

EDUARDO MARTÍNEZ DE PISÓN\*, PEDRO NICOLÁS MARTÍNEZ\* Y JUAN MARTÍNEZ GOYTRE\*\*

\* Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid

\*\* Geólogo. Geología Aplicada y Medio Ambiente, S.L., Madrid

## *Observaciones sobre la morfología glaciar del alto valle de Kaphe. Macizo de los Dhaulagiri, Himalaya del Nepal*

### RESUMEN

La especial ubicación del alto Kaphe, inserto en el sector occidental del macizo de los Dhaulagiri, permite la observación de los caracteres morfológicos del área interna y alta del macizo. El valle se ha labrado en dependencia de un neto control morfotectónico —tectónica que incluso hoy se manifiesta parcialmente activa— y de un vigoroso modelado glaciar, cuya evolución más reciente se presenta completa y coherente con la ya reconocida por nosotros en otros ámbitos del Himalaya.

### RÉSUMÉ

*Observations sur la morphologie glaciaire de la haute vallée de Kaphe. Massif des Dhaulagiri. Himalaya du Nepal.*— La particulière situation de la haute Kaphe, inscrite dans le secteur occidental du massif des Dhaulagiri, permet d'observer les particularités morphologiques de la surface interne et haute du massif. La vallée a été sculptée en dépendance d'un clair contrôle morphotectonique (tectonique qui se manifeste encore en partie active dans l'actualité) et d'un fort modelé glaciar, dont l'évolution plus récente se présente complète et

cohérente avec celle que nous avons déjà repéré dans d'autres zones de l'Himalaya.

### ABSTRACT

*Glaciomorphological observations in the Kaphe high valley. Dhaulagiri Massif. Nepal Himalaya.*— The high Kaphe Khola valley, included in the western part of the Dhaulagiri massif, allows the study of interesting morphological features of the high elevation portion of the region. The valley itself has a clear morphotectonic control, altogether with many evidences of glacier morphology, which is in accordance with that of other regions of the Himalayas studied by us. Recent tectonic activity, in the form of normal faults roughly trending E-W, is very obvious in the high part of the valley.

### Palabras clave / Mots clé / Key words

Himalaya, Kaphe Khola, morfotectónica, morfología glaciar.

Himalaya, Kaphe Khola, morphotéctonique, morphologie glaciaire.

Himalaya, Kaphe Khola, morphotectonic, glacier morphology.

### I INTRODUCCIÓN

**E**L ALTO Kaphe es un valle de características formas glaciares y, en parte, aún ocupado por el hielo, abierto en la abrupta vertiente meridional del sector suroeste del macizo de los Dhaulagiri, primero de forma casi paralela y, luego, transversal a las principales alineaciones orográficas, que coinciden con las estructurales de esta comarca del Himalaya.

Los datos geomorfológicos que aquí se exponen se obtuvieron en el curso de una expedición al pico Gurja Himal, realizada entre fines de agosto y comienzos de octubre de 1996. Este pico cierra el alto circo Sureste del valle interno de Kaphe con una altitud de 7.193 metros y desciende abruptamente al Sur, delimitando el Alto Himalaya en un relieve espectacular.

Nuestras observaciones cubrieron el tramo superior del Kaphe Khola entre la altitud de dicha cumbre —que

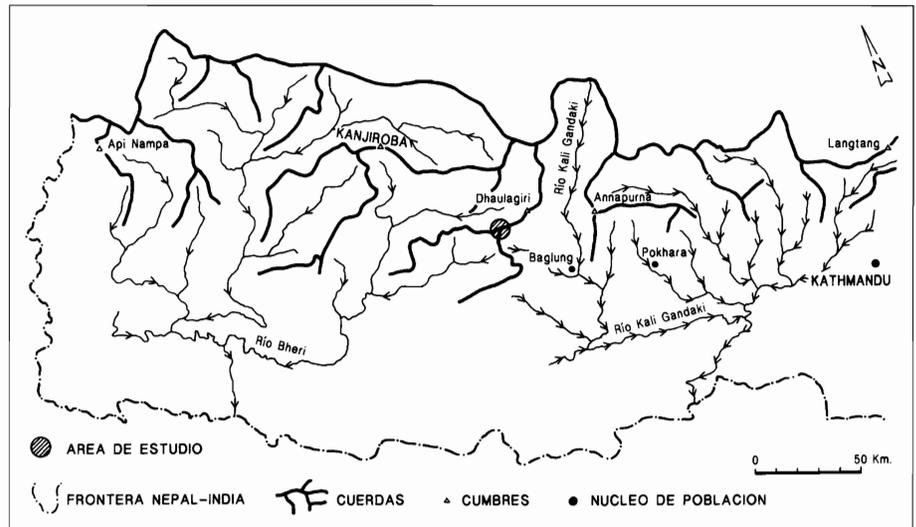


FIG. 1. Interfluvio del macizo de los Dhaulagiri entre las grandes cuencas fluviales de los ríos Bheri y Kali Gandaki.

uno de los autores de este trabajo, Pedro Nicolás, logró ascender el día 20 de septiembre— y los 3.900 m del fondo del valle, bajo uno de sus frentes morrénicos bien caracterizados. Por comparación con otros sectores ya estudiados, está claro que los particulares caracteres geográficos de este lugar concreto, aunque marcados, no hacen de él un caso singular, sino que permiten la observación, por un lado, de interesantes claves morfoestructurales explicativas de los macizos himaláicos y, por otro, de testimonios de una evolución morfológica reciente, que es en buena medida generalizable. También se hicieron reconocimientos complementarios en los vecinos e interesantes valles de Thar Khola y Dhora Khola. Agradecemos a la Universidad Autónoma de Madrid la ayuda prestada para la realización del trabajo.

## II

### DATOS SOBRE LA EXPLORACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO REAL DEL KAPHE KHOLA

El macizo de los Dhaulagiri está separado al Este del vecino conjunto de los Annapurnas, con el que tiene una similitud estructural marcada, por uno de los mayores tajos que segmentan de Norte a Sur la cadena del Himalaya, la depresión tectónica transversal drenada por el Kali Gandaki, que, a unos 10 km al Este del pico principal (8.167 m), corre a sólo 2.550 m de altitud. Al Oeste se interrumpe también el macizo, abriéndose la rama más oriental de la amplia cuenca del Bheri, con puntos situados a unos 20 km de sus altas cumbres con altitudes de 2.250 m, tras mantenerse esas cimas, a lo largo de 30

kilómetros, inicialmente por encima de los 8.000 y luego de los 7.000 metros.

Hacen, pues, los Dhaulagiri de interfluvio realmente colosal entre los altos sectores, aún de cordillera, de estos dos ramificados y extensos sistemas fluviales, que ocupan todo el Oeste y centro del Nepal desde el cordal del Lipu Dhara (Api, 7.132 m) hasta el Langtang Ri (7.232 m) y el Shisha Pagma (8.013 m), o desde cerca de la frontera occidental del país a la cubeta de Kathmandu (Figs. 1 y 2).

Realmente, son sólo tres los principales sistemas fluviales que avenan toda la vertiente Sur del Himalaya nepalí: la tercera gran cuenca, la del Sun Kosi, dreña las aguas meridionales que proceden del ámbito oriental de las grandes montañas —como el Everest (8.848 m), el Makalu (8.463 m) y el Kangchenjunga (8.586 m)— y su divisoria con la del Kali Gandaki se sitúa en los cordales del Langtang.

El punto de mayor proximidad entre las cabeceras de dos de los ramales, occidental y oriental respectivamente, de ambos sistemas fluviales centro-occidentales (Kali Gandaki y Bheri) en el macizo de los Dhaulagiri se sitúa justamente en su extremo suroeste, en las proximidades del Gurja Himal. La definición cartográfica de detalle de esta importante divisoria presenta, no obstante, marcadas diferencias según los mapas en este lugar. Como ello afecta directamente a la orografía e hidrografía de nuestro objeto de estudio, conviene aclarar este problema antes de entrar en los aspectos morfológicos.

Uno de los mapas aún más difundidos de este sector del Himalaya y que, por ello, ha servido de base a otros, topográficos o temáticos, es el publicado con datos de

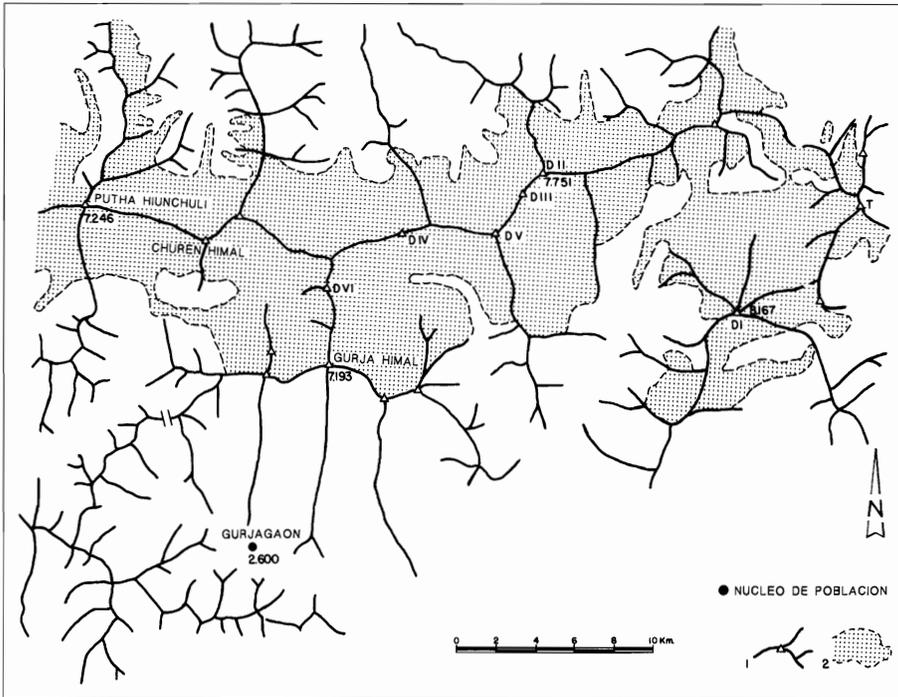


FIG. 2. Macizo de los Dhaulagiri.  
1: cordales y cumbres principales.  
2: Área de dominio glaciar. D I-VI: Dhaulagiris (8.167, 7.751, 7.715, 7.661, 7.618 y 7.268 m). GH: Gurja Himal. CH: Churen Himal (7.371 m). PH: Putha Hiunchuli. Núcleo de población: G.: Gurjagaon.

1954 —fecha temprana que explica posibles errores, dada la tardía exploración del área— por el Army Map Service de Washington, a escala 1:250.000 y curvas de nivel cada 75 m (*India-Pakistan*, series U 502, edición 1-AMS).

La hoja de Pokhara (Nepal) (NH 44-16) de este mapa incluye el área de los picos Putha Hiunchuli, Churen Himal, Dhaulagiri VI, Gurja Himal (todos superiores a los 7.000 m) y Ghustung (superior a 6.000), que cierran hacia el Sur del macizo los circos de cabecera del Kaphe Khola y alojan a sus respectivos glaciares (ver esquema en Fig. 3).

La divisoria entre ambos sistemas se establece, según el mapa, inmediatamente al Oeste del río Dhora Khola (o Murigurja Gad), que corre hacia el Este, es decir, hacia el Kali Gandaki, por el valle de Gurjakhani (o Gurjagaon), mediante un delgado cordón montañoso Norte-Sur, en interfluvio de relieve bien definido. Ello aprieta, a occidente y en la misma dirección, la forma del inmediato valle alto del Ghustung Khola, que vierte en claro contraste hacia el Oeste a la cuenca del Bheri.

Aparecen, sin embargo, dos elementos extraños en este dibujo: por un lado, la estrecha forma del alto valle del río Ghustung y, por otro, que éste no tenga su cabecera bajo los picos del mismo nombre, que están situados relativamente alejados al Este del Kaphe, en el mismo cordal y en vecindad del Gurja Himal, en la cuenca

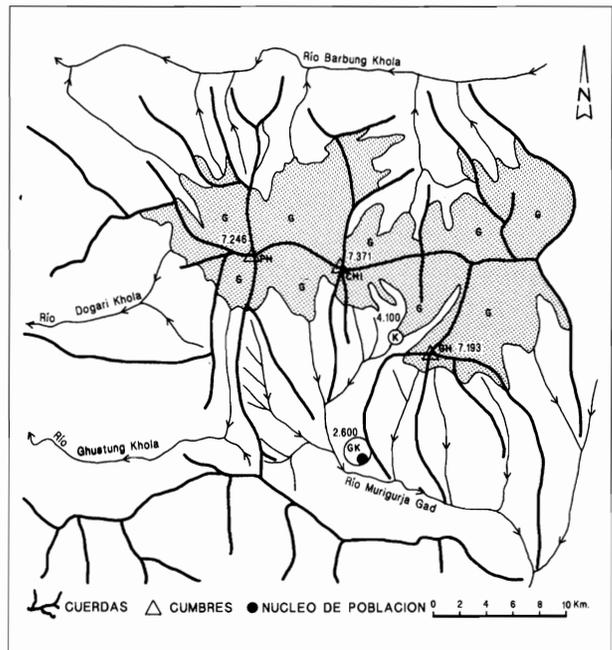


FIG. 3. Esquema de la orografía e hidrografía del alto Kaphe, según el mapa del Army Map Service de Washington; datos de 1954. Interpretación del mapa original: Picos: PH: Putha Hiunchuli (7.246 m). CH: Churen Himal (7.371 m). GH: Gurja Himal (7.193 m). Glaciares (G): K: Enlace entre el Kaphe Glacier y el río Kaphe Khola (4.100 m). Ríos: GK: río Ghustung Khola. MG: río Murigurja Gad o Dhora Khola. DGK: río Dogari Khola. BK: río Barbung Khola. Poblaciones: GK: Gurjagaon o Gurjakhani (2.600 m).



FIG. 4. Orografía e hidrografía corregidas del alto Kaphe, según el mapa de Yosimi Yakushi de 1971. GK: Gurjagaon o Gurjakhani. KG: Kaphe Glacier. Kk: Kaphe Khola.

contraria. En efecto, según esta representación cartográfica, el Kaphe Khola se abriría al Sureste y alimentaría al Dhora Khola, hacia el Kali Gandaki; con ello, el acceso al área montañosa desde Gurjagaon remontaría simplemente tal valle.

Más tarde, la expedición japonesa al Gurja Himal de 1969 corrigió definitivamente la disposición de esta divisoria, variando la dirección del Kaphe Khola hacia el Suroeste y mostrando su pertenencia a la occidental cuenca del Bheri (Fig. 4), con un Dhora Khola independiente, cuya cabecera polilobulada se emplaza al Sur del Ghustung (6.465 m) y del Gurja Himal (7.193 m). La cartografía resultante se refiere, por un lado, al macizo completo del Dhaulagiri Himal a escala 1:100.000, con cordales, glaciares, ríos y escarpes rocosos y, por otro,

también a la concreta área alta del Kaphe Khola, a 1:50.000, con curvas de nivel cada 75 metros, salvo en los grandes escarpes rocosos. Este mapa, aún vigente, es el que hemos utilizado como base topográfica en nuestro trabajo (YAKUSHI, 1970 y 1971).

Así surgía también en la cartografía un formidable interfluvio entre el Kaphe y el Dhora Khola, inexistente

FIG. 5. Perfil topográfico del interfluvio del Budzunge Bara, a 4.500 m de altitud, entre el Dhora Khola (2.387 m) y el pico Putha Hinchuli (7.246 m). El Campamento Base Inferior se encuentra a 4.100 m.

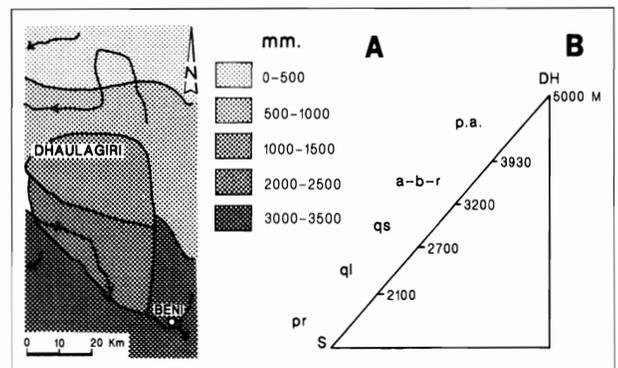
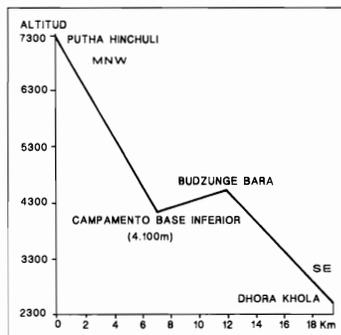


FIG. 6. A: Escalonomientos y contrastes de pluviosidad a Sur y Norte de los Dhaulagiri. (Según Dobremez y Jest, 1971).

B: Escalonomiento de la vegetación al Sur de los Dhaulagiri. (Según Dobremez y Jest, 1971). p.a.: prados alpinos con edelweiss. a-b-r: bosque templado y matorral de montaña con Abies, Betula y Rhododendron. qs: robleal higrófilo de *Quercus semecarpipholia*. ql: robleal mesófilo de *Quercus lanuginosa*. pr: bosque subtropical seco con *Pinus roxburgii*.

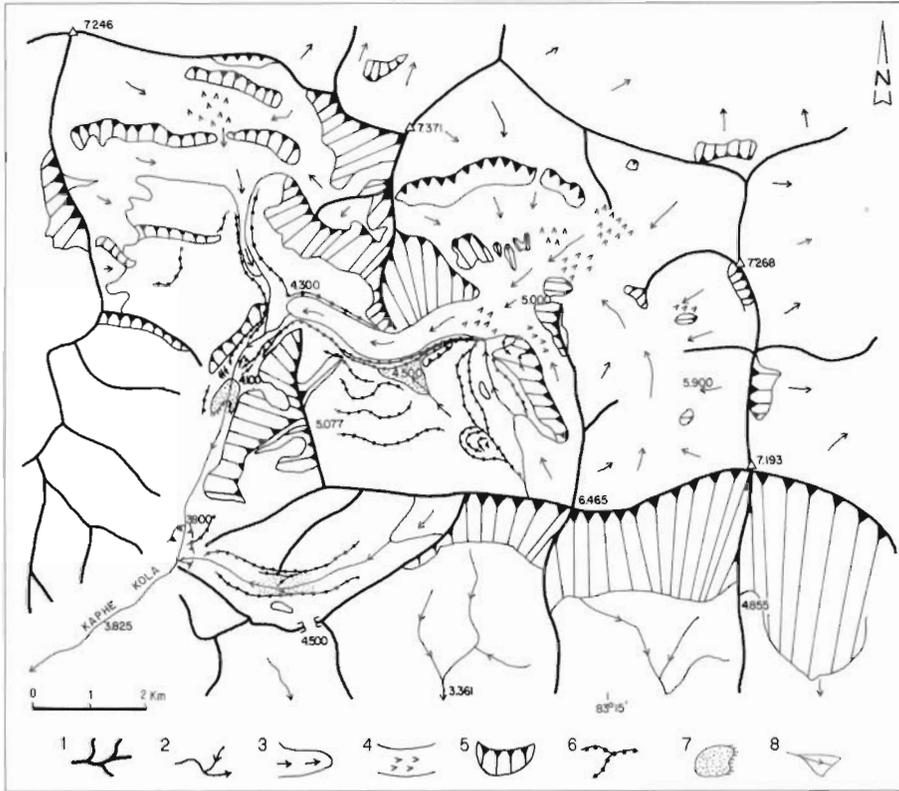


FIG. 7. Esquema de los circos del Kaphe Khola (según la base topográfica de Yakushi, 1970). 1: cordales. 2: ríos. 3: glaciares. 4: seracs. 5: escarpes rocosos. 6: principales morrenas. 7: terrazas proglaciares. 8: cono torrencial.

en el mapa anteriormente comentado, aunque nunca había sido desconocido para los pastores de Gurjagaon: el cordal del Budzunge Bara, con su paso más bajo a 4.500 metros de altitud y un marcado desnivel de alrededor de 2.000 m sobre su inmediato pie suroriental (Fig. 5). En consecuencia, también desaparecía el cordal divisorio entre las dos grandes cuencas, situado en aquel mapa al Sur del Putha Hiunchuli. El Ghustung Khola se nutre, así también, lógicamente, a través del Kaphe, de glaciares que nacen bajo los picos de ese nombre, mientras el opuesto valle de Gurjagaon, independiente del Kaphe, queda cerrado por los desmesurados muros meridionales del macizo (4.600 m de desnivel en 10 km de recorrido horizontal) y sus espolones (Figs. 4, 5, 7 y 8). La varia-

ción, pues, entre los dos mapas, no sólo en la dirección de apertura del alto valle de Kaphe, sino en su disposición y forma, es también sustancial.

### III

#### RASGOS AMBIENTALES DEL MACIZO

Esta muralla montañosa meridional de los Dhaulagiri provoca un sensible incremento de las precipitaciones con la altitud en la vertiente sur, de clara influencia

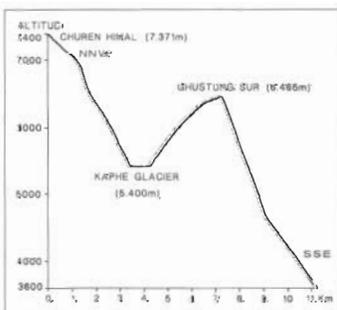


FIG. 8. Perfil topográfico desde el Churen Himal (7.371 m), hasta el pie meridional del Ghustung Sur, a 3.650 m de altitud. KG: valle del Kaphe Glaciera a 5.400 m alt. Gs: Ghustung Sur, 6.465 m al.



FIG. 9. Pared Sur del Gurja Himal (7.193 m), sobre Gurjagaon (2.600 m).

monzónica. Dobremez y Jest estiman que se pasaría de los 1.000-1.500 mm del área meridional de Beni (817 m de altitud en este núcleo, con cumbres superiores a los 3.000 m), a los 2.000-2.500 mm de los valles del Myagdi y del Dhora Khola (entre 1.100 y unos 3.000 m de altitud), y a los 3.000-3.500 mm de la alta ladera Sur y cumbres del macizo de los Dhaulagiri. Tal pluviosidad contrastaría extraordinariamente con la de la vertiente septentrional de la alta cadena, al descender en ella bruscamente a menos de 1.000 mm en el valle del Barbung Khola —que la delimita rígidamente de Este a Oeste, con altitudes superiores a los 2.000 m— e incluso de los 500 mm, en los aún altos valles y cordales norteños de Phoksumdo<sup>1</sup> (Fig. 6-A) (DOBREMEZ y JEST, 1971).

En consecuencia, el escalonamiento de la vegetación en la ladera Sur de los Dhaulagiri es marcado y abarca un amplio desarrollo de pisos, al tiempo que es llamativo su contraste con las formaciones septentrionales, especialmente con las estépicas de los valles (Fig. 6-B).

Según los mismos autores, esos pisos meridionales estarían especialmente caracterizados por la existencia, primero, en el área inferior, de un ámbito de valle de bosques subtropicales secos con *Pinus roxburgii* (hasta los 2.100 m de altitud), junto a manchas de bosque subtropical húmedo y formaciones de ribera con alisos. Entre esa cota y los 2.700 m, o en los valles altos, es especialmente significativo el robledal mesófilo de *Quercus lanuginosa* con rododendro propio de este medio, seguido por el robledal higrófilo de *Quercus semecarpipholia* y arces hasta los 3.200 m; por encima se establece el espléndido bosque templado de montaña con *Abies*, *Betula* y *Rhododendron*, que alcanza los 3.930 m, y el piso, finalmente, de prados alpinos con abundantes edelweiss hasta los 5.000 m, los glaciares y los roquedos aislados y fuertemente gelivados de la alta montaña. Es en este ámbito de prados y lenguas glaciares

(4.000-5.000 m) en el que se sitúa la parte más esencial de nuestro objeto de estudio.

#### IV CARACTERES MORFOESTRUCTURALES DEL ALTO KAPHE

##### 1. LA DISIMETRÍA EXTERNA Y LA DIVERGENCIA INTERNA DEL MACIZO

En el macizo de los Dhaulagiri, aunque queda interrumpida su continuidad geológica y morfológica hacia el Este por la fosa tectónica del Kali Gandaki, parecen reproducirse los mismos tipos de rasgos estructurales que en el de los Annapurnas.

Tales rasgos básicos son en líneas generales bien conocidos desde hace tiempo, pues algunos han sido descritos desde los años sesenta: *Main Central Thrust* (MCT), disposición en bandas estructurales de la cordillera, pliegues del Dhaulagiri, secuencia estratigráfica de la región —base cristalina precámbrica, calcoesquistos, calizas, etc paleozoicos, diques de pegmatita...— (GANSSEY, 1964, ver fig. 10-D). Estos datos se detallan ya en los setenta (dorsos septentrionales plegados por BORDET, COLCHEN y LE FORT, 1975, ver fig. 10-C), y otros hechos, establecidos más tardíamente, por ejemplo las fallas mayores transversales del Kali Gandaki, aparecen actualmente incluso en recientes mapas de síntesis, como el geológico del Nepal, a escala 1:1.000.000 (DEPARTMENT OF MINES & GEOLOGY, 1994).

Ambos macizos del Annapurna y del Dhaulagiri presentan un marcado frente morfológico meridional con vigoroso desnivel sobre el Himalaya medio, derivado de su Gran Cabalgamiento Central (MCT)<sup>2</sup>, a partir del cual se van superponiendo materiales metamórficos precámbricos y paleozoicos metasedimentarios y sedimentarios, ya en su cumbre (ver fig. 10-A y B). Así el aspecto frontal e interno del área de Kaphe es totalmente bandado —aunque distorsionado por pliegues locales— y la litología dominante incrementa ese rasgo hasta dar al macizo un carácter de montaña de losas.

En contraste, en sus dorsos se suceden materiales paleozoicos y mesozoicos fuertemente plegados, con charnelas inclinadas y tumbadas hacia el Norte, que incluso

<sup>1</sup> Cercanos al sector occidental de los Dhaulagiri se encuentran el Parque Nacional Shey Phoksumdo (3.555 km<sup>2</sup>) —el mayor del Nepal— y la reserva de caza de Dhorpatan (1.325 km<sup>2</sup>), clasificadas así, más que por sus valores geográficos naturales —no comparables a los del Alto Himalaya—, por sus caracteres estrictamente faunísticos, en consonancia con las tendencias actuales más generalizadas en conservación (oso, ghoral, leopardo de las nieves, entre otras especies, en el primero, y oso, leopardo, ghoral, etc, en la segunda). No obstante, el Sagarmatha National Park (1.148 km<sup>2</sup>), el Makalu-Barun National Park and Conservation Area (2.330 km<sup>2</sup>) y el Annapurna Conservation Area Project (en el que se ha propuesto una amplia superficie protegida) se sitúan en la alta cordillera del Nepal. En Phoksumdo se desarrolla parte del conocido relato de las andanzas en 1973 de P. Matthiessen por este sector apartado del Himalaya, que el escritor siente constituido por «paisajes sin pasado ni futuro» (*El leopardo de las nieves*, Madrid, Siruela, 1992).

<sup>2</sup> Hemos descrito y dado las referencias sobre estos elementos estructurales del Himalaya en anteriores trabajos, a los que aquí nos remitimos, por ejemplo MARTÍNEZ DE PISÓN, LÓPEZ y NICOLÁS, 1989.

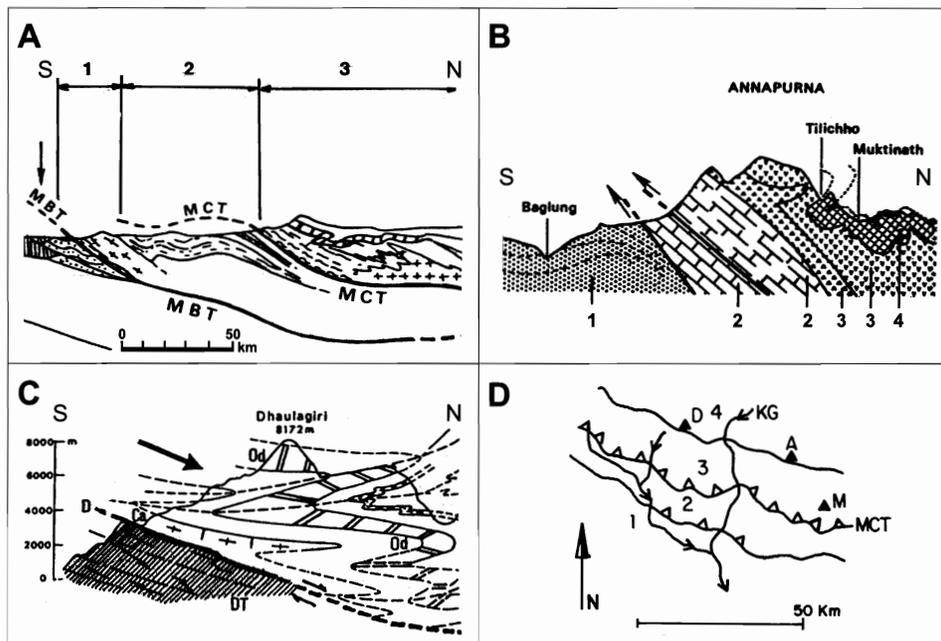


FIG. 10. A: Corte esquemático clásico de la cadena himaláica en el sector del Annapurna. (Según Bordet et al., 1975). 1: Cadena de borde. 2: Nepal medio. 3: Alto Himalaya. MBT: Gran Cabalgamiento Externo. MCT: Gran Cabalgamiento Central.

B: Corte simplificado del frente meridional cabalgante del Annapurna. (Según Dobremez y Jest, 1971). 1: materiales antiguos del Nepal medio. 2: escamas cabalgantes del Alto Himalaya. 3: paleozoico plegado de la «cobertera tibetana». 4. mesozoico plegado de la «cobertera tibetana».

C: Corte del Dhaulagiri. El sector superior del corte, correspondiente a la cobertera plegada cámbrico (Ca)-ordovícica (Od), se habría despla-

zado hacia el Norte a partir de la superficie de despegue D. (Según Le Fort y Pêcher, tomado de Debelmas y Mascle, 1994).

D: Esquema de la disposición del MCT o Gran Cabalgamiento Central al Sur del Dhaulagiri y el Annapurna. D: Dhaulagiri (8.167 m). A: Annapurna (8.091 m). M: Machapuchare (6.993 m). KG: Kali Gandaki. 1: Paleozoico Antiguo. 2 y 3: Precámbrico. 4: Precámbrico y Paleozoico. (Según Gansser, 1964).

se superponen y cabalgan (fig. 10-C y C', BORDET et al., 1975; DEBELMAS et al., 1994). Tanto en el Dhaulagiri como en el Annapurna, los trabajos de Le Fort y Pêcher indican además la existencia de un desequilibrio de los materiales sedimentarios superiores de estos bloques sobre su sustrato metamórfico, lo que se traduciría en un desplazamiento por gravedad hacia el Norte de esa cobertera distorsionada del Alto Himalaya a partir de una superficie de despegue superior al MCT (fig. 10-C'). Ello se traduciría en una divergencia de esfuerzos que daría lugar a los pliegues volcados al Norte, a un denudamiento tectónico local de la llamada Losa del Tíbet (el sustrato precámbrico-cámbrico) y a fallas normales y de desgarre en el plano de despegue (DEBELMAS et al., 1994).

## 2. UN RELIEVE INTERNO EN MORFOESTRUCTURA MONOCLINAL

Sobre esta base se abre un interesante problema de interpretación morfoestructural del valle del alto Kaphe, inserto longitudinalmente, como hemos visto, en el macizo de los Dhaulagiri.

En primer lugar, el sector occidental de tal macizo presenta una gran pared meridional continua, cuyos ba-

rancos basales alcanzan el valle de Gurjagaon a altitudes de sólo 2.300 m (figs. 2, 4, 5, 8, 9 y 17-A). En el sector inferior de ese gran escarpe rocoso sitúan todos los autores la posición local del MCT, esencialmente activo en el Mioceno, aunque en puntos de características particulares del Himalaya se ha postulado cierta continuidad tectónica en él, incluso en la actualidad (por ejemplo, en el Nanga Parbat, MARTÍNEZ DE PISÓN, 1991, y en el mismo Dhaulagiri, KIZAKI, 1995. Ver fig. 17).

En segundo lugar, tras este gran escarpe inicial, el sector occidental del macizo se escalona hacia el Norte en un sistema de gradas estructurales, que constituye lo esencial del relieve. Tales gradas siguen la dominante disposición monoclinial con buzamiento al Norte, aquí adoptada de modo generalizado por la secuencia completa de bandas basales de los materiales metamórficos y de estratificación del sector culminante.

Esta morfología alternante de frentes y dorsos es visible en todas las laderas meridionales de los picos superiores a siete mil metros de altitud del cordal más septentrional —Dhaulagiri VI, Churen Himal y Putha Hiunchuli (figs. 11-A, 11 bis y 13)—, y a ella se adapta el glaciario mediante aparatos colgados en peldaños, que salvan los umbrales rocosos en cascadas de seracs y

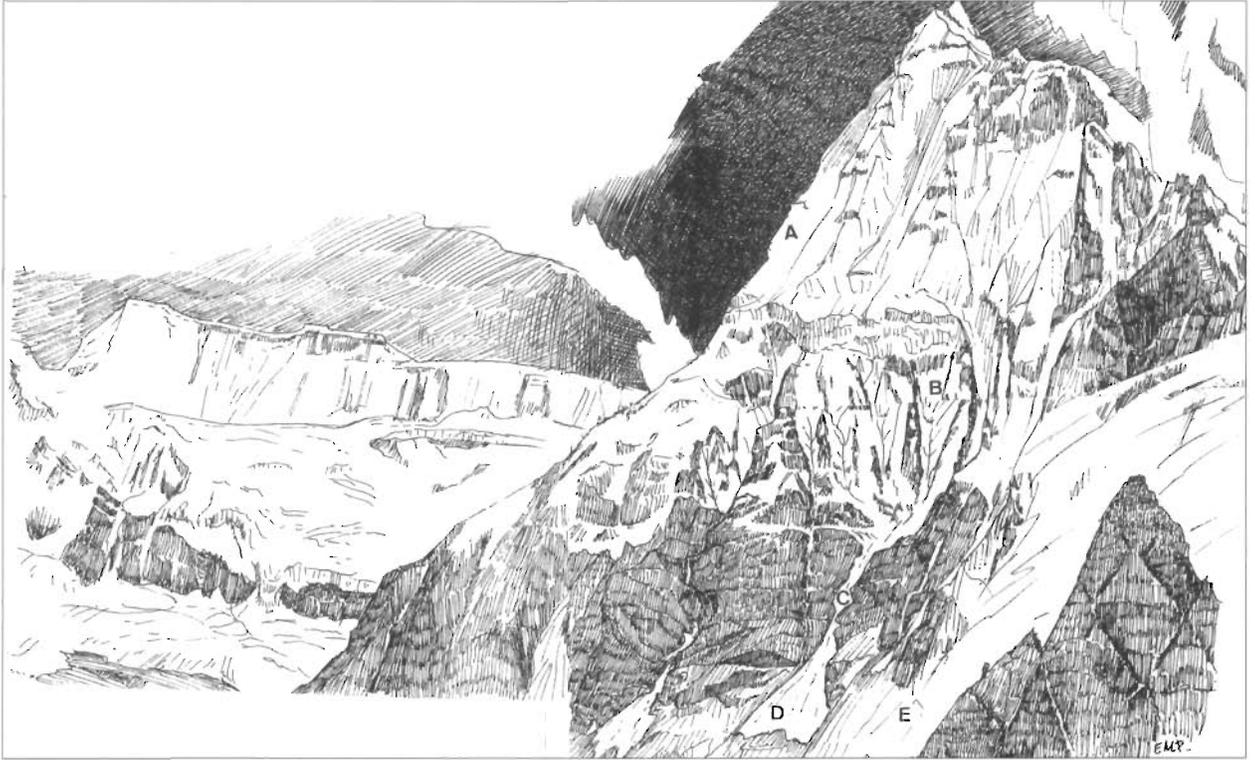


FIG. 11. Relieves montañosos del alto Kaphe. Sector izquierdo de la figura: disposición de conjunto del roquedo del Putha Hiunchuli, adaptado a una estructura monoclinal, que da lugar a su morfología en frentes, dorsos y escalones con peldaños y escarpes, vista desde el Sur a 4.450 m de altitud (complementar con figura 11-bis). Sector inferior derecho de la figura: geometría interna fractaliforme de la pared del espolón meridional del Churen Himal, con formas derivadas. Sector central de la figura: formas escalonadas en el escarpe meridional del Churen Himal, entre 6.300 y 4.450 metros de altitud (A: Glaciar de cumbre y ladera. B: Canales de recepción de aludes de hielo y nieve. C: Canales de aludes y pared rocosa inferior. D: Conos basales de aludes de hielo y nieve. E: Talud de derrubios con niveles de hielo residual).

canales de aludes. La adaptación del modelado glaciar pleistoceno y holoceno a esta trama estructural parece evidentemente la causa generalizable de tal relieve local en la alta montaña, aunque en dependencia del labrado coetáneo del tramo del alto valle de Kaphe, que podría tener, como luego veremos, otro significado.

En tercer lugar, de modo subordinado, en los escarpes interiores del macizo aparecen relieves rocosos dentados —como en el espolón Sur del Churen Himal—, cuyas paredes meridionales están surcadas por fracturas que se cruzan en rombos. Tales redes definen la disposición tanto de las formas lineales de erosión que siguen los planos de debilidad del roquedo —las canales de aludes y gelifracción—, como las formas angulares internas de la pared y externas de picos y cresterías, es-cindidos a partir de aquellos planos (fig. 11-B).

Esta típica geometría de las fracturas tiene aquí unas repercusiones sólo secundarias en el relieve, mientras en otros lugares aparece como determinante de las for-

mas montañosas dominantes (MARTÍNEZ DE PISÓN, 1993). Así, de manera más marcada, pero dentro del mismo estilo morfotectónico, el próximo pico de Machapuchare (6.993 m) (ver fig. 10-D y 12) posee una llamativa forma dentada o, como su nombre indica, en «cola de pez». Su control se establece por el seguimiento preferente, por parte de la erosión, de la visible, repetitiva y jerarquizada base geométrica de su red de líneas estructurales de debilidad (A, B, C y D en fig. 11-C), pero especialmente obediente a los cruces angulares de su sistema de rombos.

### 3. LA INTERPRETACIÓN DEL VALLE

La observación de las directrices preferentes de organización del relieve en el alto Kaphe permite distinguir, en principio, unas alineaciones básicas E-O y otras N-S (ver figs. 4 y 7).

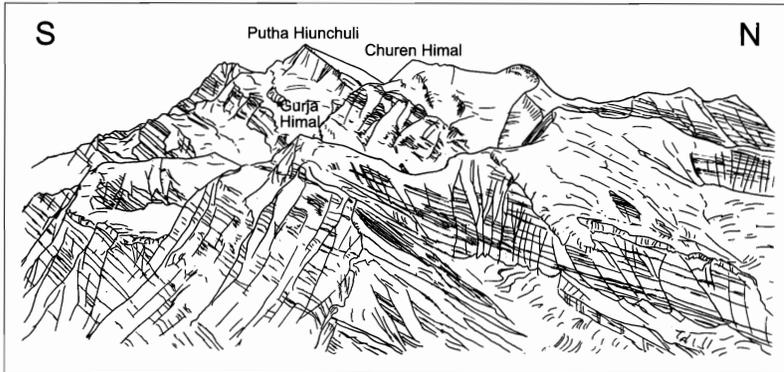


FIG. 11-bis. La imagen aérea oblicua del sector occidental del macizo de los Dhaulagiri muestra una neta morfoestructura monoclin, con sus frentes al Sur y dorsos al Norte. Esquema realizado a partir de foto tomada por K. Ohmori en 1991, a 7.800 m de altitud y en dirección O, publicada en su libro *Over the Himalaya*, Londres, Diadem, 1994, n° 44.

Las primeras se relacionan con los principales cordales, centrados en este sector por los picos Churen Himal (7.371 m), al Norte —donde se extienden hacia el Este— y Gurja Himal (7.193 m), al Sur. También, lógicamente, con la disposición del escarpe meridional y el valle basal del Dhora Khola —aproximadamente con la del Thar Khola—, con la del valle del límite norteño del Barbung Khola y con la dirección dominante del valle interno del alto Kaphe.

Tanto la disposición principal del macizo, como la de sus límites en sentido longitudinal obedecen a la de las grandes morfoestructuras en bandas de la cordillera y la del MCT. Otros relieves menores muestran igualmente esa directriz preferente, algunos asociados al escalonamiento derivado del sistema monoclin (circos del Putha Hiunchuli, del Churen Himal), cuyas fajas se disponen igualmente de E a O.

Esta agrupación alineada de relieves conecta entre sí o está escindida por otra casi perpendicular a ella: cordales como el N-S del Dhaulagiri-vi (7.268 m), el del Ghustung, los meridionales del Churen Himal, del Putha Hiunchuli y del Gurja Himal, los septentrionales de la cadena, y sus profundos valles intermedios.

Como vemos, esta marcada directriz transversal, que segmenta el Himalaya en sus mayores versiones, compartimenta también internamente el macizo de los Dhaulagiri. Está especialmente marcada al Este en el Myagdi Khola —con giro al NNE, como las fallas del Kali Gandaki—, pero también es perceptible con claridad al Oeste, en el tramo de salida del Kaphe Khola, en la artesa ocupada por la lengua actual del glaciar del Putha Hiunchuli y en las vallonadas a ambos lados del cordal del Ghustung, de modo señalado en el circo compuesto occidental del Gurja Himal y el Dhaulagiri-vi, actualmente ocupado en buena parte por un extenso rellano glaciar a unos 6.000 m de altitud.

De esta manera, el sector del alto Kaphe está abierto en el interior del macizo de modo quebrado, según estas dos principales alineaciones estructurales derivadas de la combinación entre el bandeado general himaláico, el sistema monoclin del macizo y las fracturas transversales. Pero otros datos de detalle hacen algo menos sencilla la adecuación entre formas y estructuras.

Todo parece indicar, pues, una adaptación morfoestructural en la ubicación interna y en el trazado longitudinal del alto valle del Kaphe (figs. 7 y 13). Las laderas orientadas al Sur y al Norte del valle presentan la disimetría propia de este tipo de relieves en estructura monoclin, frente y dorso respectivamente, aunque aquí está acentuada por un exagerado escarpe del primero bajo el Churen Himal —2.250 m de desnivel en 3 km de recorrido horizontal— (figs. 11-B y C), que en buena parte es una pared tajada, lo que hace pensar en una

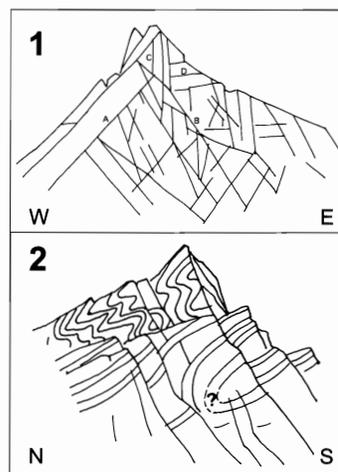


FIG. 12. 1: Ejemplo de forma de pico himaláico en horn muy característico. La forma del pico Machapuchare, (6.993 m, visto desde el Sur), próximo al área de estudio, está determinada por su red fractal interna de alineaciones estructurales. 2: Disposición complementaria N-S del frente y el dorso del bloque cabalgante —inmediato sobre el MCT— del mismo pico y de su conjunto apilado de pliegues tumbados, según esquema de Mattauer (1989).



FIG. 13. Forma del alto valle de Kaphe a 4.450 m de altitud. El valle se interna longitudinalmente en el macizo con dirección Este-Oeste, inscrito de modo pseudosubsecuente en la morfoestructura general monoclinial —con buzamiento Norte— de éste. Al fondo, el frente del Dhaulagiri VI (7.268 m) conforma el escarpe de uno de los peldaños elevados de esta disposición morfoestructural. Complementar con la figura 11-bis.

morfología también localmente adaptada a importantes fracturas. Por otra parte, otros altos valles himaláyicos también se abren longitudinalmente en los núcleos de los respectivos sectores del manto, según la estructura de éstos, como el superior de Khumbu o el de Rongbuk oriental, en el Everest, por ejemplo (MARTÍNEZ DE PISÓN, LÓPEZ Y NICOLÁS, 1989 y MARTÍNEZ DE PISÓN Y LÓPEZ, 1989).

Pero, además, este trazado del valle presenta unos claros quiebros internos. En ese tramo superior, desde los 5.000 m hasta los 4.300 m de altitud, el fondo del alto valle de Kaphe está ocupado por la lengua glaciaria actual (fig. 13), adaptada a tales torsiones, visibles en la cartografía (fig. 7). Se distinguen tres directrices preferentes en el trazado del alto Kaphe, algunas de las cuales se prolongan y reproducen, menos densamente, en las laderas, circos y afluentes inmediatos (NE, NO y NNE, respectivamente a, b y c en fig. 16-A y C) e incluso en el curso inmediatamente inferior del Kaphe, lo que parece indicar una adaptación a un sistema estructural distinto al monoclinial, es decir, a una red de fracturas. En esta red dominan, en el sector medio, las alineaciones NE-SO ( $50^{\circ}$ - $60^{\circ}$  E), cruzadas con las NO-SE ( $120^{\circ}$  E), y, en los extremos, las NNE-SSO ( $20^{\circ}$  E) (circo colgado del Gurja Himal al Este y valle de salida del macizo del Kaphe Khola al Oeste). Podría constituir, por tanto, una red relativamente generalizable.

La explotación erosiva preferente del concreto canal glaciario del alto Kaphe podría considerarse de diversos modos: por ejemplo, como una adaptación azarosa a dicha red o bien derivada sólo de la concentración de los procesos de modelado glaciario en un tramo cualquiera de tal malla, por razones exclusivas de geodinámica externa, o condicionada por la posición previa del valle de directriz NNE de salida del Kaphe Khola, que drenaría ya el interior del macizo. Sin embargo, hay datos que permiten pensar en una apertura de más directo e interesante control estructural, acentuado localmente en la posición de la banda ocupada por el alto valle, aunque en lógica dependencia del desarrollo del resto del sistema morfoglaciario.

#### 4. FALLAS Y VALLE

En los llanos laterales de obturación glaciaria situados a unos 4.430-4.500 m de altitud, al Sur de la lengua actual del alto Kaphe, y en la ladera inmediata hasta los 4.750 m, se concentra cerca de una decena de fallas normales de pequeño salto con cierto componente transcurrente, que surcan el sector y se prolongan escalonadamente hacia el Oeste por la vertiente. Tales fallas afectan sucesivamente a la roca in situ, los derrubios de ladera, las morrenas holocenas y de la Pequeña Edad del Hielo y un cono torrencial subactual y actual. En un caso, el salto aparece parcialmente disectado por una pequeña torrentera actual, con un cono de deyección de escasa dimensión, pero en los demás todas las fallas cortan a todas las formas de modelado y depósitos y carecen de colonización vegetal (por la altitud, herbácea o líquénica) (figs. 14-a y b y 15).

Como consecuencia, esos saltos verticales escalonan bruscamente la ladera con netos escarpes de roca viva y, más densa y vigorosamente, los materiales de depósito —morrenas y cono—. También una morrena reciente presenta en dos casos desplazamientos horizontales dextrales de varios metros, además del desplazamiento normal ya indicado. Sus trayectos serpentean centenares de metros en la ladera, formando bien líneas continuas, bien alineaciones discontinuas en escalera o grupos subparalelos de tres o cuatro fisuras. En el cono de deyección mencionado se observan, además de los llamativos escalones, fisuras abiertas en las líneas de falla y una pequeña fosa desnivelada por fracturas, junto a un elemento levantado, aunque inferior a los 2 metros, a modo de horst. En esa formación, la escorrentía subsuperficial derivada de las precipitaciones del monzón

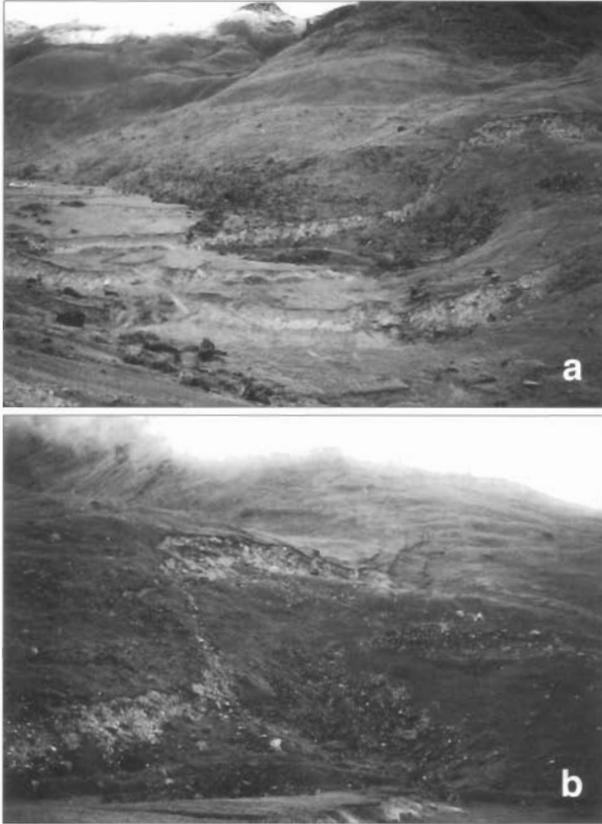


FIG. 14-a y b. Fallas activas al Sur del glaciar de Kaphe (4.450 m), que escalonan ladera, morrenas y depósitos torrenciales recientes.

contribuyó a agrandar puntualmente en varios centímetros tales fisuras, prosiguiendo en ellas la formación de embudos métricos de absorción, durante nuestra estancia en el lugar en septiembre de 1996. En puntos más bajos de este tramo del valle otros dos grupos de fallas cortan nuevamente las morrenas más recientes, los derrubios y la ladera, con saltos frescos y destacados.

La juventud de los depósitos morrénicos y aluviales afectados por las fallas hace que éstas se puedan considerar, sin lugar a dudas, activas. Aunque su papel morfológico directo es secundario poseen un evidente interés tectónico y pueden proporcionar datos sobre el posible control estructural del valle. Por un lado, estas fallas activas forman una red (figs. 16-B y 17-B), posiblemente inscrita en una banda delimitada, pues no las hemos observado en otros afloramientos rocosos del área. En ella hemos medido direcciones de  $75^\circ$  E, de  $110^\circ$  E, de  $120^\circ$  E y de  $90^\circ$  E, alrededor de los 4.450 m de altitud; en la misma banda, pero entre esta cota y los 4.200 m, aparecen fallas similares con rumbos de  $60^\circ$  E,  $120^\circ$  E y  $150^\circ$  E. Las primeras presentan saltos verti-



FIG. 15. Escarpe de falla en la morrena lateral de la Pequeña Edad del Hielo del alto Kaphe.

cales entre 1,80 y 6 m; las segundas entre 0,50 y 10 m, afectando a morrenas de la Pequeña Edad del Hielo, depósitos torrenciales muy recientes y taludes subactuales. Se trata, pues, de una tectónica viva y vigorosa.

Dos grupos de estas direcciones son, pues, aproximadamente coincidentes ( $60^\circ$ - $75^\circ$  E y  $110$ - $120^\circ$  E) con las de las principales alineaciones (a y b en fig 16-A, B y C) que quiebran el alto valle de Kaphe. Esta coincidencia parcial, de carácter meramente local, podría tal vez interpretarse en el sentido de una cierta continuidad tectónica. Ello reincidiría también en la idea de un posible seguimiento de la erosión glaciaria en este sector de antiguos cruces y alineaciones de planos de debilidad en el roquedo. Podría apuntarse, incluso, siguiendo el razonamiento, la posibilidad local de una contribución tectónica directa —aunque parcial, combinada con la acción glaciaria, y en un grado difícil de determinar— en la apertura de la forma del mismo valle alto.

Es inseguro dar una explicación sobre las causas que generan esta dinámica distensiva —y esta trama morfotectónica derivada, si se puede considerar como tal— en el interior del macizo, sometido a una compresión general. Pero con las debidas cautelas pueden esbozarse algunas líneas de interpretación, que incluso sean en parte convergentes, relacionables con la tectónica general del Himalaya<sup>3</sup>. En primer lugar, las fallas normales activas —combinadas con sus desplazamientos dextrales puntuales— son debidas a una extensión

<sup>3</sup> Recientemente, en el congreso sobre Geología del Himalaya celebrado en Flagstaff (Arizona) en abril de 1996, diversas investigaciones hacen también referencia a una importante tectónica distensiva en esta cordillera, tanto a escala cortical como de detalle.

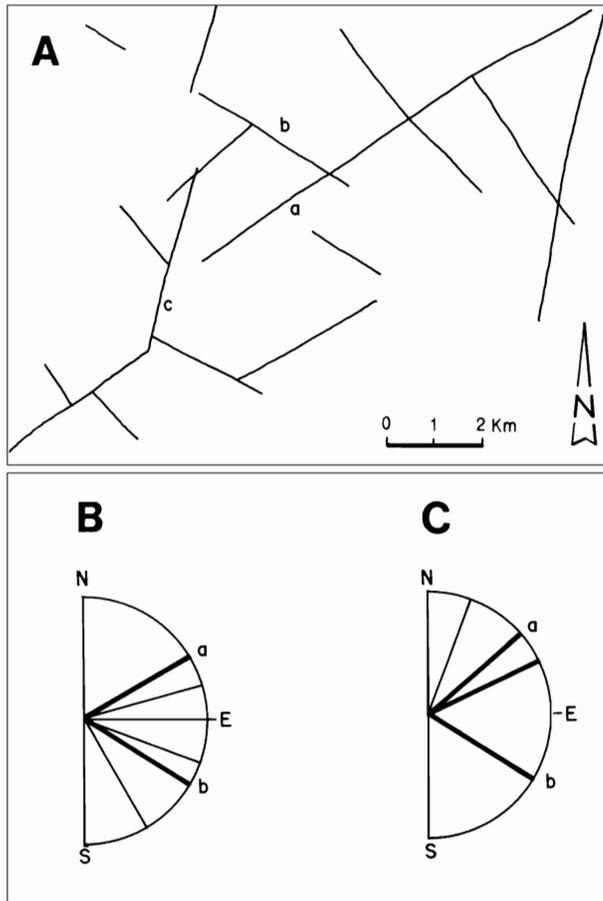


FIG. 16. A: Principales alineaciones morfoestructurales del valle alto de Kaphe y sus prolongaciones en circos glaciares y afluentes. B: Directrices de las fallas activas observadas en el alto Kaphe, sin análisis estadístico. C: Directrices de las principales alineaciones morfoestructurales del alto Kaphe. Se han resaltado en línea gruesa las directrices aproximadamente coincidentes entre B y C.

de dominante Norte-Sur del bloque montañoso, que le afecta en una banda central, dispuesta longitudinalmente, con típicas fracturación y disposición de fisuras (BÉLOUSSOV, 1978) (fig. 17-A).

En segundo lugar, tal extensión interna puede atribuirse a varias hipótesis distintas (o tal vez complementarias). Por ejemplo, a una simple compensación, en el dorso del bloque, del levantamiento del sector frontal, o Sur, del macizo sobre el MCT, más aún si se considerase a éste con cierta actividad. Aunque esto no parece fácilmente comprobable, recientes trabajos de investigadores japoneses han descrito fallas activas próximas al MCT al Sur del macizo de los Dhaulagiri, de dirección NO-SE, y al Oeste, en Talphi, con una longitud de dos decenas de kilómetros; en Dana, en el valle del Ka-

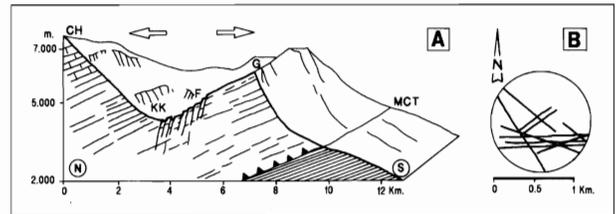


FIG. 17. A: Esquema de la ubicación del sistema de fallas activas del alto Kaphe. CH: Churen Himal. Kk: Kaphe Glacier. G: Ghustung. F: fallas. MCT: Gran Cabalgamiento Central. Flechas divergentes: banda de extensión interna del bloque. (Disposición de los elementos, escala y altitudes aproximadas).

B: Esquema de la disposición en planta del campo de fallas activas del alto Kaphe en el sector del Campamento Base.

li Gandaki, han señalado también levantamientos en el Cuaternario reciente (KIZAKI, 1995)<sup>4</sup>.

En relación igualmente con el MCT, podría pensarse también en un más complejo modelo de extensión interna de bloque sobre falla inversa: las fallas normales menores se podrían interpretar como respuestas de compensación en el dorso de un bloque descendido y basculado, como consecuencia de un cambio del buzamiento del gran cabalgamiento en la base del macizo, más tendido hacia su parte externa (MATTAUER, 1976, págs. 159-165). Sin embargo, la cadena completa de hechos tectónicos que indica este autor —disposición del MCT, gran falla normal interna con rotación, basculamiento y compensación— no está aquí documentada ni, por los cortes visibles, parece en parte la adecuada a esta estructura concreta.

El rango local de estos fenómenos no permite aquí, en principio, la aplicación de la interpretación, ya señalada, de Le Fort y Pêcher en el Dhaulagiri, de un efecto derivado del despegue gravitacional hacia el Norte de la cobertera, con formación de fallas normales y desgarrres en la banda afectada del interior del macizo (DEBELMAS y MASCLE, 1994).

Las fallas activas de Kaphe pueden finalmente atribuirse, sin necesidad de continuidad en el levantamiento o en el despegue, a una extensión local en el interior

<sup>4</sup> Estas fallas son relativamente pequeñas y verticales. La Talphi Fault «cuts through the glacial and periglacial morphology... The downthrow to the north is clearly exhibited by the fresh but low fault scarps facing north». (KIZAKI, 1994, pág. 138). En cierto modo, podría incluirse esta tectodinámica en la edificación de la cordillera (GANSSEY, A., 1982). Hemos hecho también observaciones geomorfológicas sobre estas cuestiones en sectores muy expresivos del Himalaya, como en los macizos gneísicos del Nanga Parbat (8.125 m) (MARTÍNEZ DE PISÓN, 1991) y del Gurla Mandhata, que culmina a 7.728 m (MARTÍNEZ DE PISÓN, en prensa).

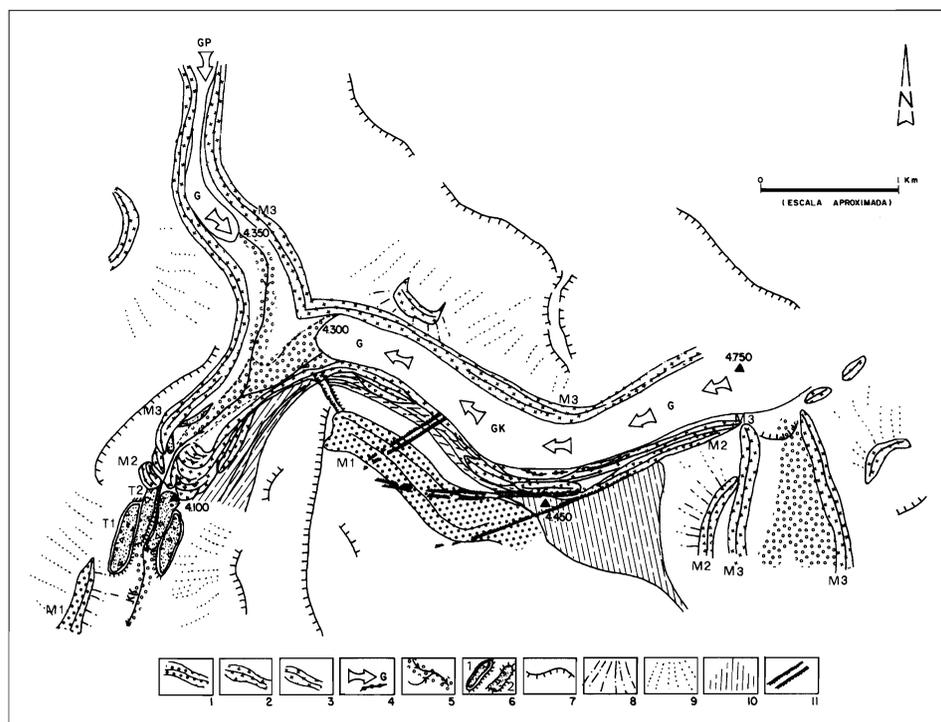


FIG. 18. Croquis morfológico de la evolución glaciar reciente del Kaphe Glacier. 1: «agrupación externa» (cordones morrénicos holocenos, relativamente antiguos). 2: primer episodio de la «agrupación interna» (cordones morrénicos de la fase «Dugla»). 3: episodio moderno de la «agrupación interna» (cordones morrénicos de las diversas oscilaciones de la Pequeña Edad del Hielo y frente de retroceso de esta Edad en forma local de glaciar rocoso). 4: glaciares actuales con hielo cubierto. 5: torrentes fluvio-glaciares y depósitos proglaciares y glaciares subactuales y actuales. 6: niveles de terrazas proglaciares recientes (t-1: terraza de la Pequeña Edad del Hielo). 7: escarpes. 8: derrubios de morrena. 9: derrubios de ladera. 10: depósitos torrenciales. 11: esquema simplificado de fallas activas. KK: Kaphe Khola. GK: Glaciar de Kaphe. GP: Glaciar de Putha Hiunchuli. (Escala aproximada).

terrazza de la Pequeña Edad del Hielo). 7: escarpes. 8: derrubios de morrena. 9: derrubios de ladera. 10: depósitos torrenciales. 11: esquema simplificado de fallas activas. KK: Kaphe Khola. GK: Glaciar de Kaphe. GP: Glaciar de Putha Hiunchuli. (Escala aproximada).

del bloque levantado, como consecuencia secundaria de la pérdida morfológica de equilibrio del macizo sobreelevado respecto a su entorno, que se manifiesta en un basculamiento hacia afuera de sus bordes y en la apertura interna por extensión de fallas normales e incluso de fosas colgadas interiores (BÉLOUSSOV, 1978).

## V LA EVOLUCIÓN GLACIAR

### 1. LAS CONDICIONES LOCALES DEL GLACIARISMO

No obstante lo anterior, las huellas glaciares del alto Kaphe son evidentes y —sobre todo las recientes— interesantes. El modelado glaciar del máximo pleistoceno configura todas las formas mayores y crea sus típicos paisajes directos muy claramente hasta la confluencia del Kaphe y el Thar Khola, a unos 3.900 m de altitud, es decir, a unos 15 km de distancia del Dhaulagiri-vi. Aguas abajo las formas glaciares prosiguen sin duda, pero con un dibujo más retocado. La morfología mejor conservada, con sus fases bien marcadas por cordones morrénicos diferenciados, es la derivada de la evolución

holocena, sobre todo en las proximidades de la lengua actual. Las condiciones del alto valle de buena alimentación (reunión de amplios circos), elevada altitud (4.500 m en su parte media) y escasa pendiente (un desnivel de 400 m en cerca de 4 km de recorrido) han hecho de él un excelente «refugio» glaciar (ver figs. 20 y 7).

La disposición de los glaciares en la hoja del Army Map Service, con datos compilados en 1954, es, como ya comentamos, inexacta, por lo que no es válida como documento para tomar datos sobre la evolución reciente de las lenguas. La cartografía esquemática de Yakushi de 1971 muestra unidos los frentes de las lenguas convergentes que proceden del Putha Hiunchuli y del Dhaulagiri-vi, hoy separados cerca de 1 km, a unos 4.200 m de altitud. Sin embargo, su mapa de 1970, más detallado y fiable en lo glaciar, los dibuja ya distanciados alrededor de 500 m: si bien no define el límite frontal de la primera —aunque el inicio de su torrente proglaciar lo situaría a 4.350 m—, sí lo hace con el de la segunda a 4.200 m. Hoy se emplaza este frente en una posición entre 75 y 100 m más alta y con un retroceso de unos 300 m, pero no podemos utilizar estas cifras con seguridad como datos de evolución. La compara-

ción visual del volumen de la lengua de Kaphe entre 1969 y 1996, a partir de las fotos y croquis del relato de aquella expedición (YAKUSHI, 1970), muestra también una perceptible pérdida de masa de hielo en su mismo inicio, en su cascada de seracs a la salida de los circos (4.750-5.000 m), lo que significa no sólo un retroceso por ablación del frente, sino un descenso de alimentación, en suma un balance negativo<sup>5</sup>.

Por debajo de los 4.700 m el glaciar de Kaphe se cubre progresivamente de clastos (fig. 22) y se encaja hondamente —100 metros— entre sus muros morrénicos más recientes, lo que nuevamente expresa una pérdida cuantiosa de hielo desde su última fase positiva histórica. Su superficie se hace caótica por debajo de los 4.400 m, con colinas, bloques basculados, hoyos y cubetas de fusión, pequeñas depresiones lacustres. Su frente aparece muy cubierto, biselado e irregular, dando paso a un margen proglaciar con abundantes depósitos y torrente de curso inicialmente anastomosado, que se encaja enseguida entre morrenas frontales y terrazas recientes.

## 2. LA EVOLUCIÓN RECIENTE

El reconocimiento del complejo morrénico del alto Kaphe manifiesta, además de la interesante neotectónica que le afecta, ya señalada, una secuencia de fases glaciares bien definidas (figs. 7 y 18).

### A. Las fases antiguas

Se distinguen en el área cercana al fondo del valle dos principales agrupaciones de cordones morrénicos, contiguas entre sí, una *externa* y otra *interna*. La más alta, derrubida y alejada del hielo actual, es decir, la más antigua localmente, se inscribe, no obstante, en unas formas de modelado glaciar de circos y valle mucho más voluminosas, indicadoras de estadios aún anteriores de mayor envergadura, pero de los que aquí no se conservan depósitos. Entre estas formas de excavación y aquéllas de acumulación media, pues, un largo período; en cambio, las agrupaciones mencionadas muestran episodios positivos sucesivos —aunque cada vez de menor

dimensión— que pertenecen a tiempos próximos entre sí y recientes.

La *agrupación superior o externa* presenta en la ladera meridional del alto valle de Kaphe dos cordones laterales yuxtapuestos, que conservan su alineación, pero no la mayor parte de su forma, afectada por el coluvionamiento. Los escarpes y taludes de la vertiente septentrional, trastornados por constantes aludes —y con una verosímil confluencia glaciar en esta misma época—, no poseen depósitos asimilables a los descritos (fig. 11-C). Tales cordones desaparecen de las laderas en el abrupto codo al SO que hace el valle en su actual área proglaciar y sólo reaparece uno de ellos puntualmente aguas abajo de la confluencia de los torrentes del Kaphe y del Putha en la empinada ladera derecha, cuyo perfil está dominado por rampas de derrubios menos antiguos.

En cambio, el circo lateral y su vallonada abiertos al Oeste del Ghustung (fig. 7) se escalonan con diversos arcos morrénicos yuxtapuestos, que se superponen topográficamente a los dos señalados en la ladera meridional del Kaphe. Están coronados por cordones recientes del glaciar occidental del Ghustung Sur, asimilables en aspecto y posición a las otras dos agrupaciones más jóvenes e internas —aunque aquí más bajas— del Kaphe. Es decir, tales arcos escalonados parecen pertenecer a un repliegue local de dicho circo lateral, quizá coetáneo o inmediatamente posterior en sus episodios a las fases de los cordones del valle que acabamos de describir, lo que descarta aquí la presencia de testimonios de fases más antiguas.

Inmediatamente antes de la confluencia de las aguas del Thar Khola con las del Kaphe Khola, a unos 4.000-3.900 m de altitud, reaparece, a más de 2 km de distancia del fragmento de cordón lateral más bajo antes mencionado, un resto aislado de morrena frontal del valle de Kaphe, suspendida en un umbral local y excavada por la torrencialidad, incluso con extraplomos y cavidades. Pensamos que, primero, por su estado de conservación (aislamiento, afección por arroyada y aluvionamiento); segundo, por su disposición relativa en los elementos del relieve y su emplazamiento (superposición tardía a las principales formas de excavación glaciar, dependencia de un débil volumen de hielo, y, por ello, de una lengua de limitada dimensión); y tercero, por su encajamiento entre los sucesivos dinamisismos morfológicos (entre un amplio modelado glaciar previo y otro más moderado posterior, junto a acciones torrencial, periglacial y aluvionar), este resto de arco puede emparentarse con una de las fases manifestadas por los cordones laterales de la «agrupación externa» y, por ello, marcar la

<sup>5</sup> El visible retroceso reciente y actual de los glaciares de la cordillera no es una cuestión erudita, pues ha llegado incluso a los periódicos locales: por ejemplo, el artículo de G. Gurung, titulado «Global Warning from the Himalayas», publicado en el *magazine* nepalí *Himal. South Asia*, septiembre de 1996, pág. 28.

posición frontal de su lengua, a cerca de 5 km de distancia del límite actual del hielo. Por otro lado, este conjunto relativamente antiguo es aún suficientemente reciente, dadas las dimensiones y características de las huellas glaciares pleistocenas de estos valles, como para que pueda ser considerado holoceno.

En el inmediato valle de Thar Khola (fig. 7) existe un conjunto morrénico bien desarrollado y conservado, cuyo frente alcanza una posición contigua a la que acabamos de describir y cuyos muros laterales, de dimensión notable, definen el paisaje, presentan continuidad e incluso retienen un lago. La menor evolución posterior de las laderas de este valle parece haber sido la causa de una mejor conservación local de sus morrenas. El cordón derecho presenta un desdoblamiento —no equivalente a los dos arcos antes indicados—, producido en una subfase, y el interior del valle un frente de un estadio de parada en el retroceso de la lengua, que no se encuentra o no es visible en el de Kaphe. El emplazamiento, proximidad, estado y proporción de ambos complejos morrénicos de Thar y Kaphe permiten asociarlos temporalmente, por lo que sus datos parecen complementarios, pero las condiciones locales de ambos —como las claras diferencias en capacidad de alimentación, longitud y relieve circundante— han podido ocasionar en ellos comportamientos distintos.

En la cabecera del cercano valle de Gurjagaon (Dhokra Khola) no hay actualmente glaciares, a causa de las características de su cierre: por un lado, los extraordinarios escarpes meridionales del Gurja Himal y, por otro, la menor altitud de los cordales occidentales del Budzunge Bara. Por ello no aparecen similares agrupaciones morrénicas. Sin embargo, sí existen otras tres interesantes manifestaciones de modelado glaciar, de rasgos más antiguos (Fig. 19). En primer lugar, el esculpido general del valle, cuyas laderas mantienen formas de este tipo largamente valle abajo, pese a los vigorosos efectos de remodelado fluvial de los fondos de la artesa. En segundo lugar, una alta terraza de obturación glaciar, colgada en la ladera izquierda, pero inscrita en dicha artesa en las cercanías de Gurjagaon, indicadora de una reducción más tardía del espesor de la lengua pleistocena, aunque ésta era aún muy voluminosa. En tercer lugar, por debajo de tal terraza, a unos 2.600 m de altitud, un complejo morrénico frontal de dimensiones notablemente mayores que los antes descritos en Kaphe y Thar —propio de un aparato ya replegado a la cabecera, pero aún grande—, con dos arcos principales diferenciados pero yuxtapuestos, bien conservados, aunque superficialmente evolucionados y, en conjunto, muy incidido por la ac-

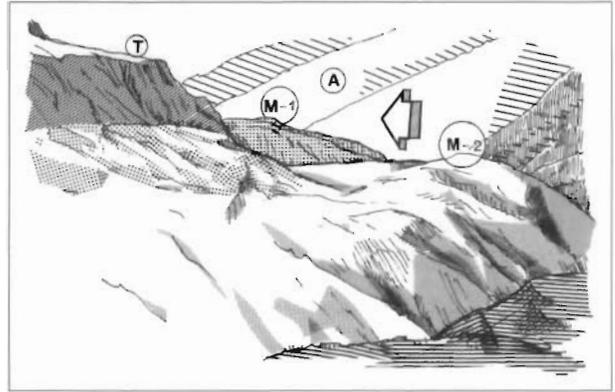


FIG. 19. Formas glaciares de Gurjagaon (2.600 m de altitud). A: artesa del máximo glaciar pleistoceno. T: terraza de obturación glaciar pleistocena. M-1 y M-2: arcos morrénicos frontales del Pleistoceno reciente. (La flecha indica la dirección del flujo glaciar pleistoceno).

ción fluvial posterior. Aguas arriba de este frente, el terreno se aplanan en un brusco cambio a una morfología de origen glaciar, que favorece el asentamiento, colgado y retraído, del pueblo. Por encima, el espolón rocoso SE del Budzunge Bara se prolonga en una morrena lateral del Sur del Ghustung —posiblemente mediana al situarse entre los dos barrancos de cabecera del sector—, y cuya posición la hace verosíblemente coetánea de ese complejo frontal. Esta secuencia puede ser situada en el Pleistoceno reciente, aunque el episodio doble de Gurjagaon podría tanto pertenecer a momentos finiglaciares del máximo pleistoceno, como ya, más independientemente, al Tardiglaciar. De cualquier modo, los datos de este valle nos permiten prolongar aquí las observaciones obligadamente circunscritas del alto Kaphe, con una referencia próxima.

En suma, se observan en el área las siguientes fases relativamente antiguas: 1º, un máximo pleistoceno de valle con un episodio de retroceso, 2º, un estadio pleistoceno reciente de cabecera de valle y 3º, dos fases holocenas replegadas al área de montaña.

### B. Las fases modernas

Más reciente que todo lo antes descrito es, obviamente, la *agrupación interna* de arcos y cordones morrénicos del alto Kaphe (fig. 18). Esta figura es sólo un croquis de campo; aunque se intentó la consulta de fotos aéreas a través de la Nepal Geological Society, como es habitual en el Himalaya, no fue posible.

Primero, en la margen izquierda del glaciar actual de Kaphe y, luego, rebasado el frente, con continuidad has-



FIG. 20. Circo del Gurja Himal a 6.600 m de altitud. El área de alimentación glaciar se adapta a la morfoestructura monoclinal del macizo y al trazado quebrado del alto Kaphe.



FIG. 21. Pérdidas de volumen y retrocesos en el área donde confluyen recientemente las lenguas glaciares de Kaphe (al fondo) y Ghustung Oeste.

ta los 4.100 m se desarrollan dos conjuntos de muros morrénicos. Aunque forman con frecuencia sólo dos destacados cordones contiguos bien diferenciados, también presenta el más moderno diferentes desdoblamientos internos según los tramos (dos y hasta tres subfases de una lengua progresivamente más reducida). Por lo tanto, constituyen las dos fases principales más recientes de morrenas laterales a lo largo de más de 4 km y cerca de unos 500 m de desnivel. A la altitud de su límite inferior estos muros se digitan en varios arcos muy próximos entre sí, que marcan siete episodios frontales sucesivos. De ellos, los dos más externos forman un conjunto más deteriorado y envuelto en aluviones proglaciares posteriores, lo que conduce a asociarlo al estadio más antiguo de esta agrupación, que, por analogía con los de similar posición del glaciar de Khumbu, llamamos en su día «fase de Dugla», denominación que retomamos en el Nanga Parbat y que ahora también podemos aprovechar, con intención asociativa (MARTÍNEZ DE PISÓN y LÓPEZ, 1989; MARTÍNEZ DE PISÓN, 1991). Tras éstos, los restantes son elementos muy frescos del conjunto más reciente, constituyendo el más alto y tardío un frente fósil de aparato rocoso, que enlazan directamente con el marcado muro lateral interno.

Mientras en esta margen izquierda la separación del glaciar respecto a la ladera y la relativa suavidad de ésta han permitido la construcción y la conservación de tales morrenas —con una depresión longitudinal entre depósito y vertiente, lo que en Gredos se denomina expresivamente «barquillos»—, en la margen derecha, los fuertes escarpes del Churen Himal, dominados por un próximo glaciar suspendido (fig. 11-C), sólo han permitido el desarrollo del conjunto más reciente, con dos episodios.

Sólo hay, igualmente, huellas de esta fase, localmente con dos episodios, en los bordes de la lengua del Putha Hiunchuli, aunque también aparece en frentes colgados de los aparatos de la ladera. En la prolongación del glaciar occidental del Ghustung Sur se observan los dos conjuntos en la margen izquierda, que goza de un espacio abierto no glaciar, mientras sólo existe el muro lateral reciente en la margen derecha, más apretada a un escarpe y a un área de mayor dominio glaciar. Incluso, la primera fase presenta allí un lóbulo en forma de frente de glaciar rocoso en una digitación local superpuesta a las morrenas holocenas ya descritas. Los depósitos de la morrena lateral de la segunda fase reciente del Ghustung reposan también sobre los del primer conjunto del Kaphe en su punto de reunión.

Todo indica, pues, que la primera fase, aunque próxima en el sector de lengua a la segunda, tuvo a más altitud o en los lugares favorables un desarrollo glaciar claramente superior. El último conjunto conecta, en cambio, directamente con el hielo actual, notablemente disminuido de volumen (fig. 21); el escarpe morrénico interno, muy desarrollado por ese descenso del nivel de la lengua, tiene una activa dinámica —caídas de bloques, derrubiamiento, asentamientos, deslizamientos locales, cárcavas—. No obstante, en algunos puntos, el borde de la lengua deja aún pequeños depósitos morrénicos actuales bajo el gran escarpe detrítico reciente.

Aguas abajo de este frente compuesto se establecen a escasa altitud sobre el fondo del valle dos terrazas proglaciares encajadas, que se extinguen enseguida. La superior está desconectada del frente, pero la inferior enlaza con él en la posición del complejo morrénico interno y sólo está recortada por el actual torrente de fusión. Al-

gún nivel aislado de terraza baja también aparece aguas arriba del frente morrénico, sobre los aluviones subacuales y actuales. Esta disposición permite asociar ambas terrazas principales a cada una de las fases glaciares manifestadas por los dos fundamentales conjuntos morrénicos, y las últimas mencionadas al proceso inicial de retirada, que hoy prosigue, de la última fase, posiblemente con unión aún de las lenguas de Kaphe y Putha. La abundancia de depósitos proglaciares subacuales y actuales, derivados de este retroceso, se debe a la gran carga superficial de clastos de las lenguas, sea por abandono directo en la fusión, sea por arrastres.

Por último, procedente de los taludes externos de las morrenas del Ghustung se ha formado un cono de deyección, con dinámica que prosigue en la actualidad, marcadamente escalonado, como ya dijimos, por las fallas activas de Kaphe. En él se aprecian frentes y dorsos de coladas de piedras y en los taludes morrénicos existen también huellas de *debris flow*. El «barquillo» entre la ladera meridional y las morrenas del primer conjunto está tapizado por dos niveles torrenciales encajados de reducidas dimensiones, que proceden del cono, el último muy reciente y actual y el alto lógicamente posterior a ese conjunto morrénico, ambos también desnivelados por fallas activas.

En suma, estos dos conjuntos yuxtaglaciares, bien conservados, corresponden a dos distintas etapas, ambas muy recientes y de características no muy diferentes, de expansión local de las lenguas del Ghustung, Kaphe y Putha. El último complejo, con sus entre 3 y 5 episodios, manifiesta —por su directa vecindad lateral a la lengua y su estado— todos los caracteres propios de la Pequeña Edad del Hielo.

### C. Correlación de las fases descritas

En otros puntos del Himalaya del Nepal y del macizo mismo de los Dhaulagiri se han descrito 10 estadios glaciares posteriores al máximo pleistoceno reciente —¿Würm?—: 4 estadios relativamente más antiguos, sin datación absoluta precisa, pero casi con seguridad holocenos, y otros 6 «neoglaciares» (KHULE, 1986). De estos últimos, el arco morrénico más destacado próximo al hielo actual ha sido situado por este autor en algún caso —no en todos— en época histórica, hacia comienzos del siglo XVI. Correspondería en tales casos, por tanto, al máximo inicial del avance de la Pequeña Edad del Hielo, mientras un subarco interno a éste se podría haber construido una vez iniciado ya el proceso de retroceso

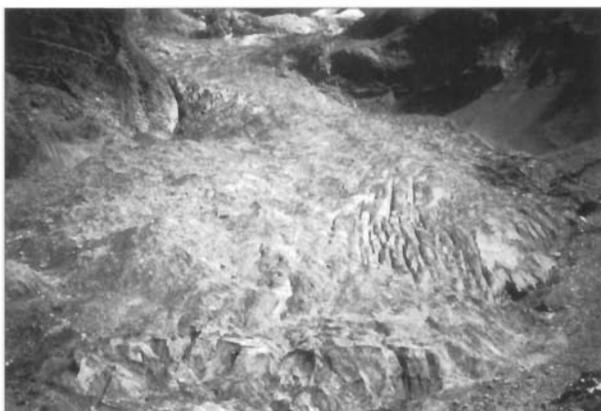


FIG. 22. Inicio del tramo cubierto del glaciar de Kaphe

(fines del XIX, comienzos del XX). No obstante, esta relación no es tan sencilla, pues Khule también sitúa, por diferencias liquenométricas, morfologías semejantes en fechas anteriores y, además, distingue hasta 5 estadios englobables en la Pequeña Edad del Hielo.

Por analogía de posiciones y de formas, tales episodios sólo son, pues, parcialmente aplicables al conjunto más reciente que acabamos de señalar en el valle de Kaphe. Podríamos, sin embargo, apuntar una analogía formal entre el muro morrénico lateral mayor, inmediato a la lengua actual, de la formación interna y el señalado como estadio VII en las imágenes de Khule. Pero este autor sólo data en la Pequeña Edad del Hielo la segunda fase de este estadio. Respecto a nuestro inmediato muro reciente, podría situarse en los estadios datados entre 4.165 BP y más reciente que 2.050 BP —más concretamente, en el estadio VI (2.050-2.400 BP)— (KHULE, 1982, 1986), pero no podemos pasar más allá de esta analogía formal.

En la vertiente meridional de los Annapurnas se han señalado, en cambio, sólo un «ultimo máximo» pleistoceno —que habría descendido hasta cerca de 1.100 m de altitud— y cuatro fases neoglaciares —difíciles de correlacionar en su mayor parte con las aquí descritas—, cuya última manifestación correspondería al avance histórico (FORT, 1995).

La secuencia establecida en Kaphe es, al contrario, congruente con las observadas por nosotros en anteriores trabajos llevados a cabo en otros puntos del Himalaya, de las que ya dejamos constancia comparativa (MARTÍNEZ DE PISÓN, 1991). Hacemos referencia a ella sólo en un cuadro final (ver Cuadro I), que manifiesta con suficiente coherencia una evolución común del glaciario reciente en todos esos puntos de la Cordillera.

CUADRO I. *Correlación de fases glaciares desde el Pleistoceno reciente entre el Alto Kaphe y los macizos del Numbur, Everest y Nanga Parbat*

EDAD	ALTO KAPHE y su entorno	NUMBUR (1)	EVEREST (2)	NANGA PARBAT (3)
Histórica	PEH (3-5 episodios)	PEH	PEH	PEH
Holoceno	Conjunto exterior (agrupación interna)	Fase externa (GI-5)	N: Sang Duo Po S: Dugla	Fase reciente
Holoceno	2 fases de la agrupación externa	GI-4 GI-3	N: Rongbuk S: Periche	Fases intermedias
Pleistoceno reciente	a/ Fase de cabecera b/ Artesas inferiores	a/ GI-2 b/ GI-1	N: a/ Chedung b/ Artesa inferior de Rongbuk S: a/ Lukla b/ Surke	a/ Fase alta antigua de montaña b/ Fase baja antigua de montaña

Bibliografía del Cuadro I:

(1) Martínez de Pisón, López y Nicolás, 1989. (2) Martínez de Pisón, López y Nicolás, 1989. Martínez de Pisón y López, 1989. (3) Martínez de Pisón, 1991.

## B I B L I O G R A F Í A

BÉLOUSSOV, V. (1978): *Géologie Structurale*, Moscú, Mir, 295 págs.

BORDET, P., COLCHEN, M y LE FORT, P. (1975): *Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région du Nyi-Shang*, Paris, CNRS, 138 págs.

DEBELMAS, J. y MASCLE, G. (1994): *Les grandes structures géologiques*, Paris, Masson, 299 págs.

DOBREMEZ, J. F. y JEST, C. (1971): «Carte Écologique du Népal. I: Région Annapurna-Dhaulagiri 1/250.000», Université de Grenoble-CNRS, *Cahiers Nepalais*, 3, págs. 147-190 + 1 mapa.

FORT, M. (1995): «The Himalayan Glaciation: Myth and Reality», *Journal of Nepal Geological Society*, vol. 11, págs. 257-272.

GANSSER, A. (1964): *Geology of the Himalayas*, Londres, Interscience, XVI + 289 págs.

GANSSER, A. (1982): «The Morphogenic Phase of Mountain Building», en Hsü, K. J. (ed.): *Mountain Building Processes*, Londres, Academic Press, 1982, págs. 221-228.

KHULE, M. (1982): «Der Dhaulagiri —und Annapurna— Himalaya. Ein Beitrag zur Geomorphologie extremer Hochgebirge», *Zeitschrift für Geomorphologie*, supl. 41, 2 vol., 229 págs.

KHULE, M. (1986): «Former Glacial Stades in the Mountain Areas surrounding Tibet in the Himalayas», *Nepal Himalaya. Geo-Ecological Perspectives*, Tallital-Naini Tal, Himalayan Research Group, págs. 437-473.

KIZAKI, K. (1995): «Recent Tectonics in the Nepal Himalayas: A Synthesis», *Journal of Nepal Geological Society*, vol. 11, págs. 131-140.

MARTÍNEZ DE PISÓN, E. (1991): «Observaciones geomorfológicas en el Nanga Parbat (Himalaya del Pakistan)», *Ería*, 26, págs. 157-177.

MARTÍNEZ DE PISÓN, E. (1993): «Arquitecturas de cordilleras y "montañas de fractales"», *Ería*, 32, págs. 173-193.

MARTÍNEZ DE PISÓN, E. y LÓPEZ, J. (1989): «Major Pleistocene and Holocene glacial episodes in the Khumbu region,

southern side of Mount Everest (Nepalese Himalaya)», *Geogaceta*, 6, págs. 35-38.

MARTÍNEZ DE PISÓN, E., LÓPEZ, J. y NICOLÁS, P. (1989): *Observaciones geomorfológicas en la vertiente tibetana del Everest*, Madrid, Universidad Autónoma, 159 págs.

MATTAUER, M. (1976): *Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre*, Barcelona, Omega, 524 págs.

MATTAUER, M. (1987): *Monts et Merveilles*, Paris, Hermann, 267 págs.

SHARMA, Ch. K. (1977): *River systems of Nepal*, Kathmandu, S. Sharma, 214 págs.

YAKUSHI, Y. (1970): «The first ascent of Gurja Himal, 1969», *American Alpine Journal*, págs. 161-166.

*Cartografía utilizada, no incluida en la bibliografía*

ARMY MAP SERVICE (1954): *Pokhara (Nepal)*. India and Pakistan E. 1:250.000. Series U502, Sheet NH 44-16, Ed. 1-Ams. Washington.

DEPARTMENT OF MINES AND GEOLOGY (1994): *Geological map of Nepal*. E. 1:1.000.000. Kathmandu.

YAKUSHI, Y. (1971): *Dhaulagiri Himal and its environs*. E. 1:100.000. Ed. in Japan.