar de Ayoloco (CROQUIS VII Y VIII; IX. FIG. 57), que desde los 5,190 m alcanza hasta los 4,725 y ocupa 247,500 m². Este glaciar, el más conocido del Iztaccihuatl, está surcado de grietas y en la parte superior sur, donde se apoya en la Peña Aguilera, tiene una serie de seracs muy peligrosos, lo cual no impide que sea una de las rutas de ascenso más empleada.

Con rumbo SE se desprende un tercer glaciar, el suroriental (CROQUIS VII Y VIII; X), que se inicia en la cota 5,130 llega hasta la 4,970 y cubre 77,500 m²; no muy grande, es bastante escarpado en su zona inferior (FIG. 58). Separado por pocas decenas de metros, al S del Sistema de la Barriga se encuentra otro pequeño Sistema, el de las Rodillas, formado por dos glaciares y que, como los dos sistemas anteriores no es más que un resto zonal del sistema general del Iztaccihuatl, como debió existir en otras épocas (White, 1962).

Sobre la ladera oeste y separado del glaciar de Ayoloco por la Peña Aguilera, se encuentra el glaciar que hemos llamado Atzintli (CROQUIS VII Y VIII; XI), que se inicia en la cota 5,080 y desciende hasta la 4,855, ocupando un área aproximada de 57,500 m². (FIG. 59).

El nombre de este glaciar fue dado en honor del Dr. Atl, pintor que emplea este seudónimo, siendo su nombre el de Gerardo Murillo. Su amor a los volcanes, a las altas cumbres nevadas de México, su visión telúrica del paisaje, condujeron al que escribe a nombrar este glaciar en su honor. Se recurrió a la lengua nahuatl y se encontró que la forma más breve y eufónica era dar a la palabra *atl* (agua) la partícula reverenciativa *tzintli* con la que se formaba un término que tiene el significado de "señor agua". Quizá el purista de la lengua nahuatl encuentre alguna objeción a este neologismo; séanos perdonado por la buena intención que lo origina.

Al suroeste de este glaciar, sobre la ladera este, se encuentra un pequeño glaciar, el de San Agustín, así llamado por su proximidad con la formación rocosa conocida como Torre de San Agustín (CROQUIS VII Y VIII; XII. FIG. 47). Este pequeño glaciar, apenas discernible entre los campos de nieve que le rodean, es el último resto de un glaciar mayor. Por sus características actuales puede llamarse un glaciar de circo. Se inicia en los 5,030 y baja hasta los 4,970 m. Ocupa aproximadamente 11,250 m² y hasta donde se sabe sólo es de congesta.

Estos son los glaciares encontrados en el Iztaccihuatl. Su alto número indica claramente la importancia del casquete de hielo que debió cubrir por completo la montaña durante otras situaciones climáticas más propicias para los fenómenos glaciales. Hoy no quedan nada más que los restos y quizá se deba a ello la diversificación de unidades.

Respecto al espesor de los distintos glaciares, no es posible adjudicar valores precisos pues en la parte alta del glaciar de Ayoloco hay grietas de cerca de 50 m. de profundidad y en otros glaciares los espesores mayores no pasarán de los 20 m. Lo escarpado de algunas partes, como la oriental, hace que los glaciares de este lado en su parte inferior estén formados de congesta, no siendo así en los occidentales, quizá debido a que los últimos se encuentren más encajonados y tienen menores pendientes en general.

El estudio detallado de los glaciares del Iztaccihuatl será el más duro de todos por lo accidentado de su topografía y por las mayores dificultades de acercamiento, lo que se traduce en complicaciones en los aprovisionamientos. Siendo la montaña más baja de las tres que tienen glaciares es la de fisonomía más accidentada y la de mayores dificultades técnicas. La deterioración de sus glaciares ha hecho que se fueran abandonando, una tras otra, diferentes rutas que se han convertido en recorridos arriesgados.

Hasta ahora habíamos visto cómo en el Citlaltepétl y en el Popocatepetl las zonas glaciadas quedaban en la ladera norte. En el Iztaccihuatl la situación cambia y, siendo su eje mayor el N-S, sólo quedan posibilidades en las laderas E y O.

VI

LA DESCRIPCIÓN DE LOS GLACIARES puede hacerse desde por lo menos tres puntos de vista: el morfológico, que se basa en su aspecto externo; el dinámico, que considera su actividad o pasividad y el geofísico en el que cuentan las temperaturas reinantes y ciertas propiedades físicas del hielo, la congesta y la nieve.

En nuestro caso se hacía necesario incluirlos en alguna de las clasificaciones y adoptamos la de Ahlmann (1948), de criterio morfológico que toma en cuenta la apariencia externa del glaciar, regida por la topografía de su lecho de roca y por la extensión y espesor del hielo. Este autor considera tres tipos básicos con algunas subdivisiones internas:

- “A. Glaciares que se extienden en manto continuo en el que el hielo se mueve hacia afuera en todas direcciones;
 - (1) Glaciares continentales o hielo de tierra adentro, cubriendo un área grande.
 - (2) Glaciar de casquete o casquete de hielo, cubriendo un área menor que un glaciar continental.
 - (3) Glaciar de tierras altas, cubriendo la parte central o más alta de una región montañosa.
- B. Glaciares reducidos a un cauce más o menos marcado que dirige su movimiento principal. En este grupo se incluyen tanto los glaciares independientes como los comprendidos de un glaciar del grupo A.
 - (4) Glaciar de valle, de tipo alpino.
 - (5) Glaciar coalescente, en el que todo un sistema de valles está más o menos lleno de hielo.
 - (6) Glaciar de circo, localizado en un nicho aislado o en una ladera de la montaña.
 - (7) Glaciar de pared, cubriendo el lado de un valle o alguna parte de él.
 - (8) Lenguas flotantes de hielo.
- C. Hielo glaciar extendiéndose en láminas pequeñas o grandes, en forma de torta sobre el piso de tierra al pie de las regiones glaciadas. Los glaciares de este tipo no son independientes.
 - (9) Glaciar somontano, formado por la unión de la parte inferior de uno o más glaciares independientes de los tipos 4, 5 y 7 del grupo B.
 - (10) Glaciar de base, la porción más baja y extendida de un glaciar de los tipos 4, 5 y 7 del grupo B.
 - (11) Banco de hielo”.

En el caso de los glaciares mexicanos, difícilmente podríamos incluirlos en la clasificación anterior; afortunadamente, esta clasificación ha sido ampliada por William O. Field recientemente, en unas notas mimeografiadas de la American Geographical Society, siendo las ampliaciones las siguientes, resumidas:

1. *Glaciares de cima* aparecen en la cima de una montaña o a horcadas en una cresta y, por lo tanto, fluyen en más de una dirección. Con todo, no son extensos y no quedan comprendidos en los casquetes de hielo de tipo A.
2. *Glaciares colgantes* son los que ocupan un nicho o una depresión de menor cuantía que un valle en una ladera y parecen estar colgando. El término no es igual que valle colgante o glaciar ocupando un valle colgante. Existiendo la posibilidad de una confusión, quizá fuera conveniente emplear otro término. Muchos glaciares colgantes son muy pequeños y posiblemente pudieran ser llamados glaciarcillos (glacierettes). Este tipo de glaciares puede diferenciarse de los glaciares de pared lateral de Ahlmann (B. 7) por encontrarse aislados y tener, por lo general, extensión más limitada que la de una corriente de hielo que baja por el lado de un valle.
3. *Hielo festoneado o laderas cubiertas de congesta* pueden ocurrir en laderas cóncavas o convexas... los festones de hielo cubren las laderas amplias de las montañas y en algunos casos se extienden como lenguas por los valles... Las laderas cubiertas de congesta son una posición intermedia entre los campos de hielo y las lenguas de hielo...
4. *Glaciares de acantilado* son los glaciares que terminan al borde de un acantilado.
5. *Glaciares de cráter* es un tipo bastante característico y poco corriente. Aparecen en los cráteres de volcanes extinguidos que quedan por encima del límite regional de nieve. En algunos casos el cráter está completamente lleno y el hielo sale en una o más direcciones formando lenguas. Hay casos en los que el hielo surge por uno de los bordes del cráter, hundido o erosionado.
6. *Glaciares regenerados o reconstruidos* son glaciares que aparecen por debajo de la línea de congesta y que están alimentados principalmente por avalanchas de los glaciares de las laderas superiores y no por laderas de avalanchas. Por lo general estos glaciares ocupan un circo o un valle y pueden mostrar algunas de las características básicas de estos tipos. El criterio principal para su definición debe ser que la fuente de su alimentación sean las avalanchas de uno o más glaciares.

De acuerdo con las definiciones dadas, los glaciares del Citlaltépetl y Popocatepetl quedan mejor como el tipo 3 de Field. En parte son del grupo A tipo 2 de Ahlmann, pero sus dimensiones les harían quedar un poco fuera del sentido del enunciado. Poniéndolos en la clasificación 3 de Field quedan bien pero sólo en lo que a sus partes superiores se refiere. Precisamente, el borde de esta "ladera cubierta de congesta" toma características muy distintas por condicionamientos topográficos dando glaciares de valle y glaciares de acantilado.

En el caso de los glaciares del Iztaccihuatl es fácil incluir todos en la categoría 1 de Field, e indudablemente en sus orígenes así fue. Sin embargo, ahora sabemos que en el Pecho existe un glaciar de cráter, categoría 5 de Field y que quizá, debido a la retracción del hielo, glaciares que en su origen fueron del grupo 1 se convirtieron después en representantes de los grupos 2, 4 y 6.

Ya hemos colocado a los glaciares en su clasificación morfológica quizá no con mucho tino; ahora nos queda clasificarlos dentro de sus características geofísicas, para lo cual Ahlmann (op. cit.) sugería que se tomase en cuenta "la consistencia de la parte superior del glaciar —congesta o hielo compacto— y la temperatura que reinase en el glaciar". En la misma obra, Ahlmann daba sus definiciones (p. 66);

1. *Glaciares templados* consisten en hielo cristalino formado por la recristalización, bastante rápida, del excedente anual de la precipitación sólida debida a cantidades grandes de agua fluyente. Por todas partes de estos glaciares, las temperaturas corresponden al punto de fusión del hielo, salvo en el invierno, cuando la capa superior está congelada hasta una profundidad de no más de dos metros.
2. *Glaciares polares* consisten, por lo menos en sus partes superiores o más altas, de congesta cristalina dura formada por la recristalización lenta del excedente anual de la precipitación sólida acumulada. La temperatura del glaciar, hasta una cierta profundidad, es negativa aún en el verano. Estos glaciares polares pueden subdividirse en:
 - (a) *Glaciares polares verdaderos* que consisten en, por lo menos en sus áreas de acumulación, congesta cristalina con temperaturas por debajo del punto de congelación hasta profundidades considerables. Aun en el verano, la temperatura del área de acumulación es tan baja que como regla no hay fusión acompañada de formación de agua.
 - (b) *Glaciares sub-polares* los que tienen su área de acumulación formada por congesta cristalina hasta una

profundidad de 10 o 20 metros. En el verano, la temperatura permite la fusión en superficie, acompañada de la formación de agua fluyente.

Parecerá paradójico pero los glaciares de México, en la zona tropical del hemisferio norte, quedan incluidos en la clasificación de los glaciares sub-polares.

Lo anterior no debe extrañar a nadie. La clasificación climática de Koeppen (1948) incluye los climas EF y EB que si bien en el primer caso ocupan los casquetes polares (clima de hielo perpetuo) en el segundo es el clima polar de alta montaña, y éste es el caso del reinante en las altas cumbres de la República de México.

Hasta ahora, el único cálculo existente sobre las áreas cubiertas de hielo en México era el que viene en la obra de Flint (1957) donde se daba una cifra de 3 km² (p. 51; Tab. 4-A); según los resultados obtenidos por las observaciones llevadas a cabo durante el AGI, el total de las áreas cubiertas por el hielo es de algo más de 11.3 km² que se distribuyen como sigue:

Citlaltepetl	9,500,000 m ²
Popocatepetl	720,000 m ²
Iztaccihuatl	1,164,550 m ²
	<hr/>
	11,384,550 m ²

La cifra anterior es un cálculo aproximado en el que puede haber error tanto por defecto como por exceso, habiendo indicado en páginas anteriores el orden y origen de este error.