

# Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40,000 años en México

Deducciones indirectas de observaciones geomorfológicas.

**Klaus Heine**  
**Universidad de Bonn**

El objeto de la investigación es el estudio de los vestigios de los glaciares del Pleistoceno superior y del Holoceno en la parte más elevada de los volcanes de la Cordillera Neovolcánica de México; estos vestigios son testigos de variaciones más importantes del clima.

En el volcán La Malinche (4461 m) se distinguen 4 avances de glaciares, que se pueden caracterizar por medio de morrenas, rocas estriadas y depósitos periglaciales ("sandur", detritus periglaciales, varvas) así como por crioturbaciones. Los sedimentos de los diferentes avances de los glaciares están separados por brechas volcánicas, capas de cenizas y pómex, guijarros fluviales, depósitos eólicos semejantes al loess, lahares y diversos suelos fósiles. La estratigrafía de los sedimentos glaciales y periglaciales es el resultado de las observaciones tefracronológicas y paleoedafológicas. Algunas determinaciones en suelos fósiles y carbón de madera por medio del C14 confirman los estudios del campo (ver HEINE 1972a +b, HEINE & HEIDE-WEISE 1972, HEIDE-WEISE & HEINE 1973).

En La Malinche el avance más antiguo alcanzó el nivel más bajo (véase fig. 1). Dicho avance (MI) ocurrió aproximadamente hace entre 39.000 y 26.000 años. Hace 26.000 hasta 21.000 años tuvo lugar una formación intensiva del suelo (fBo1). Hace unos 12.100 años hay vestigios de un segundo avance de los glaciares que poco después retrocedieron (MII). La figura 1 muestra La Malinche durante las glaciaciones MI y MII. 4 (o sea 5) glaciares de valle se extendieron por las laderas de La Malinche hasta alcanzar una altura de 2550 m (MI) resp. 2630 - 2750 m (MII). Un tercer avance caracterizado por dos fases tuvo lugar hace unos 10.000 a 9.000 años. Los glaciares MIII forman pequeños amplios y lóbulos planos de hielo sobre terrenos poco inclinados cuando los glaciares salen de los valles grandes en una altura de más o menos 3000 m.

El tercer avance fue seguido por una formación intensiva del suelo (fBo3, aprox. 8.000 años). En el Holoceno avanzaron los glaciares (MIV) durante la Neoglaciación antes de 2.000 años. Sólo se encuentra una glaciación reducida en la ladera norte y oeste en forma de pequeños campos de hielo en una altura de más de 4.000 m.

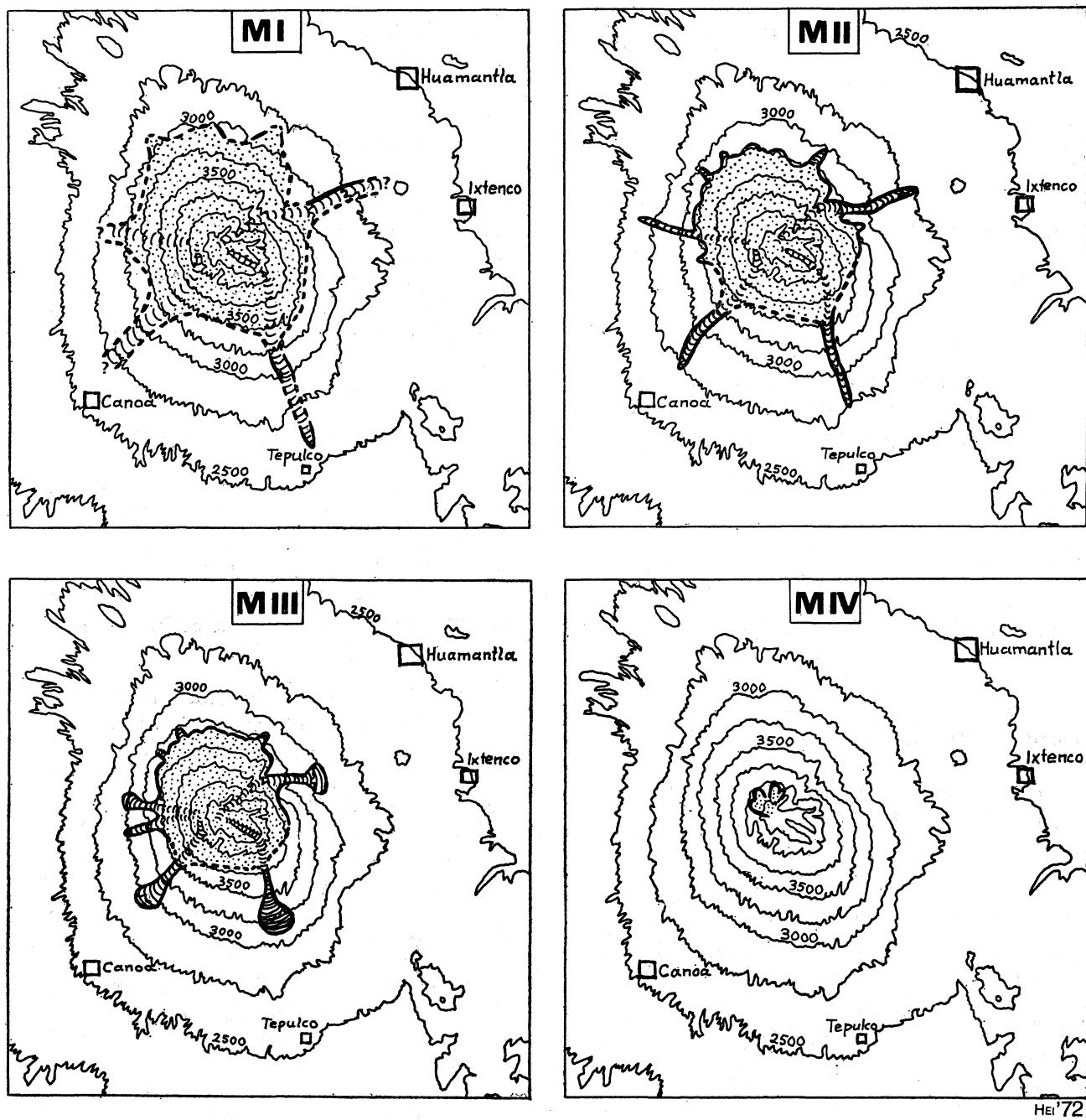
En la Sierra Nevada (Popocatépetl, 5452 m. e Iztaccíhuatl, 5286 m) se encuentran, además de las 4 glaciaciones mencionadas, los vestigios de otra glaciación, que probablemente se formó durante el siglo pasado (MV). Hay una correlación de las 4 glaciaciones de La Malinche con las glaciaciones mencionadas por WHITE (1962 a+b). La correlación aparece en la Tabla 1.

En el Pico de Orizaba (5670 m) se observan también las 4 últimas de las 5 glaciaciones. Los macizos volcánicos de menor altura como el Cofre de Perote (4282 m), Nevado de Toluca (4690 m), Nevado de Colima (4180 m) así como otros volcanes más pequeños no han tenido glaciares desde la Neoglaciación (Temple Lake Stade). Sin embargo, se pueden observar también ahí los otros avances de glaciares antiguos.

La valoración paleoclimática de las huellas de las cinco mencionadas glaciaciones se apoya en numerosas observaciones particulares que aquí sólo pueden presentarse en una selección muy estrecha. De especial importancia son los siguientes resultados:

(1) La prueba de que en los depósitos de fecha conocida se trata de sedimentos glaciales y periglaciales. Entre ellos hay morrenas que se identifican por los grandes cantos de caras opuestas, valladas y estriadas, además de arenas fluvioglaciales, que muestran una característica estratificación delgada y que se introducen lateralmente en depósitos glaciales, o se encuentran en el mismo nivel estratigrá-

FIG.1: LAS GLACIACIONES DE LA MALINCHE (4461m)



fico; los horizontes de detritus periglaciales se reconocen por el material con fragmentos angulares, depositado sin calibrar, en pendientes descendentes, y por los fenómenos de crioturbación que aparecen con gran frecuencia;

es también importante que estas capas de detritus se pueden poner en correlación con depósitos de morrenas ciertamente comprobados, lo que es fácil casi siempre a base de métodos tefracionológicos. Se encontraron varvas en la

HEINE				WHITE (1962)				
Unidades estratigráfico-tiempo/ unidades estratigráfico-roca	Edad (años antes de hoy)	Malinche	Sierra Nevada (lado este)	Iztaccíhuatl (lado oeste)			Edad según WHITE (correlación con las glaciaciones de las Montañas Rocallosas)	
		metros s.n.m.	metros s.n.m.	Unidades estratigráfico-tiempo	Unidades estratigráfico-roca	metros s.n.m.		
M V	~250 - 120	no hay	>4,200	Fase Hipotermal	Depósito glacial Ayoloco	4,270-4,410	Gannett-Lake-Stage ("Little Ice Age")	
M IV	~2,000	>3,950	3,650-3,800	Sub-etapa Alcalican	Depósito glacial Milpulco	3,630-3,760	Temple-Lake-Stage (Late Wisconsin)	
M III 2° avance ----- M III 1° avance	~9,000 - 10,000	~3,000	>3,150 ----- >2,880	Sub-etapa Diamantes	Segundo avance ----- Primer avance	Depósito glacial Hueyatlaco	3,135-3,650	Pinedale-Stage (Classical Wisconsin)
M III	12,100	>2,750 (en el lado-oeste hasta 2,640)	>2,750	Sub-etapa Tonicoxco	Depósito glacial Nexcoalango		2,750-3,050	Bull-Lake-Stage (Classical Wisconsin)
M I	entre 26,000 y 39,000	2,630 y más abajo hasta 2,550(?)	hasta 2,550 y más abajo (?)	Etapa pre- Wisconsin	Sedimentos seme- jantes a depósito glacial (dentro de los depósitos aluviales más an- tiguos)		2,450-2,950	Buffalo-Stage or post-Buffalo/pre- Bull-Lake-Stage

TABLA 1: Correlación de las morrenas de La Malinche con las morrenas del lado este de la Sierra Nevada y las morrenas del lado oeste del Iztaccíhuatl.

Malinche meridional y hay una correlación con las morrenas MII y los depósitos de sandur.

(2) La prueba de que las crioturbaciones dentro de la estratificación se pueden atribuir a efectos de congelamiento y descongelamiento; con otras palabras: determinados fenómenos referidos a indicaciones paleoclimáticas deben considerarse evidentemente como crioturbaciones. Este es el caso cuando se pueden poner en correlación estratigráfica crioturbaciones con morrenas y además se pueden excluir otras causas —como la influencia de animales del suelo, embolsamientos debidos a depósitos posteriores, mezcla de materiales a consecuencia de distintos pesos específicos y diversa densidad de las capas, etc.

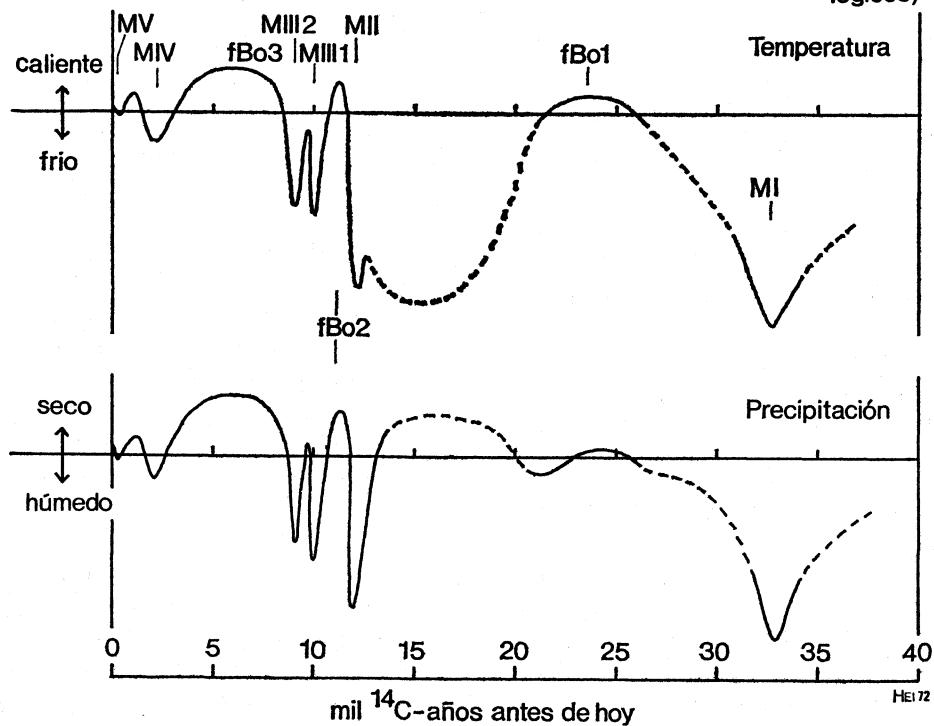
(3) Las alturas a que se encuentran los sedimentos y formas glaciales y periglaciales. Aquí desempeña un importante papel la observación de los caracteres encontrados en los puntos más bajos. Así es como se pueden encontrar morrenas terminales de los glaciales de la Malinche en las siguientes alturas: M<sub>I</sub> = 2.550 m. s.n.m.; M<sub>II</sub> = 2.630 — 2.750 m s.n.m.; M<sub>III</sub> = 2.900 — 3.400 m. s.n.m.; M<sub>IV</sub> = 4.000 — 4.200 m. s.n.m. Fuera de la zona de los antiguos glaciares del valle, las alturas de las distintas glaciaciones de la Malinche para una capa cerrada de nieves y hielos perpetuos son las siguientes: M<sub>I</sub> = ?, probablemente poco sobre los 3.000 m. s.n.m. en la pendiente norte; M<sub>II</sub> = sobre unos 3.200 m. s.n.m en la pendiente norte, sobre 3.400 m. s.n.m. en las pendientes oeste y este; M<sub>III</sub> = sobre los 3.400 m. s.n.m. en la pendiente norte, sobre los 3.600 m. s.n.m. en las pendientes este y oeste; M<sub>IV</sub> = sobre los 4.000 m. s.n.m. en las pendientes norte, noroeste y nordeste. Fenómenos periglaciales (sobre todo crioturbaciones) son observables hasta alturas de 2.520 m. s.n.m. en la pendiente occidental de la Malinche en el nivel de las morrenas-M<sub>II</sub>. La única cuña de hielo fósil registrada en México, a 2.730 m. s.n.m. (LORENZO 1969 a+b), se atribuye a la glaciación Tonicoxo del Iztaccíhuatl; la sub-etapa Tonicoxo es simultánea a la glaciación M<sub>III</sub> (véase tabla 1). Pero también en el nivel de las morrenas M<sub>III</sub> se pueden observar crioturbaciones hasta en alturas inferiores a los 2.700 m. s.n.m.

(4) La correlación de las distintas glaciaciones de los diversos volcanes de la Sierra Neovolcánica. Los sedimento de la Malinche y de

la Sierra Nevada se pueden poner en correlación a base de una serie de perfiles a través de la cuenca de Puebla (HEINE y HEIDE-WEISE 1972, HEIDE-WEISE y HEINE 1973), pero también a base de la correlación de los sedimentos glaciales y periglaciales con las capas de la cuenca de México por un lado (MOOSER 1967, HEINE 1972 b) y de la cuenca de Puebla por otro, a base de métodos de investigación tefracionológicos, así como de hallazgos prehistóricos e históricos. Una correlación basada en fechas de C<sub>14</sub> completa las observaciones. Hechos morfológicos como la altura absoluta de las morrenas, el tipo y formación de las mismas, el sobrepuerto con material volcánico, el grado de meteorización, etc., permiten además llegar a una correlación que se puede trasladar a los otros volcanes. Ahí desempeña un especial papel la altura absoluta de las morrenas terminales de las distintas glaciaciones: se presenta en todos los macizos montañosos aproximadamente a la misma altura, pero asciende ligeramente en dirección este-oeste. La forma de las morrenas muestra diferencias características para las distintas glaciaciones: las morrenas más recientes (M<sub>IV</sub>) tienen formas frescas, no erosionadas inmediatamente bajo glaciares recientes; las morrenas M<sub>IV</sub> se encuentran siempre en la zona del reciente límite superior del arbolado; se trata de pequeños terraplenes que dejó detrás un campos de hielo en la ladera; sólo en la zona del Iztaccíhuatl se conocen también pequeñas lenguas de glaciares del valle del estadio M<sub>IV</sub>. Las morrenas M<sub>III</sub> se han formado sobre los 3.000 m. s.n.m., casi siempre como morrenas laterales extendidas a lo largo de los valles para formar a unos 3.000 m. s.n.m. arcos terminales de morrena en forma de guirnalda; las morrenas M<sub>II</sub> están siempre enterradas bajo jóvenes sedimentos, a veces de gran espesor, de modo que apenas si se advierten morfológicamente; lo mismo sucede con las morrenas M<sub>I</sub>, que sin embargo se pueden distinguir siempre de las morrenas M<sub>II</sub> por una meteorización más intensiva y por su situación bajo el suelo fósil fBo1.

Una representación gráfica de los cambios climáticos durante los últimos 40.000 años, mediante una curva de temperaturas y precipitaciones compuesta a base de los hallazgos morfológicos, muestra aproximadamente la forma de la figura 2. Hay que tener en cuenta

**FIG. 2: LA SUCESIÓN CLIMÁTICA** (indirectamente deducida de datos geomorfológicos)



que las curvas no permiten ninguna afirmación sobre relaciones absolutas de temperatura o precipitaciones. El material morfológico observado sobre el que se ha construido la curva no permite separar con suficiente exactitud temperatura y precipitaciones. La aparición relativamente frecuente de crioturbaciones durante los períodos glaciares permite concluir que durante el máximo de las glaciaciones también cayeron intensas precipitaciones, pues las crioturbaciones sólo pueden surgir en sedimentos volcánicos flojos (cenizas, tobas y lapilli), si éstos están suficientemente impregnados de humedad —lo que no sucede bajo las actuales condiciones climáticas; por eso también es sumamente rara la observación de crioturbaciones recientes (LORENZO 1969 a+b). En cambio se encuentran con frecuencia fenómenos crioedafológicos después de situaciones de tiempo norte en el invierno, es decir, cuando el suelo está húmedo, o también en el suelo frecuentemente húmedo inmediatamente bajo los glaciares recientes (WHITE 1962 a).

En relación a los períodos climáticos está probado que fueron más fríos y húmedos, las actuales condiciones climáticas se pueden considerar como "cálidas-secas". Las épocas de las glaciaciones fueron más frías, pues las for-

mas criopedológicas y las crioturbaciones se encuentran a alturas que presuponen una baja de temperatura; por otro lado, muchas formas testimonian que las precipitaciones debieron ser más intensas que actualmente, y por cierto sobre todo antes del período seco invernal. Sólo las fuertes glaciaciones, con los largos valles glaciares bajo el límite de las nieves perennes, indican mayores precipitaciones, pues dada la relativa pequeñez de la zona de alimentación de los glaciares en los volcanes, sería inimaginable la formación de glaciares de hasta más de 10 km. de longitud en la relativamente pequeña masa volcánica de la Malinche. También cabría suponer, basándose en investigaciones tefraronológicas y estratigráficas, una correlación entre la glaciación MII y los sedimentos lacustres en la cuenca de Puebla, lo que corrobora la sospecha de que durante las glaciaciones existían en dichas cuencas extensos lagos (JAEGER 1926, DE TERRA, ROMERO and STEWART 1949).

Las curvas (figura 2) muestran una fase fría y húmeda entre los 36.000 y 30.000 años aproximadamente antes de nuestros días. Entre los 26.000 y 21.000 años antes de nuestros días volvió a reinar un clima más cálido y posiblemente también más seco; aproximadamen-

te hace unos 21.000 años volvió a ser más frío. Probablemente el descenso de temperatura se realizó sin aumento esencial de precipitaciones, pues no hay signos de una más intensa glaciación durante el máximo de la

glaciación Wisconsin. Sólo hacia fines de la llamada glaciación Pinedale, hace unos 12.100 años, indican las glaciaciones de todos los volcanes altos mexicanos un aumento de precipitaciones. Entre los 12.000 y 10.000 años an-

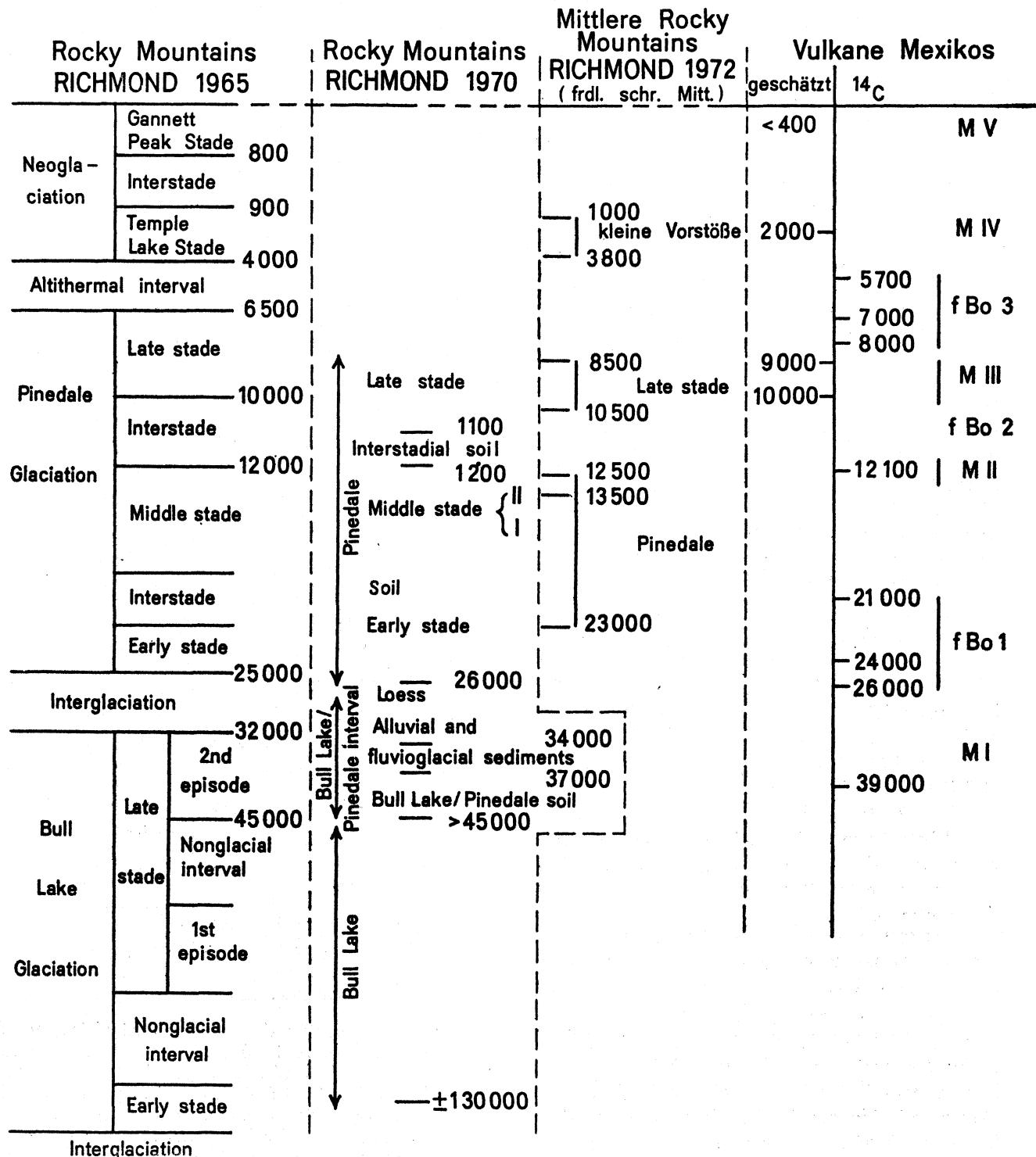


Tabla 2: Correlación de las glaciaciones de las Montañas Rocallosas de Norteamérica con las glaciaciones de los volcanes de México.

tes de nuestros días volvió a reinar un clima más seco y cálido. Siguen otros dos períodos fríos y húmedos entre los 10.000 y 9.000 años antes de nuestros días, separados por un período más cálido y seco. Luego, el clima está caracterizado por condiciones cálidas y secas. Hace unos 2.000 años se registra una fase húmeda y más fría. También desde el siglo XVI al XIX el clima fue más húmedo y/o más frío que hoy.

A continuación trataré de comparar las glaciaciones de los volcanes mexicanos con la glaciación de las Rocky Mountains de Norteamérica (tabla 2). RICHMOND (1965, 1969, 1970, y amistosa comunicación escrita de 1972) da datos cronológicos exactos para las Rocky Mountains. En principio se pueden aceptar las siguientes correlaciones: el avance glacial M1 en los volcanes mexicanos corresponde al Late Stade de la glaciación Bull Lake (RICHMOND 1965), respectivamente al Bull Lake/Pinedale Interval (RICHMOND 1970). El suelo fBo1 puede ponerse en correlación con la Interglaciación (RICHMOND 1965); probablemente llega hasta el comienzo de la glaciación Pinedale, que RICHMOND (1972) data hacia los 23.000 años antes de nuestros días. La glaciación MII corresponde al fin del Middle Stade de la glaciación Pinedale (RICHMOND 1965), o a la etapa de reducción caracterizada por diferentes avances menores de la glaciación Pinedale, que comenzó en el centro y sur de las Rocky Mountains hace unos 13.500 años y que concluyó hace unos 12.000 años (RICHMOND 1972). El suelo fBo2 corresponde al Interstadial, entre 12.000 y 10.000 años antes de nuestros días (RICHMOND 1965), o entre 12.000 y 11.000 (RICHMOND 1970). La glaciación MIII coincide con el Late Stade de la glaciación Pinedale, que caracterizan dos (o tres) pequeños avances de glaciaciones entre 10.500 y 8.500 años antes de nuestros días en las Rocky Mountains centrales (RICHMOND 1972). El suelo fBo3 se formó cuando las Rocky Mountains centrales ya no presentan ninguna glaciación más. Puede ponerse en correlación con el Altithermal interval (RICHMOND 1965), que comienza en las Rocky Mountains centrales y meridionales ya hace unos 8.500 años. La glaciación MIV de México coincide con la Temple Lake Stade de la neoglaciación, mientras que la glaciación MV responde al Gannett Peak Stade.

En esta comparación es interesante la ob-

servación de que durante la glaciación principal de las Rocky Mountains (Wisconsin) los volcanes mexicanos estuvieron más o menos libres de glaciares. Sólo las distintas oscilaciones de clima durante el final de la glaciación Pinedale, así como del Holoceno, se pueden encontrar en México. Sobre la explicación paleoclimática de este hecho se informará en otro lugar (cfr. también SEARS, FOREMAN and CLISBY 1955, LORENZO 1958). Aquí se notará sólo que se corrobora —y por cierto también para el doble continente americano— la hipótesis de un desplazamiento de la zona desértica del hemisferio norte hacia el ecuador durante la última glaciación (figura 3). Lo mismo que muchas investigaciones en el borde sur del Sahara testimonian que allí a las glaciaciones no corresponden períodos pluviales sino secos, los hallazgos morfológicos de México muestran también una época seca durante la última glaciación.

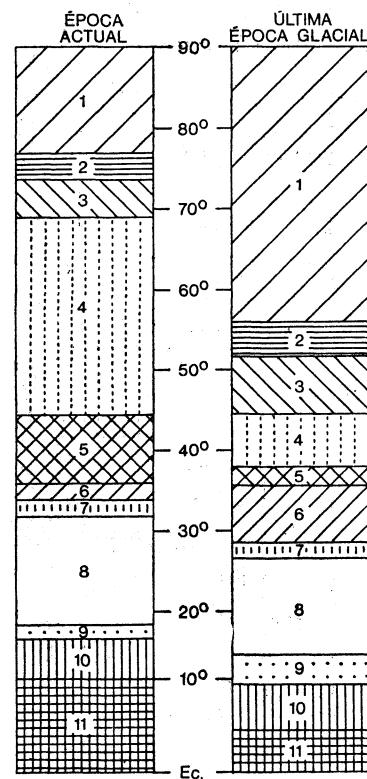


Fig. 3: Migración de las zonas climáticas y la vegetación entre la última época glacial y la época actual, según la longitud de Europa occidental (según DERRUAU 1966, p. 147). Del polo al ecuador, zonas 1: helada; 2: gelivada, 3: de tundra; 4: bosque templado oceánico; 5: maquis mediterráneo; 6: estepa; 7: subdesértica; 8: desértica; 9: subdesértica; 10: tropical herbácea; 11: bosque ecuatorial.

## B I B L I O G R A F I A

DERRUAU, M. 1966

Geomorfología. — Barcelona 1966.

DE TERRA, H., ROMERO, J. & STEWART, T. D. 1949

Tepexpan Man. — Viking Fund Publ. in Anthropology, 11, New York 1949.

HEINE, K. 1972a

Die jungpleistozaenen und holozänen Gletschervorstöße am Malinche-Vulkan, Mexiko. — Eiszeitalter und Gegenwart, 23, Oehringen 1972 (en imprenta).

HEINE, K. 1972b

Glazialmorphologische und tephrochronologische Forschungen an den Vulkanen des zentralmexikanischen Hochlandes. — Z. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, VIII, Innsbruck 1972 (en imprenta)

HEINE, K. & HEIDE-WEISE, H. 1972

Estratigrafía del Pleistoceno Reciente y del Holoceno en el Volcán de La Malinche y Región Circunvecina. — Comunicaciones 5, Puebla, Pue.

HEINE, K. & HEIDE-WEISE, H. 1973

Secuencias de erupciones en el volcán de La Malinche y en la Sierra Nevada (México) durante los últimos 40.000 años. — Comunicaciones 7, Puebla, Pue. (Méx.)

JAEGER, F. 1926

Forschungen über das diluviale Klima in Mexiko. — Pet. Mitt. Erg. H. 190. Gotha 1926.

LORENZO, J. L. 1958

Una hipótesis paleoclimática para la Cuenca de México. — Miscellanea Paul Rivet, p. 579 — 184, México 1958.

LORENZO, J. L. 1969a

Condiciones periglaciares de las altas montañas de México. — Paleoecología, 4, Departamento de Prehistoria, INAH, México 1969.

LORENZO, J. L. 1969b

Minor periglacial phenomena among the high volcanoes of Mexico. — "The periglacial environment: past and present", ed. Troy L. Péwé, Arctic Institute of North America, McGill—Queen's Univ. Press, p. 161 — 175, Montreal 1969.

MOOSER, F. H. 1967

Tefracronología de la Cuenca de México para los últimos treinta mil años. — Boletín de INAH, 30, p. 12 — 15, México 1967.

RICHMOND, G. M. 1965

Glaciation of the Rocky Mountains. — "The Quaternary of the United States", ed. H. E. Wrigth & D. G. Frey, a review volumen for the VII. INQUA—Congress, p. 217 — 230, Princeton N. J. 1965.

RICHMOND, G. M. 1969

Development and stagnation of the last Pleistocene icecap in the Yellowstone Lake Basin, Yellowstone National Park, USA. — Eiszeitalter und Gegenwart, 20, p. 196 — 203, Oehringen 1969.

RICHMOND, G. M. 1970

Comparison of the Quaternary stratigraphy of the Alps and Rocky Mountains. — Quaternary Research, 1, p. 3 — 28, New York & London 1970.

SEARS, P. B., FOREMAN, F. & CLISBY, K. H. 1955

Palynology in Southern North America. Geol. Soc. Amer. Bull., 66, p. 471 — 530, 1955.

WHITE, S. E. 1962a

El Iztaccíhuatl. Acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistocene superior. — Investigaciones 6, INAH, México 1962.

WHITE, S. E. 1962b

Late Pleistocene Glacial Sequence for the West Side of Iztaccíhuatl, Mexico. — Geol. Soc. Amer. Bull., 73, p. 935 — 958, 1962.