

LA GLACIACION ACTUAL Y CUATERNARIA  
DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES

POR

JUAN BRÜGGEN

(Director del Instituto de Geología y Química)



## LA GLACIACION ACTUAL Y CUATERNARIA DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES

Uno de los capítulos más interesantes de la geología que ha atraído también el interés de personas extrañas a esta ciencia, es el que trata de la gran extensión que han tomado los glaciares en épocas no muy remotas. El interés se debe en gran parte a la circunstancia de que esos grandes cambios climatológicos fueron presenciados por el hombre prehistórico, de modo que la geología del cuaternario constituye en cierto modo una transición entre la historia geológica y la historia humana.

Para la geografía, la importancia de la glaciación cuaternaria se debe a que las formas superficiales creadas por los glaciares diluviales se han conservado en perfecto estado, cubriendo muy grandes superficies de la tierra firme. Estas formas glaciales ocupan la mitad de Norteamérica y de Europa, lo mismo que en Chile central, mientras que desde Puerto Montt hacia el sur no sólo toda la superficie terrestre, sino también todo el fondo del mar vecino al continente, deben su con-

figuración a la erosión y sedimentación de los glaciares del diluvio.

Antes de entrar al tema principal, debemos estudiar brevemente los rasgos principales de la extensión de los glaciares en Norteamérica y de Europa, para poder relacionar las observaciones hechas en nuestras cordilleras con las de regiones mucho mejor investigadas.

La figura 1 presenta la extensión alcanzada por el hielo continental durante el cuaternario en el hemisferio norte y, además, los centros aislados de glaciación situados en las serranías de las zonas templadas.



Fig. 1.— La extensión de la glaciación cuaternaria en el hemisferio norte. Según Köppen y Wegener

Se ve que más de la mitad de Norteamérica estaba cubierta por una capa de hielo continental cuyo espesor se calcula para las partes centrales en unos 2,000 m. *Chamberlin* y *Salisbury* distinguen seis diferentes épocas glaciales con los nombres siguientes: 1) Jerseyan, 2) Kansan, 3) Illinoian, 4) Iowan, 5) Earlier Wisconsin, 6) Later Wisconsin. Las morrenas mejor conservadas son las del Wisconsin anterior y del Wisconsin posterior, lo que indica que ellas corresponden a las últimas épocas glaciales.

Lo que sorprende es que el centro del hielo continental de Norteamérica se hallaba en una región completamente baja, donde no hay ni indicio de serranías altas, y que de este centro bajo se ha movido la capa de hielo hacia el O. y S. O. encima de una planicie que hoy asciende paulatinamente. Además, el centro se ha movido en las diferentes épocas desde la región situada al Oeste de la bahía de Hudson hacia Labrador, como resulta del estudio de los bloques erráticos. Las cordilleras occidentales han tenido su propia glaciación que se ha extendido muy poco más allá de sus contrafuertes orientales, entrando allá en contacto con la capa de hielo continental.

Mucho menor ha sido la extensión del hielo continental en Europa donde debemos buscar el centro de la glaciación en Escandinavia. El número de épocas glaciales que pueden distinguirse es todavía materia de discusión, en cuanto se refiere al hielo continental; en general se distinguen tres a cuatro diferentes épocas. En su mayor extensión el hielo alcanzó una línea trazada desde la desembo-

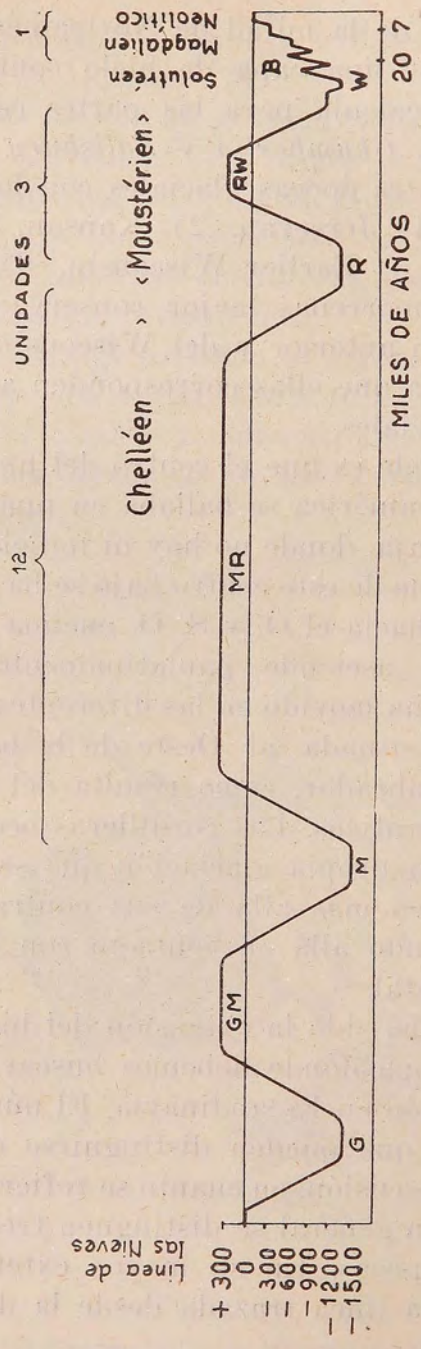


Fig. 2.—Curva climatológica de las épocas glaciales. Según *Penck-Brüchner*

G, M, R, W = las cuatro épocas Glaciales de Günz, Mindel, Riss y Würm. B = el avance postglacial de Bühl.  
 GM, MR, RW, = las tres épocas interglaciales.

cadura del Támesis por el sur de Holanda, el sur de Silesia hasta Kiew.

Es en los Alpes donde se han hecho los estudios más detenidos acerca de las diferentes épocas glaciales, especialmente por *Penck* y *Brückner*. Estos sabios distinguen 4 diferentes épocas glaciales que han nombrado según diferentes ríos en cuyos valles se han desarrollado mejor sus morrenas; principiando con las más antiguas son las glaciaciones de *Günz*, *Mindel*, *Riss* y *Würm* separadas por las épocas interglaciales *Günz-Mindel*, *Mindel-Riss* y *Riss-Würm*. En las diferentes épocas glaciales, los glaciares salieron de los valles alpinos y se extendieron como grandes glaciares de piedmont en las planicies que acompañan a los Alpes en el norte y sur. Su erosión y la acumulación de las morrenas dió origen a los grandes lagos que caracterizan el pie de los Alpes.

La distinción de las diferentes épocas glaciales se basaba en parte en el estado de destrucción de las morrenas, siendo las más modernas las mejor conservadas, y especialmente en las relaciones que existen entre los sedimentos fluvioglaciales que, a mayor distancia de los Alpes aparecen en forma de varias terrazas fluviales. Una idea de los cambios climatológicos habidos durante el cuaternario y la duración de las diferentes épocas glaciales e interglaciales nos da el diagrama de la figura 2.

Las abcisas representan el tiempo y las ordenadas la posición de la línea de las nieves, correspondiendo la línea O a la posición actual. Se ve que en las épocas glaciales, la línea de las nieves se hallaba a unos 1,200 m. más abajo que hoy, pero que en

las épocas interglaciales el clima ha sido más benigno que el actual.

En cuanto se refiere a la duración de las épocas glaciales, *Penck-Brückner* dan cifras solamente para los últimos 20 mil años que consideran como unidad para calcular la duración de la última época interglacial en unos 60,000 años y la penúltima en unos 240,000 años. Según el diagrama resultan para todas las épocas glaciales unos 660,000 años.

Interesantes son también las indicaciones de las diferentes culturas prehistóricas en este diagrama: Chelléen a Magdalénica son paleólicas, mientras que el corto espacio que queda corresponde al neolítico y a la actualidad.

Después del glacial de Würm, más o menos en el Magdalénien, el hielo ha tenido un nuevo avance, conocido bajo el nombre de avance de *Bühl* en que la línea de las nieves que ya estaba subiendo, volvió a descender de los 700 m. a los 1,000 m. debajo de su nivel actual. Las morrenas bien conservadas de este avance se hallan dentro de los valles Alpinos, como por ejemplo las que rodean la ribera inferior del Lago de los Cuatro Cantones en Suiza.

### 1.) La glaciación actual y anterior de la Cordillera de los Andes

En el mapa de la figura 1 vemos que en el hemisferio norte ha habido, fuera de las masas de hielo continental, también un gran número de serranías que en el cuaternario han tenido una glaciación mucho más fuerte que actualmente. Pero, todas estas serranías son puntos aislados, separados por extensas regiones bajas que no han produ-

cido glaciares en el cuaternario. En este sentido, la Cordillera de los Andes ofrece un interés especial porque constituye una serie de elevaciones muy grandes que permiten seguir las líneas de las nieves eternas, no sólo de la actualidad, sino también del cuaternario, desde las regiones árticas hasta las antárticas. Debemos limitarnos en estas líneas a un estudio de la glaciación en Sud-América, investigando especialmente las condiciones glaciales de la Cordillera chilena.

a) LA GLACIACIÓN ACTUAL Y CUATERNARIA  
DE LA ZONA TROPICAL

Entendemos en este párrafo como zona tropical de la Cordillera de los Andes su extensión comprendida entre la Sierra Nevada de Sta. Marta (11° L. N.) hasta la frontera austral del Perú. Nuestros conocimientos actuales de los factores principales acerca de la glaciación pueden comprenderse en la tabla siguiente confeccionada según los datos publicados por *Sievers*:

	A c t u a l i d a d		Ultima
	Línea de las Nieves eternas	Término de los Glaciares	Epoca glacial Término de los Glaciares
Venezuela. . . . .	4600-4700	4300-4400	3800
Ecuador. . . . .	4700-4800	4500-4600	3700-3800
Perú septentrional.	4800-4900	—	3500-3700
Perú austral. . . . .	5700-5900	—	—

Naturalmente, los actuales glaciares de la zona tropical son de tamaño muy reducido; según *H. Meyer* tienen solamente 2½ a 3 km. de longitud en la



cordillera volcánica del Ecuador; pero probablemente habrá glaciares de tamaños más importantes en la cordillera oriental que es más lluviosa. En el Ecuador y en el Perú septentrional, el término de los glaciares ha retrocedido unos 150 m. verticales en los últimos 50 años.

Según se desprende de la tabla anterior, en la última época glacial, los glaciares han descendido unos 600 a 800 m. verticales en comparación con los actuales y de consiguiente ha habido en plena zona tropical un gran número de glaciares que bien pueden compararse con los alpinos de la actualidad. En el Ecuador observó Meyer que los glaciares de la última época glacial se retiraron en tres etapas dejando igual número de morrenas terminales acumuladas durante el tiempo en que el glaciar quedaba estacionario. El límite de las nieves eternas se hallaba en el Ecuador entre los 4,200 y 4,250 m. Además encontró Meyer indicios de una extensión mucho mayor de los glaciares en una época glacial anterior.

En el centro y sur del Perú existen glaciares de cierta importancia solamente en la cordillera oriental. *Bowman* observó en la cordillera de Vilcapampa más de 20 glaciares, algunos de ellos de 2 km. de longitud; terminan a unos 4,850 y 5,000 m. Interesante es que se pueden observar las mismas tres etapas de la extensión cuaternaria de los glaciares que en el Ecuador: las morrenas más bajas se hallan a 3,500 m.; están fuertemente destruídas; otras menos destruídas se hallan a 3,650 m. y morrenas bien conservadas a 3,900 m.

Más al sur, en la cordillera occidental, la línea actual de las nieves eternas sube rápidamente; en

Arequipa se halla a 5,700 m. en el cerro Chachani, y el Misti con 5,855 m. de altura ya no alcanza la región de la nieve eterna.

### b) LA GLACIACIÓN DE BOLIVIA

En el norte de Chile y en Bolivia las diferencias entre las regiones occidentales y orientales son tan grandes que debemos tratar por separado la Cordillera Marítima, como podríamos llamar la cordillera que constituye la frontera entre Chile y Bolivia, y la Cordillera Real que pasa al Este de la altiplanicie boliviana. Mientras que la Cordillera Marítima tiene un clima tan seco que actualmente carece de nieve eterna, aparecen en la Cordillera Real glaciares que por sus dimensiones pueden compararse con los de los Alpes. Sin embargo, la actual línea de las nieves se halla según *Hauthal* a 5,300 y 5,400 m. en la Cordillera Real, a una altura considerablemente mayor que en los países tropicales; los términos de los glaciares se hallarían a unos 4,800 m.

En la época glacial, los glaciares han descendido a alturas muy bajas. En la hacienda Cotani, situada en la falda occidental del Illimani, encontré morrenas a 2,500 m de altura y en la falda oriental, observé en Unduari, en las Yungas, un típico cajón glacial a unos 3,000 m. que penetra a los bosques subtropicales. Con estos datos coinciden las observaciones de rocas aborregadas hechas por *Höeck* en la región de Cochabamba a 2,600 m.

*Hauthal* distingue en Bolivia dos épocas glaciales, de las cuales la primera habría sido la más importante. Atribuye a la primera época una termi-

nación de los glaciares del Illimani a 3,000 m. y una altura de la línea de las nieves de unos 4,000 a 4,500 m. En la segunda época, los glaciares de la falda oriental habrían terminado entre 3,400 y 3,500 m. mientras que en la altiplanicie habrían alcanzado solamente 4,000 m. Esta diferencia se explica fácilmente porque la presencia de la altiplanicie habrá impedido al hielo descender a menores alturas. Las grandes morrenas de Chuquiaguillo, Palca, Chacaltaya, Yauli, etc., que se hallan a unos 4,500 m. de altura, están tan bien conservadas y las formas de la erosión glacial que se observan valle arriba de ellas son tan frescas, que *Hauthal* considera estas morrenas como pertenecientes a un avance postglacial del hielo, que conoceremos más abajo también en las cordilleras chilenas.

La penúltima época glacial, o la primera de *Hauthal*, ha traído una extensión muy grande del hielo, como puede deducirse especialmente de los centenares de metros de rodados fluvio-glaciales en los cuales se ha excavado la quebrada de La Paz. Desde el Alto de La Paz uno obtiene una impresión muy buena de las enormes masas de rodados que se hallan antepuestas a la Cordillera Real como una gran «formación de piemont». Si pudiéramos sacar estas masas, obtendríamos un ancho y profundo valle que se extendería hacia el N. mucho más allá de la actual quebrada de La Paz y que comunicaría probablemente con el lago Titicaca. Estas ideas emitidas por *Gerth*, encuentran apoyo en otras observaciones. La llanura de rodados del Alto de La Paz se extiende hasta el Titicaca sin interrupciones de cordones de rocas fundamentales, alcanzando el lago en la región de Chililaya y Copanca-

ra. Además, el mapa batimétrico del lago (Fig. 3) indica claramente que la zona más profunda, el antiguo talweg del valle, se dirige hacia estos dos pueblos recién nombrados, pero no hacia el desagüe actual, el río Desaguadero.

Muy interesantes son los estudios de *Bowman*, según los cuales el Titicaca ha tenido anteriormente un nivel en 36 a 40 m. más alto; el nivel de este antecesor del Titicaca, que llamó Lago Ballivian, ha descendido rápidamente hasta el nivel actual, porque faltan terrazas intermedias.

El proceso ha sido probablemente el siguiente: Cuando las aguas del antiguo río La Paz principiaron a estancarse porque cantidades excesivas de rodados fluvioglaciales se depositaban en la región al norte de la actual capital, se formó en la región del Titicaca un lago cuyas aguas, al subir, penetraban a todos los valles afluentes, hasta que, algún día, rebalsaron por un portezuelo bajo situado en el actual valle del Desaguadero. El agua que rebalsó cayó a la hoya del río Mauri y debe haber rápidamente cortado el umbral del portezuelo que se hallaba cerca de la Concordia. Que el lago no quedó mucho tiempo a su nivel más alto, podemos deducir de la ausencia de terrazas de abrasión correspondientes a la altura de rebalse. *Bowman* menciona expresamente esta ausencia, pero la explica por la denudación posterior que indicaría una edad muy grande del lago Ballivian. Pero, en las explicaciones de las fotografías habla siempre de una delgada cubierta de arcillas con conchas que representan el sedimento del lago. También esta circunstancia habla en favor de un período corto de sedimentación, porque si las terrazas

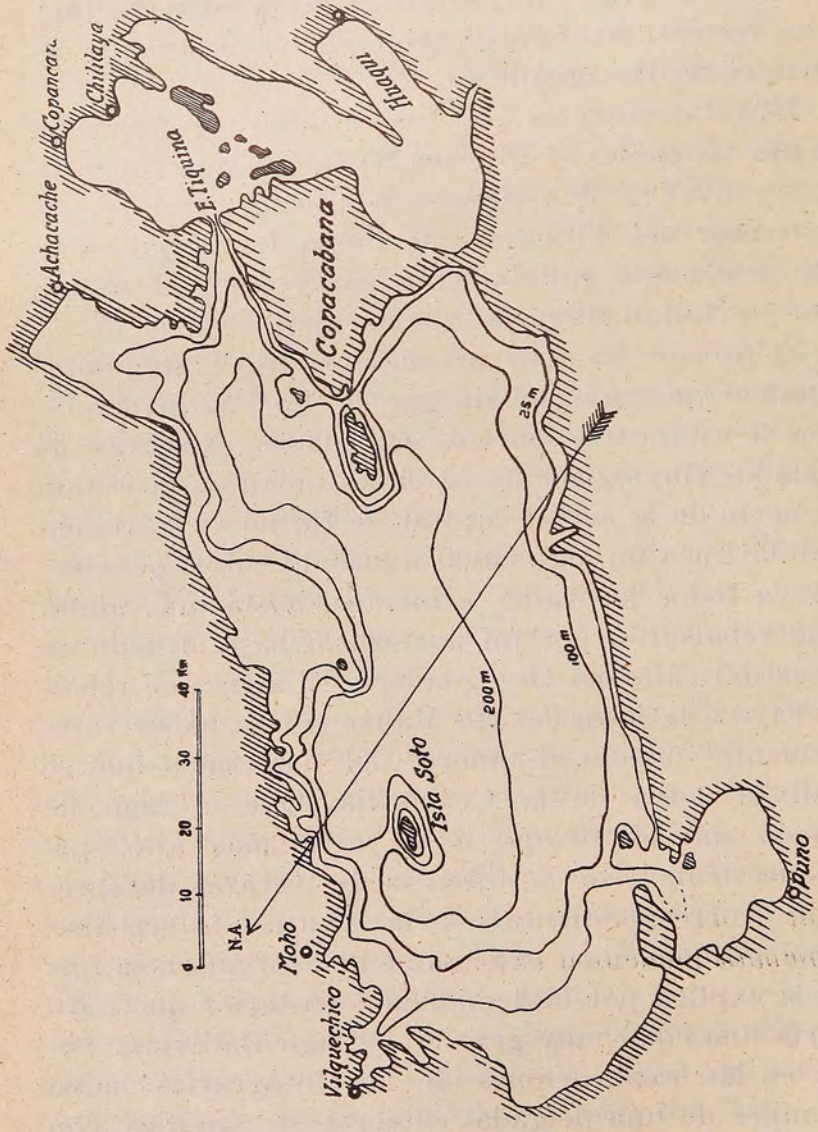


Fig. 3.—Mapa batimétrico del Titicaca. Según Nenet-Lemaitre.

hubieran sido destruidas por la larga duración de la denudación, entonces deberíamos esperar que primeramente se hubieran destruido las arcillas blandas situadas generalmente en los bordes de las faldas y poco protegidas por una delgada cubierta vegetal. Las conchas encerradas en las arcillas son muy parecidas a las que viven hoy día en el lago; *G. H. Dall* las considera como pertenecientes al plistoceno inferior. También esta determinación permite suponer que el lago Ballivian se haya estancado en la penúltima época glacial y que ya en la última época glacial sus aguas hayan descendido a su nivel actual.

También en la parte sur de la planicie boliviana existía en la época glacial un antecesor gigantesco del actual lago Poopó, que ocupó toda la altiplanicie de Bolivia desde el pie de la Cordillera Marítima hasta más allá de Oruro; *Bowman* le ha dado el nombre de lago Minchin. Los sedimentos de este lago son tobas calcáreas que cubren las terrazas al Este de Oruro. Hacia el norte el lago se extendía por el valle del río Desaguadero hasta un poco más allá del lago Ballivian; pero este lago, entonces, ya había retrocedido a las riberas actuales del Titicaca.

Sin duda alguna, la existencia de ambos lagos indica, que en las épocas glaciales, el clima de la altiplanicie y de la Cordillera Real ha sido mucho más lluvioso que hoy día.

### c) EL NORTE DESÉRTICO DE CHILE

Chile septentrional constituye la continuación de la zona seca del sur del Perú. En la costa y en la

falda occidental de la Cordillera alta hay un clima completamente desértico. Desde los 3,000 m. de altura para arriba principian precipitaciones atmosféricas regulares que oscilan entre 5 y 10 cm. anuales. Igualmente desfavorable para el desarrollo de glaciares es la sequedad extraordinaria del aire que causa una evaporación muy fuerte; el exceso de evaporación sobre las lluvias es de casi 4 m. en Chuquicamata 2,660 m.) y de 1.50 m. en Collahuasi (4,800 m.).

En vista de estas cifras no puede sorprender que ningún cerro del norte de Chile alcance la línea de las nieves: tanto el Tacora con 5,950 m. situado al interior de Tacna, como el Llullaillaco con 6,700 m. situado al N. E. de Taltal, carecen de nieve eterna. Hacia el sur, la zona seca se extiende también hacia la falda oriental de la cordillera, donde, en territorio argentino, el cerro Cachi (6,000 m.) no contiene glaciares.

En vista de tales alturas anormales casi no puede hablarse de una línea de nieves, tanto más si se toma en cuenta que en los cerros gigantes del norte de Chile no aumentan las precipitaciones, de por sí escasas, con la altura. Según *Penck* las precipitaciones tienen su máximo entre 3,000 y 4,000 m. en el sur del desierto de Atacama; en la época glacial, esta zona se habría hallado a unos 600 a 800 m. más abajo.

También durante el cuaternario la cordillera marítima ha sido una región relativamente seca, como se desprende de la escasa importancia que tienen las formas glaciales en la morfología de los cerros. En el Tacora, la línea de las nieves debe haberse hallado más o menos a 5,000 m., ya que a esta

altura en la falda oriental del cerro se observan algunos circos glaciales con morrenas. A 4,300 m. se halla, al lado del ingenio de la azufrera de Chupisquiña, una gran morrena terminal de la última época glacial. En Tarapacá, en el volcán Chapire situado en la cordillera de Sillajguay, (19°42' L. S.) encontré rocas aborregadas a 4,300 m. mientras morrenas pueden observarse hasta 4,200 m. El valle, en que se hallaban las casas de una pequeña mina de azufre, termina en forma de circo. La línea de las nieves debe haberse hallado en la época glacial a una altura de unos 5,000 m. (falda sur).

Probablemente ninguno de los glaciares cuaternarios del norte de Chile ha tenido una longitud superior a 5-10 km.

De los datos anteriores se deduce que la repartición relativa de las precipitaciones atmosféricas en el norte de Chile y en Bolivia ha sido parecida a la actualidad. Pero, los cambios climatológicos deben haber sido mucho más importantes en Chile que en Bolivia. En la falda oriental de la cordillera, la zona más lluviosa parece haberse extendido más hacia el sur en el cuaternario, según se desprende de las observaciones de *Kuehn* que encontró en el Cerro Cachi bloques erráticos y formas glaciales que descienden hasta 3,000 m.

Un aumento considerable de las precipitaciones atmosféricas en el norte de Chile queda evidenciado por las terrazas de lagos que se observan a alturas considerables en las faldas de depresiones sin desagüe cuyo fondo está hoy día cubierto de un extenso salar o de algunas lagunitas saladas poco profundas. En el salar del Huasco, situado al Este de Pica a 3,700 m., a unos 30 m. encima del fondo



de la depresión, encontré una terraza de abrasión de pocos metros de ancho cortada en la roca viva; tanto la terraza como la falda situada más abajo estaba cubierta de tobas calcáreas, un sedimento químico del lago cuaternario.

Más al sur, hasta la región de Copiapó faltan todos los datos acerca de la extensión de los glaciares cuaternarios que seguramente han existido, aunque en la misma forma reducida que los del Tacora y del volcán Chapire.

#### d) LAS CORDILLERAS DE COPIAPÓ Y DE ELQUI

En la región del Salar de Maricunga, al Este de la ciudad de Copiapó aparecen los primeros cerros que se elevan por encima de la línea de las nieves como puede deducirse de los numerosos cerros designados como «Nevados». *Penck* atribuye a la línea actual de las nieves una altura de 6,300 m. en el Cerro Tres Cruces que se levantan al Este del bolsón de Maricunga. Una glaciación cuaternaria bastante importante, resulta de mis observaciones hechas al pie occidental del cerro; existe allá una gran morrena terminal que en forma de semicírculo cierra una ancha depresión antepuesta al Nevado. Detrás de esta morrena hay un extenso fondo de un lago que posteriormente se ha secado porque el desagüe ha cortado el cordón de morrenas. El término del glaciación en el cuaternario se ha hallado a 4,200-4,300 m. de altura, igual a la región del Tacora.

Ya desde la latitud del Salar de Maricunga aumenta el número de los cerros cubiertos de nieve eterna; pero, debido al acceso muy difícil de las partes más altas de la cordillera, las noticias exac-

tas son muy escasas. Según *Brackebusch*, el cerro del Potro de 5,830 m. de altura situado a 28°23', es el primer cerro que contiene glaciares de cierta importancia. *Risopatrón* dice que el cerro está cubierto de nieve perpetua desde los 5,200 m. cifra que indica probablemente el término de los glaciares.

Más al sur, se halla en el nacimiento del río Huasco, la Laguna Grande a 3,470 m. de altura; la laguna ocupa el fondo de un ancho valle glacial, pero su ribera inferior está cubierta de un gran derrumbe de cerro de modo que no me fué posible observar morrenas terminales típicas. En vista de que más abajo de la laguna, el valle toma formas características de erosión fluvial, podemos considerar los 3,500 m. como término de la glaciación cuaternaria.

En la cordillera de Elqui, menciona *Brackebusch* que cerca del paso de la Agua Negra, en el lado argentino, termina un glaciar a poca distancia de su morrena terminal; esta última tendría una altura de 4,150 m. por lo cual podríamos suponer como límite de los glaciares una altura de unos 4,200 m. Un poco más al norte se halla enteramente en terreno chileno el cerro de Doña Ana de 5,690 m. de altura que también contiene glaciares que no alcanzan tan abajo como en el lado argentino.

En la subida de Huanta al portezuelo de la Doña Ana, a unos 4,300 m. de altura y a unos 300 m. debajo del portezuelo, observé varios circos glaciales que nos indican la altura de la línea de las nieves eternas durante la última época glacial. En esa época, los glaciares de la alta cordillera han tenido una extensión muy grande como resulta de la situación de las grandes morrenas terminales situa-

das en el río de la Laguna a 3,100 a 3,200 m.; el glaciar que los ha depositado debe haber tenido una longitud de 50 km. Detrás de las morrenas terminales se hallaba antiguamente una extensa laguna que más tarde ha sido rellenada por sedimentos y que en parte se ha vaciado por profundizamiento del río de desagüe. Hacia valle abajo las morrenas terminales pasan a sedimentos fluvio-glaciales que constituyen una terraza de 30 a 40 m. encima del fondo del río la que más abajo desciende hasta 10 m. encima del río.

La región del río de la Laguna es interesante porque allá se observan también sedimentos glaciales de otra época glacial anterior. Frente a la desembocadura de la quebrada del Tapado, se halla a unos 100 m. encima del río una importante terraza compuesta de rodados y arcilla de bloques de un espesor de a lo menos 40 m. La misma arcilla glacial puede seguirse también hacia valle abajo; el último punto donde la observé, se hallaba a unos 2 km. valle arriba de Potrero Cortez, a 2,440 m.; forma una terraza situada a unos 40 m. encima del río.

### e) DE OVALLE AL RÍO ACONCAGUA

Al sur de la hoya hidrográfica del río Elqui, la línea divisoria de las aguas sufre una considerable depresión, de modo que hasta el río Choapa no se levanta ningún cerro hasta 5,000 m. de altura, quedando muchas cumbres debajo de los 4,000 m. Pero más al Este, en territorio argentino, la cordillera alcanza sus mayores alturas, en el Mercedario con 6,900 m. y en el Aconcagua con 7,000 m. Debido a esta repartición de las alturas, parece que hay

pocos cerros en el lado chileno que se levanten encima de la actual línea de las nieves eternas, en cuanto se refiere a la región situada al norte del río Alichahue.

En la época glacial, ha habido una glaciación bastante importante. Así, todo el valle superior del río Tascadero, afluente del Río Grande-Limarí, tiene formas netamente glaciales hasta los potreros del Polvo (2,200 m.). No encontré morrenas terminales bien desarrolladas, pero la forma de valles colgados que tienen todos los valles laterales y además, las morrenas irregularmente esparcidas en el valle principal, no dejan duda de que los glaciares se hayan extendido hasta la altura mencionada. Numerosas morrenas situadas en circos a unos 3,400 m. de altura nos indican la situación aproximada de la línea de las nieves en el cuaternario.

En el valle andino del río Choapa cerca de la desembocadura del río Leiva, hay grandes morrenas terminales que en el profundo corte del río principian a 1,600 m. de altura y suben hasta 1,800 m. Debajo de su base, el río ha excavado un valle en las rocas fundamentales de 100 m. de hondura. Tanto la poca altura de estas morrenas, como el trabajo erosivo efectuado por el río después del retiro del glaciar, indican que se trata de sedimentos de la penúltima época glacial.

En el valle principal, las morrenas de la última época glacial no están bien desarrolladas; morrenas se observan en numerosas partes valle arriba del punto mencionado; las mejor desarrolladas se hallan a 2,780 m. de altura, cifra que coincidiría bien con el término de los glaciares del valle de Elqui.

Un paisaje de formas glaciales muy características se observa en la región de la laguna del Pelado, al pie del cordón limítrofe con Argentina. La laguna mencionada es una depresión excavada por erosión glacial, debajo de la cual sigue un gran escalón, a cuyo pie hay otras dos lagunitas, la del Círculo y la Laguna Baya. Aguas abajo de estas lagunitas, a 3,500 m. de altura, hay morrenas frontales de bastante importancia. Pero, en vista de que los kares cuaternarios se hallan en las faldas australes a 3,800 m. y en las orientales a 4,000 m., las morrenas no pueden corresponder a la última época glacial, sino debemos considerarlas como provenientes de un avance postglacial.

Actualmente, la línea de las nieves debería hallarse a unos 4,800 m. en las faldas australes de los cerros del cordón limítrofe. En el lado chileno, esta línea desciende rápidamente hacia el sur; en el valle de la Chicharra, afluente austral del río Choapa observé a mediados de Marzo un extenso campo de nieve con inclinación suave hacia el sur que cubría un cerro situado al Este del Potrero Largo; según la posición, la línea actual de las nieves debería hallarse en las faldas australes a una altura de solamente 4,200 m.; no obstante la época ya avanzada, se observaron muchas manchas de nieve hasta 3,500 m. *Kares* de la época glacial indican que en el cuaternario la línea se ha hallado a solamente 3,400.

En el lado argentino, la línea de las nieves sigue a la misma altura de 4,800 m. según las observaciones ejecutadas por *Kuehn* en el cordón de la Ramada; debido a los cerros gigantes, se han formado grandes glaciares que terminan a 4,000 m.

Las únicas morrenas del cuaternario observadas por *Kuehn*, se hallan a 3,000 m.; han estancado la laguna del Tomé, en la falda occidental de la Cordillera de Ansilta (31°35'). Si estas morrenas corresponden a la mayor extensión alcanzada por los glaciares del cuaternario, y no al avance postglacial, como es más probable, entonces la diferencia entre las glaciaciones de ambos lados del cordón divisorio debe haber sido muy grande.

La región en estudio tiene un interés especial, porque en ella, por primera vez desde la zona tropical, la línea de las nieves se halla en el lado occidental más abajo que en el lado oriental. La falta de grandes glaciares en territorio chileno se debe a la altura relativamente reducida de sus cerros. Pero, en la época glacial, el desarrollo de los glaciares ha sido inverso al actual, porque entonces, el descenso de la línea de las nieves hizo aparecer extensos nevados en el lado chileno de las cuales se han desprendido largos glaciares; mientras en el lado argentino, los glaciares cuaternarios han alcanzado longitudes muy reducidas no obstante la altura mucho más grande de sus serranías.

f) LA GLACIACIÓN ACTUAL DESDE EL ACONCAGUA  
HASTA EL VOLCÁN SAN JOSÉ

Al Este de la línea divisoria de las aguas se levanta el Aconcagua con sus 7,000 m. de altura como gigante aislado entre los demás cerros que vistos desde lejos se pierden en el sinnúmero de las otras cumbres andinas y que, no obstante sus alturas de más de 5,000 m. no parecen más que olas del mar.

La falda norte del Aconcagua está libre de

nieve eterna y glaciares que se hallan solamente muy abajo, en los valles protegidos contra los temporales de viento. En la falda sur la línea de las nieves se hallaría según *Kuehn* a 4,600 m.; además hay varios glaciares de los cuales el más importante es el de Horcones con 6 km. de longitud; según *Reichert* todos están en retroceso rápido. En la última época glacial, los glaciares han descendido hasta 2,900 m. terminando en la región de Puente del Inca.

Al sur del ferrocarril transandino siguen los gigantes andinos; hasta el San José hay seis cerros de más de 6,000 m. de altura y hasta el Tupungato (6,650 m.) el cordón limítrofe tiene solamente tres portezuelos, todos ellos de más de 4,700 m. de altura. Correspondiendo a estas alturas, los glaciares alcanzan dimensiones alpinos, como resulta de los estudios de *Reichert*, *Helbling* y otros; así, el glaciar del Río Plomo, que en el lado argentino baja desde la cumbre del cerro del Río Blanco tiene una longitud de 17 km. descendiendo hasta una altura de solamente 3,165 m. Pero en general los glaciares terminan en el lado argentino entre 3,400 y 3,600 m.; sorprende que en el Tupungato, el cerro más alto y situado más al sur, los glaciares del lado argentino terminen ya a 4,200 y 4,300 m., probablemente porque el Tupungato está situado al S. E. del Cerro Las Polleras y del cordón alto del Juncal, cumbres en las cuales las nubes pierden ya la mayor parte de su contenido en agua.

No encontré datos acerca de la extensión de los glaciares en la época glacial ni acerca de la posición de la línea actual de las nieves; pero a juzgar de los excelentes mapas publicados, debe hallarse

esta línea a los 4,200 m. en la región del C° Juncal, pero en regiones situadas un poco más al Este sube hasta 4,600 y 4,800 m.

*Helbling* explica esto porque la mayor cantidad de nieve se deposita detrás de los cerros donde encuentra protección contra el viento que no permite la acumulación de nieve en las faldas de barlovento. Personas que conocen la fuerza increíble de los vientos en las cumbres altas de la cordillera, comprenden perfectamente esta explicación.

Muy poco conocida es la falda chilena del alto cordón divisorio en la que la glaciación actual debe tener un desarrollo muy grande; un glaciar que desciende del Juncal hacia el río Blanco, afluente del Aconcagua, termina a solamente 2,800 m. según las exploraciones de Reichert. El mismo atrevido explorador observó desde el Tupungato que la glaciación, por lo demás enteramente desconocida, del lado chileno de este cerro era mucho más importante que la del lado argentino.

Antepuesto al cordón limítrofe, escondiéndolo en su mayor parte para los habitantes de Santiago, se halla en territorio chileno el macizo del Cerro del Plomo (5,430 m) y Cerro Altar (5,200 m) que no obstante su menor altura, tiene una glaciación bastante importante.

En el nacimiento del Río Blanco, al norte del cerro Altar, encontré la situación de la línea de las nieves a 4,300 m. de altura, hallándose los términos de los glaciares alrededor de 4,000 m.

El alto cordón limítrofe tiene en el sur un término natural con el portezuelo de las Nieves Negras situado en la falda austral del volcán de San José. Al sur de este punto ya no existen cerros que al-



cancen 5,500 m. de altura. Al pie del portezuelo termina a 2,680 m. el glaciar de las Nieves Negras que debe su nombre a la fuerte cubierta de arenas volcánicas oscuras.

g) LA GLACIACIÓN CUATERNARIA DE LAS HOYAS  
HIDROGRÁFICAS DEL ACONCAGUA Y MAIPO

En el río Aconcagua y en su afluente principal, el río Blanco, en el que termina hoy día un glaciar a solamente 2,800 m., se observan formas glaciales muy bien conservadas hasta 1,300 m. A esta altura se halla la angostura del «Salto del Soldado» que representa un umbral glacial que ha sido dejado por el glaciar y que posteriormente fué cortado por el río, originándose la angostura que parcialmente se estrecha hasta 2 m. de ancho. Aguas arriba, el valle presenta las formas típicas de un cajón glacial. El buen estado de conservación de estas formas indica que el glaciar, que bajó hasta los 1,300 m. de altura, pertenecía a la última época glacial. Pero sorprende que todavía no se conocen las morrenas terminales pertenecientes a la misma época; es posible que éstas se hayan conservado a alguna distancia del camino y se encuentren al hacer un estudio más detallado de la región.

La laguna del Inca (2,840 m.) que se ve desde el ferrocarril transandino, está estancada por una gran morrena de bloques; por su situación alta y análoga a la de las morrenas del cajón del Yeso, atribuimos la morrena de la laguna al avance post-glacial del hielo.

Morrenas más antiguas existen en el valle del río Colina, afluente del Mapocho, en un punto lla-

mado «Los Huinganes», donde se observa el perfil de la figura N.º 4.

Las morrenas forman una altiplanicie ondulada de 1,500 m. de altura situada al sur del río. Según se ve en el perfil, después del retroceso del glaciar, el río no ha dado con su antiguo curso sino que ha excavado en las rocas duras un nuevo valle estrecho de unos 100 m. de profundidad. En el punto x puede observarse la pared rocosa del antiguo valle, cubierta de estrías glaciales un poco borradas. Considerando el gran trabajo de erosión efectuado

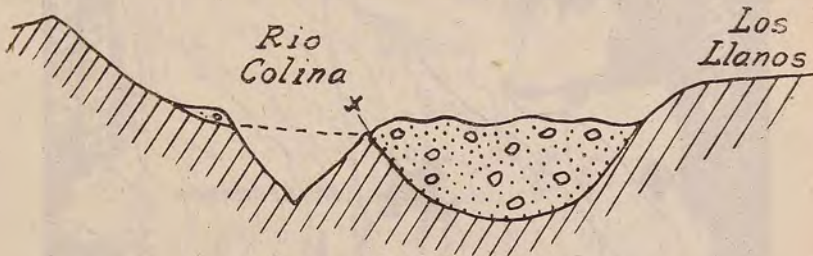


Fig. 4.—Perfil por las morrenas de Los Huinganes, Río Colina.

por el pequeño estero de Colina, debe haber pasado un largo tiempo desde el retroceso del glaciar, razón por la cual debemos atribuir las morrenas de Los Huinganes a la penúltima época glacial. Con esta suposición se explica también la posición relativamente baja de las morrenas, porque los cerros que rodean la hoya del río tienen muy escasa altura, pocos pasan de 3,500 m. Debemos suponer que la línea de las nieves en la penúltima época glacial se haya encontrado debajo de los 3,000 m.

En el valle del Mapocho no he podido descubrir hasta ahora morrenas terminales de ninguna de

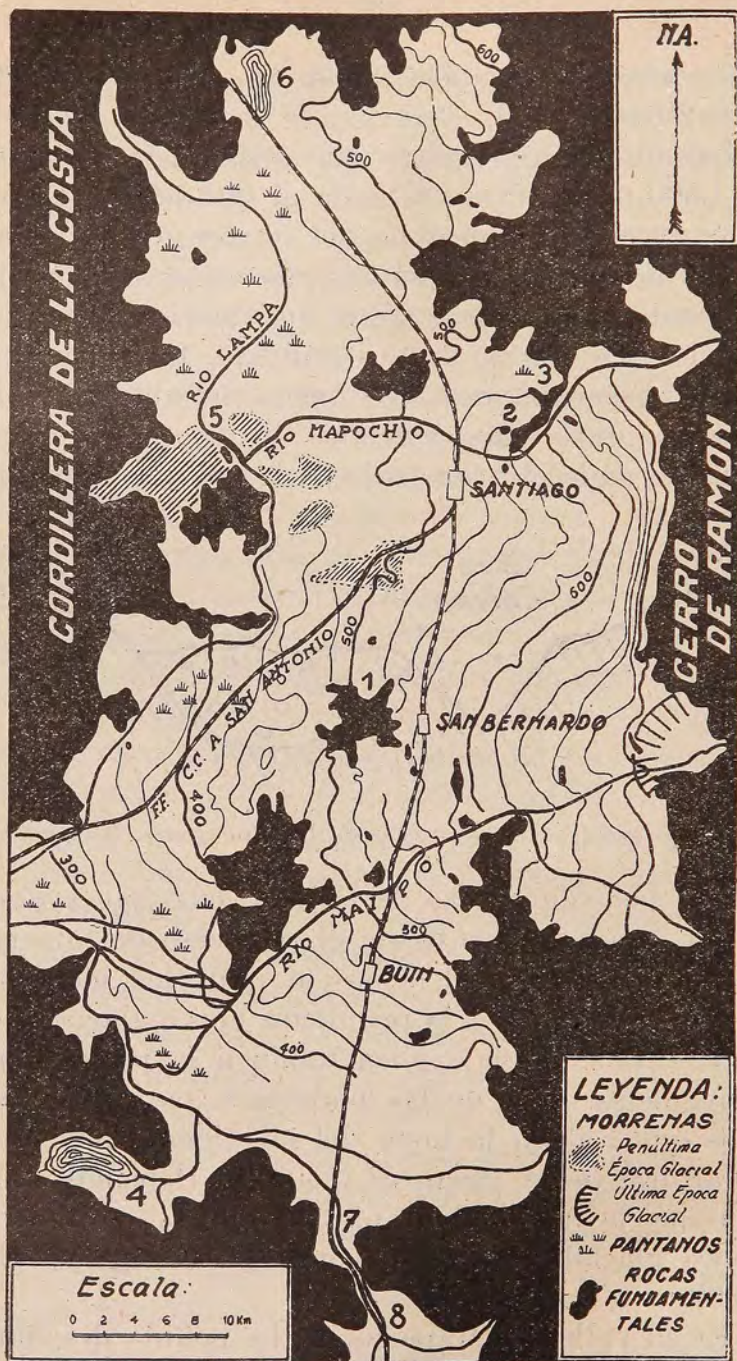


Fig. 5.—Croquis morfológico del Valle Longitudinal de Santiago.

las épocas glaciales; probablemente quedan sepultadas debajo de los rodados que el río ha tenido que depositar a su salida de la cordillera debido al estancamiento detrás del gran cono de rodados depositado por el río Maipo. Rasgos típicamente glaciales se observan hasta 1,200 m. y restos de arcillas glaciales hasta 1,000 m., en las cercanías del puente Nilhue.

Muy importante debe haber sido el aspecto del glaciar del Maipo cuando alcanzó su término en el Valle Longitudinal de Santiago, construyendo su anfiteatro de morrenas en la región de Puente Alto entre 700 y 800 m. de altura. Superficialmente, las morrenas se presentan como un lomaje irregular; cerca del río han sido destruidas en parte por las terrazas. La descomposición superficial no baja mucho más de 2 a 3 m. indicando así la edad relativamente moderna del depósito. Enteramente frescos aparecen especialmente los enormes bloques erráticos que, al sur del camino de Puente Alto a la Obra, yacen en las lomas alargadas de la morrena.

Superficialmente, las morrenas no ocupan mucha extensión de terreno, como puede verse en el mapa de la figura 5. Se debe esto a que, en gran parte están cubiertas por los sedimentos fluvio-glaciales del gran cono de rodados que rellena el valle longitudinal; así, en un pozo de agua excavado en la maestranza de los ferrocarriles de San Bernardo encontró el Dr. Felsch una capa de típica arcilla glacial de 20 m. de espesor, que principia a 34 m. de profundidad y que se apoya en una capa de rodados de más de 30 m. de grueso. Debemos considerar esta arcilla glacial como depositada en un avan-

ce del glaciar resultando el perfil siguiente que nos demuestra el engranaje en forma de cuña que existe entre las morrenas y los rodados fluvioglaciales.

El cono de rodados, se ha conservado perfectamente hasta hoy día; no hay ninguna quebrada que haya surcado su superficie. Solamente el río Maipo ha cortado un estrecho cañón de unos 50 m. de profundidad en la parte superior del cono; pero, más abajo, antes de entrar al valle desfiladero de la costa, alcanza la superficie del cono y, en la región llamada «Isla de Maipo» está depositando una gran parte de sus rodados. Resulta, de la forma bien con-

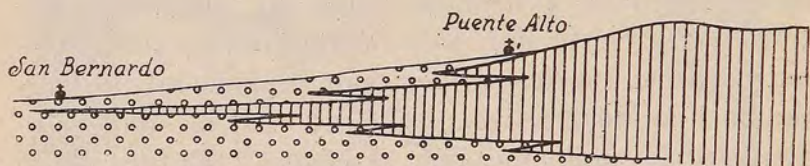


Fig. 6.—Perfil por las morrenas y el cono de rodados del Valle Longitudinal de Santiago.

servada del cono de rodados, que este debe ser bastante nuevo, y lo mismo vale de las morrenas de la región de Puente Alto, que, por esto, deben pertenecer a la última época glacial.

Una extensión mucho más grande han tenido los glaciares de la penúltima época, como resulta de la repartición de sus depósitos, que según uno de sus componentes más característicos, llamaremos *morrenas de piedra pómez*. Estas morrenas componen en el valle longitudinal un extenso lomaje al Oeste de Santiago, que abarca desde Pudahuel hasta el campo de batalla de Maipú, y cuya altura es de unos 450 m. Las lomas presentan un estado muy

avanzado de denudación y hacen contraste con la planicie perfecta del cono de rodados, sobre el cual se levantan en unos 10 a 20 m. Fuera de ese punto, se observan las morrenas de piedra pómez en numerosos otros puntos: así en la rinconada situada detrás del cerro de Lo Aguirre, al Oeste de Pudahuel; al pie oriental del cerro de Chena constituyen una pequeña terraza que se levanta unos 15 m. encima del llano. Frente a La Obra, al sur del río Maipo, aparecen en forma parecida, en una terraza que corresponde a un ancho cajón glacial, más alto que el ocupado por las morrenas de la última época glacial.

Posición parecida tienen las morrenas de piedra pómez en el Toyo, frente a San José de Maipo. El punto más alto, donde observé estas rocas, es la parte inferior del valle del Yeso, un poco arriba de San Gabriel, donde se hallan a unos 300 m. encima del río, en un típico fondo antiguo de valle.

Hacia la costa, pude seguir las rocas de piedra pómez hasta la región de Melipilla, donde también componen una terraza que se levanta unos 10 m. encima del fondo más moderno del valle; entran también al curso inferior del río Puangue, en el cual llegan hasta la hacienda de Ibacache.

En su composición petrográfica, la mayor parte de las morrenas de la última época glacial, presentan el aspecto típico de una toba blanca de piedra pómez; en una masa blanca arenosa, que carece enteramente de estratificación, yacen irregularmente repartidas piedras pómez blancas cuyo diámetro varía entre pocos y 15 cm.; además hay algunas piedras esquinadas de rocas más antiguas, generalmente de porfiritas mesozóicas. Este espec-

to, lo tienen las morrenas en la región de río Yeso, frente a La Obra y en gran extensión en el lomaje al Oeste de Santiago. Pero, en este último punto, hay al lado de la toba blanca también una arcilla de bloques que no deja lugar a dudas acerca de su origen glacial; en esta forma contiene solamente aislados fragmentos de piedra pómez, prevaleciendo las rocas fundamentales, que alcanzan hasta medio metro de diámetro y que a menudo no muestran indicio de haberse gastado sus cantos. También, en la parte más occidental en Melipilla, las morrenas contienen solamente aislados fragmentos chicos de piedra pómez.

Morrenas compuestas de material volcánico, pero más bien de lavas porosas andesíticas de color negro u oscuro, ocupan extensiones muy grandes en las partes centrales y australes del valle longitudinal, especialmente entre el río Laja y Temuco, o en los cerrillos del Teno, cerca de Curicó, donde siempre tienen mayor edad que los grandes anfiteatros morrénicos. La abundancia de material volcánico puede deberse a que, en la penúltima época glacial había una fuerte actividad volcánica; pero más probable es que esa penúltima época glacial, ha sido también la primera, en que los glaciares removían las enormes masas de material volcánico esparcido superficialmente por los volcanes precuaternarios.

Importantes morrenas terminales, que son más nuevas que las de la región de Puente Alto, se hallan en varios cajones de la alta cordillera. Las mejor conocidas son las del río Yeso; debido a su enorme masa, se han extendido a lo largo del fondo del valle en una longitud de unos 12 km., alcanzando

desde los 2,700 m. hasta los 1,670 m. de altura sobre el mar. Forman una larga lengua de terreno poco ondulado que separa el río Yeso de su afluente, del estero Manzanito; ambos ríos, así separados, corren por una distancia de unos 10 km. por el mismo valle. (Fig. 7).

El espesor de la morrena es muy grande; especialmente en la parte superior, extendiéndose la arcilla glacial desde la laguna de los Piuquenes hasta más arriba del nivel de la Laguna Negra, lo que corresponde a un espesor mínimo de 200 m. que bien puede ser el doble porque no se conoce la base rocosa del valle. Según se ve en el mapa, las morrenas han estancado tres lagos. La Laguna de los Piuquenes es el último resto de un gran lago que, rellenaba el valle principal. La Laguna Negra corresponde a la parte inferior de dos afluentes del Yeso que se estancaron detrás de las morrenas. Origen parecido tiene la laguna Encañada, situada a unos 200 m. debajo de la anterior.

Valle arriba, el río Yeso corre al nivel del fondo del cajon glacial, mientras que más abajo este fondo está relleno hasta cierta altura por rodados fluvio-glaciales correspondientes a las morrenas de la Laguna Negra; dos rodados componen una terraza que se levanta unos 30 m. encima del río; la terraza puede seguirse por el río Maipo hasta el valle longitudinal; en Nos, donde la atraviesa el ferrocarril, puede reconocerse todavía claramente como grada en el terreno.

Las morrenas del cajón del Yeso fueron depositadas por un glaciar de una longitud de unos 40 a 45 kilómetros. Son caracterizadas por su aspecto enteramente fresco.



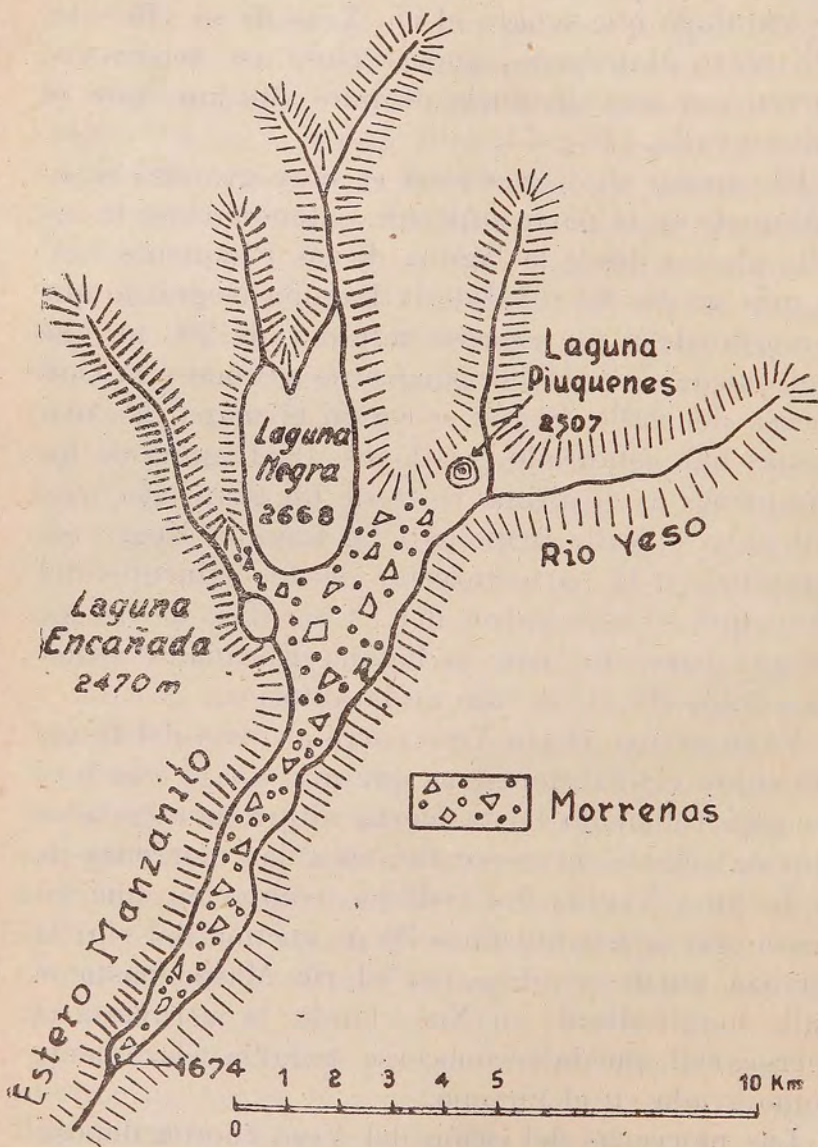


Fig. 7.- Las morrenas del Cajón del Yeso.

En el río Colorado, el afluente principal del Maipo, que nace al pie del Tupungato y Juncal, se hallan grandes morrenas terminales entre Maitenes (1,200 m.) y el Alfalfal (1,400 m.); por todos sus caracteres, especialmente por su relación con la terraza fluvioglacial del río Maipo, deben considerarse como contemporáneas a las morrenas del río Yeso. La misma edad tienen las morrenas terminales situadas en el cajón del volcán entre el Campamento Valdés y La Engorda cuya superficie está cubierta de un enorme amontonamiento de bloques gigantescos; el glaciar que los ha depositado, tenía en parte solamente unos 18 km. de longitud. El Campamento Valdés está situado en una pequeña planicie, que corresponde a un antiguo fondo de un lago; este fué estancado por grandes morrenas terminales que descienden por una quebrada proveniente del norte.

La extensión de los glaciares que han dejado sus morrenas dentro de los valles de la alta cordillera ha sido muy reducida; las de la Laguna Negra corresponden a un glaciar de 40 km. y las del Volcán a uno de solamente 18 km. de longitud. Comparando estas cifras con los 50 km. de longitud que tenía el glaciar del Río Turbio (Coquimbo) en la última época glacial, resulta que las morrenas de ambas regiones no pueden corresponder a la misma época glacial, y que debemos considerar las grandes morrenas de la alta cordillera de Santiago como pertenecientes a un avance postglacial de los glaciares. Con esto resulta también que las morrenas de Puente Alto pertenecen a la última época y las de piedra pómez a la penúltima época glacial.

La extensión de los glaciares cuaternarios en el

*lado argentino* parece haber sido muy reducida, si la comparamos con la fuerte glaciación que caracteriza actualmente la falda oriental del cordón limítrofe. De la región del Juncal-Tupungato nos faltan noticias sobre la extensión de los glaciares cuaternarios. En la Cordillera del Plata, que culmina a 5,700 m. y que está situada al Este del río Tupungato, encontró *Stappenbeck* un resto de morrenas dudosas a 2,500 m. de altura; pero dice que, por lo común, los depósitos glaciales no descienden más abajo de 2,700 m. Hoy día, los pequeños glaciares terminan a 3,950 m. o casi a la misma altura que los glaciares actuales del lado chileno.

#### h) DESDE EL CACHAPOAL HASTA EL TENO

Hacia el sur, la altura de la cordillera disminuye paulatinamente; los cerros más australes de más de 5,000 m. se hallan en los nacimientos del Cachapoal. Estas elevaciones siempre muy considerables y la cantidad ya bastante aumentada de precipitaciones atmosféricas,—en el Teniente cae anualmente más de 1 m. de agua—han dado origen a una glaciación muy importante. Como punto más bajo del término de los glaciares podemos considerar 1,920 m., altura hasta la cual desciende el glaciar de los Cipreses; pero, según *Plagemann*, debemos considerar como término medio de los glaciares actuales la altura de 2,500 m. Según el mismo autor, la actual línea de las nieves se halla entre 3,100 y 3,300 m. de altura. *Guessfeld*, que visitó esta región en 1882, dice que el glaciar de los Cipreses está retrocediendo rápidamente; a 1,730 m. de distancia del término había un gran bloque errático que, se-

gún el arriero, se hallaba 30 años antes en el término del glaciar, lo que corresponde a un retroceso de 58 m. anuales.

Directamente al Este del glaciar de los Cipreses terminan en el lado argentino del cordón limítrofe los glaciares a 2,800 m., estando la línea de las nieves a 3,300 m. de altura. Más hacia el oriente, en el Cerro Risco Plateado (4,860 m.), la línea de las nieves sube a los 3,800 m. y los glaciares descienden solamente hasta los 3,600.

En el valle del Tinguiririca, cerca de la frontera termina el glaciar Palacios a 2,700 m. Al otro lado del Portezuelo de las Damas, en las minas de las Choicas, encontré el término de los pequeños glaciares a 3,400 m. y la línea de las nieves a 3,500 m.

En las lagunas del Planchón o del Teno, termina el pequeño glaciar de Santa Cruz a 2,500 m., poco más arriba del nivel de la laguna inferior separada de ella por una pequeña planicie de rodados fluvio-glaciales y un cordón de morrenas terminales que indican un retroceso reciente del glaciar; la línea de las nieves debe hallarse en la falda sur de los cerros a unos 2,700 a 2,800 m. En la falda norte del volcán Planchón, la misma línea está a los 3,200 m. descendiendo los pequeños glaciares solamente hasta unos 3,000 m. En el lado argentino las cifras correspondientes serían según *Gerth* 3,200 y 2,500.

En las épocas glaciales la extensión de los glaciares ha sido igual a la de la región de Santiago. A la salida del río Cachapoal de la Cordillera pueden observarse dos terrazas; una principal, situada unos 50 a 80 m. encima del río, y otra de 6 a 10 m. que más hacia el Este se levanta hasta 20 m. en-

cima del río. La terraza principal que corresponde también a la superficie del valle longitudinal de Rancagua, está en relación con morrenas que, con su estructura muy característica, pueden observarse en la estación Urzúa, a 675 m. sobre el mar. En la superficie hay también drumlins y muchos bloques erráticos. Según la situación y según su relación con el cono de rodados del valle longitudinal, debemos considerar estas morrenas como contemporáneas con las de Puente Alto; quiere decir pertenecen a la última época glacial. Igual edad debe tener también la arcilla glacial que se observa en los numerosos cortes del canal de la fuerza de Coya.

Más valle arriba, en la región de los Chacayes y a unos 1,000 m. de altura se hallan grandes morrenas terminales pertenecientes al avance postglacial del hielo; río abajo de estas morrenas aparecen las extensas terrazas de rodados en el valle, mientras que río arriba de ellas el valle tiene forma típica de U.

Más al sur, se encuentran importantes morrenas terminales de la última época glacial, a la salida del río Tinguiririca de la cordillera. En forma parecida a las morrenas del cajón del Yeso, los sedimentos glaciales se han extendido a lo largo del valle, separando el río principal de su afluente austral, del río Claro; ambos ríos corren por más de 12 km. por el mismo valle separados por las morrenas que constituyen una clase de meseta entre los dos ríos que tiene el nombre de «Isla de los Briones».

La meseta se compone de arcilla glacial muy típica; la superficie es un poco ondulada, notándose algunos drumlins. La altura de las morrenas en su

extremo Oeste es de unos 600 m., hallándose el río unos 50 m. debajo de la superficie de la meseta; pero más al Este, tanto el río Tinguiririca como el Claro han cortado un valle de a lo menos 100 m. de hondura en la morrena.

Las morrenas del avance postglacial se encuentran entre 1,400 y 1,650 m. de altura; detrás de ellas se halla una extensa planicie conocida bajo el nombre de «Vega del Flacco» que corresponde al fondo de un antiguo lago estancado por estas morrenas.

En el lado Argentino, en el valle del río Atuel, había según Gerth un glaciar de 35 km. de longitud que terminó a 2,100 m. de altura, estancando con sus morrenas frontales a la laguna del Sosneado. Probablemente se trata de morrenas correspondientes al avance postglacial que conocemos en las cordilleras chilenas.

En la región del río Teno, el glaciar de la penúltima época glacial dejó sedimentos parecidos a las morrenas de piedra pómez de Santiago. Se trata de arcillas glaciales cuyos bloques se componen en su mayor parte de lavas porosas de andesitas; los llamados «Cerrillos del Teno» que a 200 m. sobre el nivel del mar, ocupan gran extensión del valle longitudinal de la región de Curicó, son drumlins compuestos por este sedimento. Más al interior, al Este de Los Queñes, la misma roca aparece formando un antiguo suelo del valle que se levanta unos 100 m. encima del río.

Sedimentos glaciales de composición normal, que alternan con rodados fluvioglaciales, aparecen a la salida del río Teno de la Cordillera. Pertenecen probablemente a la última época glacial.

Morrenas correspondientes al avance postglacial, las observé a 1,350 m. de altura, frente a la desembocadura de la quebrada de Maitenes. Aguas arriba, el valle presenta las formas típicas de un cajón glacial, mientras que valle abajo, el río ha excavado en partes, profundas angosturas en el fondo del cajón correspondiente a la última época glacial.

Una morrena mucho más moderna es la pequeña loma que ha estancado las lagunas del Teno, situadas al pie del Volcán Planchón, cuyas aguas tienen una altura de 2,570 m. En vista de la situación muy baja de la actual línea de las nieves, en las épocas glaciales, toda depresión de las lagunas debe haber pertenecido a la región del nevado que alimentó el glaciar del Teno.

#### i) LOS VALLES DEL LONTUÉ Y DEL MAULE

En el valle del Lontué hay condiciones parecidas; pero las enormes corrientes de lava que ocupan grandes extensiones del valle, han cubierto todos los sedimentos glaciales de la última época glacial. Circos glaciales, situados al norte de la laguna de Mondaca, indican que la línea de las nieves eternas se ha hallado en la época glacial a 2,200.

En el lado argentino se levanta, más o menos en la latitud del Planchón, el cerro Los Dedos del Fraile a unos 4,000 m. de altura. Según *Gerth*, en este cerro la línea de las nieves, que actualmente se halla a 3,600 m., descendió en la última época glacial a 2,800 m., y en vez del actual pequeño glaciar de 1/2 km. que termina a los 3,550 m., había un glaciar de 6 km. de longitud con su término a 2,200 m. También del Peteroa, situado en el cor-

dón limítrofe, descendieron glaciares importantes hasta unos 2,200 m., dando origen a los anchos cajones glaciales del Valle de los Ciegos y del Valle Grande.

En la penúltima época glacial, la glaciación ha sido mucho más importante, alcanzando en la época de su mayor extensión un punto llamado Totorá, a 1,800 m. en el Río Grande, correspondiente a un glaciar de unos 45 km. de longitud.

Al oeste de la laguna del Maule, observé desde lejos los glaciares que descienden por las faldas orientales del volcán Yeguas o San Pedro (3,500 m.) y del Cerro Pellado (3,250 m.) y que, según mi estimación parecen terminar a 2,600 m. de altura.

La región de la Laguna del Maule se halla ya fuera de la zona de las grandes precipitaciones atmosféricas, perteneciendo climatológicamente a la falda argentina. Los numerosos cerros de 3,000 m. de altura que rodean la laguna no cortienen nieve eterna, ni en sus faldas australes, mientras que más al norte, en las lagunas del Planchón, en tal situación la línea de las nieves queda indicada por numerosos glaciares de kar. La diferencia no se debe a una situación más oriental de la laguna del Maule, que en realidad se halla solamente 3-4' al Este de las del Planchón; sino que estas últimas tienen una situación más marginal, hallándose rodeados de los primeros cerros altos de la cordillera, mientras tanto, entre la laguna del Maule y el Valle Longitudinal, se intercala una ancha zona de cordilleras que impiden la llegada de mayores cantidades de humedad hacia la laguna.

Debido a estas condiciones, el valle principal ha tenido una glaciación cuaternaria mucho menos



importante que sus afluentes que nacen en las serranías occidentales. En el valle de la Invernada observé morrenas cerca de su confluencia con el río Maule, a una altura de unos 900 m.; han sido depositadas por un glaciar de unos 50 km. de longitud. Las morrenas constituyen un lomaje irregular en que abundan los bloques erráticos; en el valle ocupan una posición parecida a las morrenas del avance postglacial del río Yeso. En gran extensión están cubiertas por arenas volcánicas y por un gran cono de rodados que proviene de un valle lateral; son más antiguas que la gran corriente de lava que termina un poco más valle arriba y que ha estancado la laguna de la Invernada.

En el valle del río Maule se hallan morrenas de la misma edad a 1,200 m. de altura cerca de la desembocadura de la quebrada de la Plata; son de desarrollo muy reducido; más importantes son las que se hallan a 1,480 m. de altura que corresponden a un glaciar de solamente 40 km. de longitud.

Muy poco importantes son las morrenas que cierran la angostura por la cual desemboca la gran laguna del Maule; se trata de unas lomas de pocas hectáreas de superficie que se levantan solamente unos 10 a 20 m. encima del nivel del lago que tiene 2,200 m. de altura. Podemos considerarlas como contemporáneas a la pequeña loma que estanca las lagunas del Planchón.

En forma mucho más grandiosa se presentan las morrenas situadas más al Oeste, en los nacimientos del río Melado, donde han estancado a la laguna de Dial, cuyo nivel se halla a 1,600 m. de altura. La superficie enteramente fresca de las aglomeraciones de bloques gigantescos de estas mo-

rrenas nos indica que no pueden tener gran edad, sino que pertenecen al avance postglacial.

En este caso, la situación bastante alta de las morrenas se explicaría por la escasa altura de los cerros que rodean la laguna y que apenas se levantan encima de los 2,000 m. Muy probable sería también que las morrenas de la laguna de Dial tengan la misma edad que las que cierran la laguna del Maule. En tal caso, habrían existido en el cuaternario las mismas diferencias climatológicas que en la actualidad.

Estas diferencias se notan especialmente bien al comparar las formas del valle Troncoso, del nacimiento principal, del Melado, con las del río Maule. El valle Troncoso es un típico cajón glacial cuyo fondo se halla unos 300 a 400 m. debajo del fondo preglacial. Circos glaciales que se observan en la falda norte del valle indican que la línea de las nieves se halló en la última época glacial a unos 2,000 m. de altura. Morrenas de la misma edad que las de la laguna Dial, se encuentran en la parte superior del valle a una altura de 1,900 m.; su mayor altura corresponde a su situación muy avanzada hacia al Este.

El valle Troncoso presenta formas glaciales hasta la desembocadura del corto afluente que sale de la laguna de Dial; en este punto, la longitud del valle es ya de más de 40 km. En vista de que en el avance postglacial debe haber recibido fuertes afluentes de hielo de los numerosos valles que descienden de los cerros altos como el Longaví, Cerro Pellado, etc., debemos esperar muy valle abajo las morrenas terminales correspondientes a ese avance; a lo menos no podría sorprender si el Melado

hubiera tenido un glaciar de la doble longitud del que existía en el valle del río Maule.

Acercas de la extensión de los glaciares de la última y penúltima época glacial faltan las observaciones; arcillas de bloques se observan entre los primeros contrafuertes de la cordillera, entre el camino de San Clemente a Colorado. *Groeber* menciona una morrena situada a la salida del río Maule a 600 m. de altura sobre el mar que puede corresponder a la última época glacial.

#### j) LA REGIÓN ENTRE CHILLÁN Y TEMUCO

Las cordilleras de esta región pertenecen a las partes menos conocidas geológicamente. Según *Domeyko* termina un gran glaciar que desciende del Nevado de Chillán, a unos 2,150 m. o a solamente 250 m. encima de los baños. La glaciación del macizo volcánico de los «Nevados de Chillán», que culminan a 3,100 m. es muy considerable.

Más al sur, en el volcán Antuco (2,990 m.) y en la Sierra Velluda, (3,580 m.) los glaciares descienden según *Domeyko* hasta unos 2,000 m. *Kühn* atribuye a la línea de las nieves una altura de 2,100 m.

Acercas de la extensión de los glaciares cuaternarios en la región de Chillán sabemos muy poco; *Groeber* encontró una morrena frontal a la salida del río Ñuble de la cordillera. La morrena tiene unos 400 m. de espesor y su base se halla a 300 m. sobre el mar; se extiende fuera de la cordillera hasta Coehueco; pertenecerá a la última época glacial.

Interesantes son las condiciones glaciales del valle del Laja; a la salida de este importante río de

la cordillera y a unos 300 metros de altura, se levanta un gran anfiteatro de morrenas pertenecientes a la última época glacial; detrás de las morrenas que constituyen un zona de 15 km. de ancho, había antiguamente un lago cuyo fondo puede reconocerse todavía como terraza desde el ferrocarril de Antuco. Frente a las morrenas se extiende un gran cono de sedimentos fluvio-glaciales que a poca distancia pasan a las planicies arenosas tan características de esta parte del Valle Longitudinal.

En la penúltima época, los glaciares dejaron sus sedimentos característicos en gran extensión en medio del Valle Longitudinal; en Traiguén entraron también a los valles situados entre los cerros de la costa donde los depósitos glaciales componen las lomas situadas entre Galvarino y Traiguén; el punto más occidental donde los encontré era Idaico en el río Lumaco. En forma esquemática, la figura N.º 8 indica la repartición de las diferentes clases de rocas. Se ve como los sedimentos fluvio-glaciales tienen su mayor desarrollo en la parte norte, y que hacia el sur los sedimentos glaciales de la penúltima época glacial ocupan la mayor extensión de la superficie del llano, constituyendo una serie de mesetas interrumpidas por los profundos valles de los ríos. Esta repartición se debe en primera línea al trabajo erosivo de los grandes ríos Bio-Bio y Laja, que, en gran extensión, han destruído los sedimentos de la penúltima época glacial. Además, los sedimentos fluvio-glaciales del Laja y Bio-Bio cubren una parte considerable de las morrenas más antiguas que aparecen, por ejemplo, en el profundo corte del río Laja.

Los sedimentos glaciales más antiguos se compo-

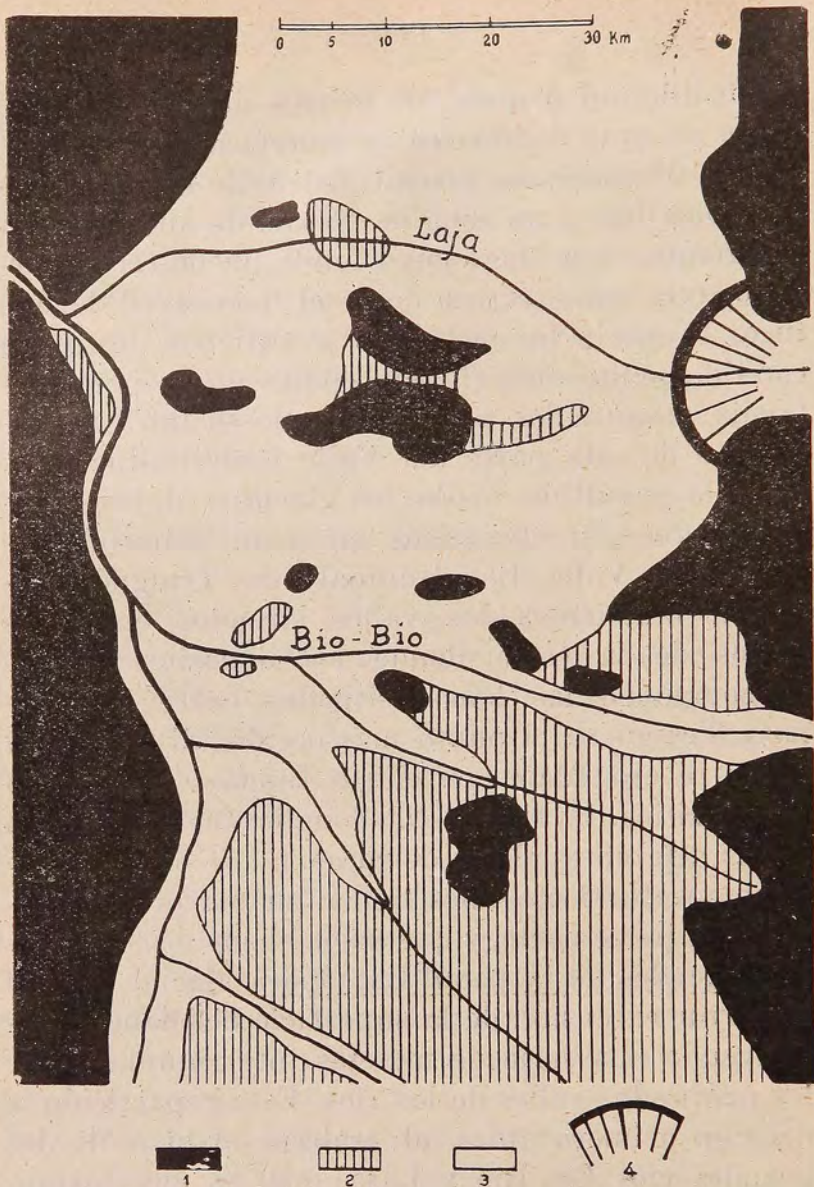


Fig. 8.—Esquema geológico del Valle Longitudinal en la región del Laja y Biobío

1. Rocas fundamentales.
2. Sedimentos glaciales antiguos.
3. Sedimentos fluvioglaciales de la última época glacial.
4. Anfiteatro de morrenas con depresión excavada por el glaciar de la última época glacial.

nen de arenas y arcillas, especialmente de una arcilla glacial con piedras y bloques volcánicos; esta roca está bastante endurecida y constituye el banco duro encima del cual cae el salto del Laja. Además, tiene gran extensión en los alrededores del cerro de los Guanacos. Más al sur ocupa el subsuelo de las mesetas ya mencionadas. El espesor es muy variable; es de solamente 2 m. en el salto del Laja, en la región del cerro de los Guanacos tiene más de 6 m. y más al sur alcanza varias decenas de metros. Las piedras encerradas son especialmente lavas volcánicas, lo que indujo a Domeyko a considerar esta capa como sedimento volcánico. Pero la gran extensión que tiene la roca en el valle longitudinal y su estructura característica no deja duda acerca de su origen glacial. La roca corresponde a las morrenas de piedra pómez de Santiago y a las de los Cerrillos del Teno.

Interesante es la reconstrucción paleogeográfica de la región del Laja durante la penúltima época glacial. Una enorme masa de hielo cubría el valle longitudinal, estancando todos los esteros que bajaron de los cerros de la costa, en cuanto éstos no se filtraron en el hielo. La hoya de los Sauces parece haber formado un extenso lago en que se depositaron las arcillas que abundan tanto en esa región. Según parece, no existía el valle desfiladero del Bio-Bio en la Cordillera de la Costa, que hubiera dado salida a una parte del agua proveniente del deshielo; a lo menos no he encontrado en ninguna parte entre San Rosendo y Concepción sedimentos fluviales de terrazas más altas; la única terraza que acompaña al río en su curso inferior corresponde a los sedimentos fluvio-glaciales de la re-

gión del Laja, indicando así que en la última época glacial existía ya el desagüe por los cerros de la costa. Parece que la mayor parte del hielo se movía hacia el sur y que las aguas de deshielo buscaban su salida hacia el mar por la región de los ríos Imperial y Toltén.

En el volcán Copahue, situado en el límite con Argentina, observó *Groeber* a 2,000 m. el término de un glaciar que desciende por la falda sur. En el lado argentino distingue dos épocas glaciales: en la última, la línea de las nieves se hallaban a unos 1,800 m. terminando los glaciares a 1,500 m.; en la penúltima, las cifras correspondientes son 1,600 y 1,400 m. Pero probablemente las observaciones se refieren, en realidad, al avance postglacial y a la última época glacial.

En el curso superior del Bio-Bio, en la región de Lonquimay, las condiciones climatológicas son parecidas a las de la Laguna del Maule; las altas serranías situadas en el borde del Valle Longitudinal, impiden la pasada de mayores cantidades de precipitaciones atmosféricas, causando un clima relativamente seco. Esto puede observarse muy bien en Lonquimay, donde los densos bosques no pasan al lado oriente del río que ya pertenece a las serranías pastosas de la Argentina.

Al Oeste de Lonquimay, los altos volcanes tienen importantes glaciares que, en la falda norte del Llaima descienden hasta los 1,800 m. y en la falda sur del volcán Lonquimay hasta los 2,200 m. Las cifras no son muy exactas, porque hay una fuerte cubierta de arenas volcánicas que permite reconocer el hielo solamente en aislados puntos en la parte inferior de los glaciares. El límite de las nieves

eternas debe hallarse a unos 2,400 m. de altura en las faldas australes.

Cifras casi iguales encontró *Kuehn* para el Lanin (3,700 m.) situado en la frontera, al S. E. de Villarrica. La glaciación del cerro es muy característica para volcanes apagados; toda la cumbre está cubierta de un casquete de hielo que termina con una pared vertical de unos 30 m. de altura; de la pared se desprenden de vez en cuando avalanchas de hielo. Solamente en dos direcciones salen de ella grandes glaciares; uno de ellos se dirige hacia el N. O. y termina a los 1,800 m., el otro desciende hacia el sur y termina a los 1,500 m. Todavía en 1897 había otro glaciar grande que bajaba por la falda norte, pero estaba en un retroceso tan fuerte que ya en 1909 se había interrumpido su continuidad con el casquete de la cumbre, y en 1918 había quedado solamente una pequeña masa aislada de hielo. La línea de las nieves se hallaría entre 1,800 y 2,000 m.

#### k) LA REGIÓN DE LOS LAGOS DEL SUR DE CHILE

En cuanto se refiere a los sedimentos glaciales del cuaternario, principia con la región de Temuco una zona de condiciones enteramente cambiadas. El valle Longitudinal desaparece y su continuación queda ocupada por una serie de serranías bajas entre las cuales los ríos cordilleranos pasan por anchos valles. Por esto, los sedimentos fluvio-glaciales ya no aparecen en forma de un ancho cono de rodados como en la región del Laja, sino como terrazas dentro de los valles. Morrenas de la penúltima época glacial no se conocen todavía hasta la región de



Osorno; deben esperarse en mayor desarrollo en el valle de Toltén, aguas abajo del Lago Villarrica, y en el curso superior del río Valdivia.

La segunda diferencia grande consiste en que los anfiteatros de morrenas de la última época glacial conservan todavía en su interior los grandes lagos que contribuyen en alto grado a las bellezas del sur de Chile. Se debe esto a que el desarrollo de los glaciares en la última época glacial ha sido tan enorme que ellos salieron lejos del borde de la alta cordillera entrando a la zona de serranías bajas que constituyen la continuación del Valle Longitudinal. Al salir de los estrechos cajones de la cordillera, el hielo se extendía lateralmente dando origen a glaciares de piedmont que excavaron depresiones tan extensas, que a los ríos postglaciales no les ha sido posible rellenar las depresiones. Además los grandes lagos se hallan a tan poca altura encima del nivel del mar que los ríos de desagüe no han tenido suficiente gradiente ni fuerza erosiva para vaciar los lagos por medio del profundizamiento del desagüe.

No carece de interés estudiar los lagos chilenos de origen glacial, en cuanto se refiere a la edad de las morrenas detrás de las cuales se hallan. El lago más septentrional, el de la Laguna del río Turbio (Elqui) se halla detrás de morrenas de la última época glacial, pero constituye una gran excepción. Haciendo abstracción de los pequeños lagos situados en valles escalonados, como la Laguna Verde y otras, los lagos glaciales de Chile central se encuentran detrás de morrenas más modernas. Los lagos más septentrionales, como los del Teno y del Maule han sido estancados por morrenas aún más

recientes que el gran avance postglacial. A este avance mismo debe su origen la laguna de Dial; más al norte las lagunas de esa edad han desaparecido, como lo comprueba la Vega del Flacco en el Tinguiririca y el fondo seco de la Engorda situado detrás de las morrenas del cajón del Volcán. La Laguna Negra, no constituye ninguna excepción porque se halla en un valle lateral, mientras que en el Valle principal el antiguo lago del Yeso se ha vaciado hace mucho tiempo.

Esta repartición de los lagos de diferente edad se debe a que los ríos caudalosos de Chile central han hecho desaparecer las lagunas, sea rellenándolas con sus sedimentos, sea vaciándolas por profundizamiento de sus desagües.

La altura de los grandes lagos del sur es muy irregular; el Villarrica, Calafquén y Puyehue tienen alturas entre 210 y 240 m.; el Panguipulli, Riñihue y Rupanco alturas entre 140 y 172 m.; los dos más grandes tienen las alturas menores, el Ranco 70 m. y el Llanquihue 51 m. Estas diferencias no indican que los glaciares de la última época glacial hayan descendido a diferentes alturas, sino se deben a condiciones topográficas, a la situación más alta o más baja de la región. Prácticamente, los glaciares de esa región han bajado hasta el nivel del mar, nivel que es alcanzado probablemente por el fondo de todos estos lagos.

Las morrenas terminales tienen su desarrollo más importante en la ribera occidental de los lagos donde aparecen con sus formas características de lomas alargadas en dirección paralela a la ribera. Hacia el Este, las morrenas se apoyan en las rocas fundamentales y las riberas suaves de la parte oc-

cidental son sustituídas por riberas rocosas de fuerte declive, que a menudo muestran los indicios de la erosión glacial. Tales indicios, con rocas aborregadas y rocas pulidas abundan especialmente en las pequeñas islas que se levantan de varios de los lagos.

Al oeste de las morrenas terminales se halla la zona de las arenas fluvioglaciales que constituyen un plano suavemente inclinado hacia el oeste que a mayor distancia entra como terraza a los anchos valles de los ríos.

Indicios de una mayor extensión de los glaciares de la penúltima época glacial, los he observado hasta ahora en un solo punto, en Trumao, en la orilla sur del Río Bueno; pero no cabe duda que se puede encontrar también en numerosos otros puntos. La primera región, donde encontré arcilla glacial a la orilla del mar, es la Pta. Godoy, al norte de la desembocadura del río Maullín. Se trata de unos 8 m. de arcilla sin estratificación que contiene irregularmente repartidas piedras, en parte esquinadas, compuestas de rocas volcánicas. La roca está fuertemente descompuesta hasta 6 m. de profundidad; más abajo sigue un manto de 3 m. de arenas y rodados y después vuelve la misma capa de arriba.

### 1) PATAGONIA SEPTENTRIONAL

Como Patagonia septentrional entendemos las serranías andinas situadas entre Llanquihue y el istmo de Ofqui, serranías en las cuales la glaciación toma un desarrollo tan grande que luego deja muy atrás a los glaciares de los Alpes. Bajo condi-

ciones favorables, como extensos nevados situados a grandes alturas, se observan alturas muy anormales del término de los glaciares; así, cerca de Casapangue, desciende un glaciar del Tronador (3,470 m.) hasta 370 m. sobre el mar; pero en el lado argentino del cerro, termina el glaciar del que nace el río Frío, a unos 825 m. La diferencia se debe probablemente sólo a que en el lado argentino el fondo de los valles tiene una altura mucho más grande; así, el Lago Nahuelhuapi, que para toda esta región constituye la base de erosión, tiene una altura de 759 m. Donde las condiciones no son tan favorables, los glaciares terminan a alturas más grandes, como los del Punttiagudo (2,220 m.) a 1,200 m.

La línea de las nieves parece subir hacia la parte central de la cordillera; en el Calbuco (2,015 m.). *Reichert* la determinó a 1,400 m.; pero más al oriente, el cerro Techado (1,880 m.) se levanta muy poco encima de esta línea que, según *Kühn* se encuentra en el Tronador a 1,500 m.

Al sur del estero de Reloncaví, en el cerro Yate, los glaciares descienden hasta 1,600 y 1,500 m. y sólo en la falda austral hasta 1,200; *Steffen* atribuye a la línea de las nieves una altura de 1,600 m. Desde la cumbre de este cerro observó *Reichert* un enorme glaciar desconocido hasta ahora, que desciende del Cordón del Pico Alto; tiene una longitud de 30 a 40 km. alcanzando así las dimensiones del glaciar más grande de Europa. El glaciar dividido por *Reichert* termina a unos 800 m., altura que coincide con otras observaciones hechas por *Steffen* en las cordilleras del río Puelo donde, además, podía comprobar que las faldas orientales te-

nían una glaciación más fuerte que las occidentales.

La línea de las nieves fué observada por el *Dr. Carlos Martín* a 1,300 m. en los cerros de Huainai o Amunátegui, situados al Este del estero de Comau; pero hacia el Este sube considerablemente; en el portezuelo de Navarro (42°43'L. S.) *Krüger* la observó a 1,400 m. y en la falda argentina más seca, en el valle del 16 de Octubre se halla a más de 1,700 m. Al interior del Canal de Poyehuapi (44°25'L. S.) terminan grandes glaciares a menos de 100 m. encima del mar.

La glaciación de Patagonia septentrional ha sido enorme en el cuaternario, aunque hasta ahora se conozcan en el lado chileno sólo los sedimentos de la última época. Comparando el Lago Llanquihue con el seno de Reloncaví, sorprende que no sólo la forma exterior es casi idéntica, sino también la estructura geológica. También en Puerto Montt tenemos morrenas terminales que rodean la ribera Noroeste del seno. Subiendo por el estero de Reloncaví, el más septentrional de los canales patagónicos, notamos luego un sinnúmero de rasgos glaciales; a la misma salida del canal hay grandes rocas aborregadas en la ribera norte, fenómeno que se repite también en las islas Marimeli situadas frente al cerro Yate.

Todo esto indica que el glaciar que ha depositado las morrenas terminales en la región de Puerto Montt, ha descendido por el valle del Estero de Reloncaví. Al salir de la cordillera, se extendió en forma de un ancho glaciar de piedmont, excavando la depresión del Seno de Reloncaví. Interesante es la repartición de las profundidades en estas bahías,

que se puede estudiar en la figura N.º 9. Se ve que las profundidades del golfo no son muy importantes, en término medio de solamente 300 m., excepción hecha de una faja más profunda que corre a lo largo de la orilla oriental; mientras que las profundidades más grandes se hallan en el valle relativamente estrecho del canal de Reloncaví. El mismo fenómeno de que las honduras máximas se hallan en los valles cordilleranos se encuentra aún mejor desarrollado en el estero de Comau, situado un poco más al sur, y en escala grandiosa en el río Baker. En este canal tenemos una serie de depresiones que en parte alcanzan hasta 1,400 m. interrumpidas por zonas de una profundidad mucho menor, mientras que en la costa abierta del Golfo de Penas las profundidades son inferiores a 400 m. Esta repartición de las honduras se conoce también en los fiords de Noruega y se explica solamente por la erosión glacial que, según hemos visto más arriba, es capaz de excavar valles que por cierta distancia tienen declive inverso. La gran diferencia entre la parte cordillerana y la región del antiguo glaciar del piedmont se explica porque en el valle relativamente estrecho de la cordillera, el hielo ha tenido no sólo un espesor, sino también una velocidad mucho más grande que en la zona de piedmont, donde el hielo se ha extendido lateralmente. Ambas propiedades,—el espesor porque origina una presión más grande dentro del hielo,—hacen aumentar considerablemente la fuerza erosiva del glaciar dentro de la cordillera.

También el lago Llanquihue debe haber tenido antiguamente una continuación cordillerana parecida al Estero del Reloncaví, que fué constituída por el

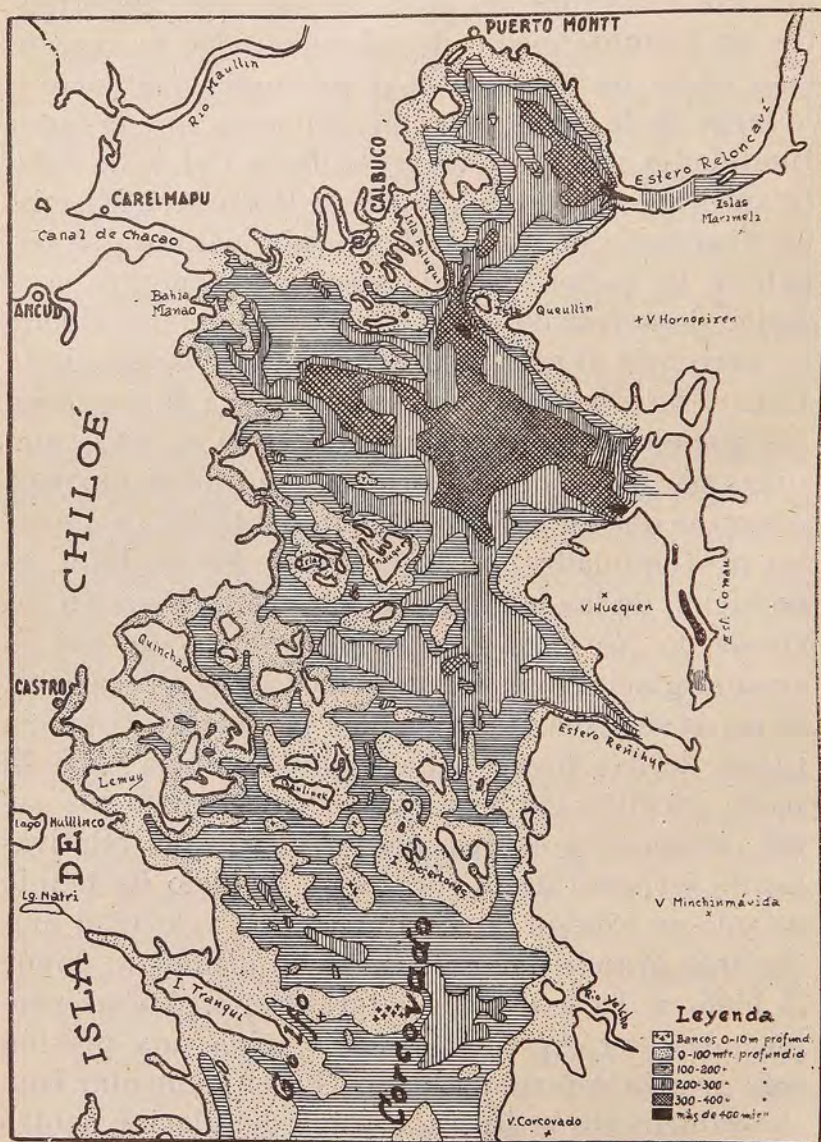


Fig. 9.—Mapa batimétrico de los golfos situados al Este de la Isla de Chiloé.

lago Todos los Santos. El gran cajón glacial ocupado por este lago continúa en dirección hacia el Oeste.

Si estudiamos el mapa de profundidades de la figura 9, notaremos que al sur del seno del Reloncaví, siguen varios otros golfos de condiciones morfológicas parecidas. Entre éstos tenemos primero el Golfo de Ancud, o más bien su parte septentrional. El glaciar que excavó esta depresión descendía por el estero de Comau y alcanzó la costa oriental de Chiloé donde observé morrenas típicas en la región de Manao. El glaciar de Comau, como podemos llamarlo, quedó separado del de Reloncaví por las actuales islas de Puluqui y Queullin, entre las cuales hay un canal profundo; este último corresponde a un antiguo desagüe del lago que antes del último hundimiento de la costa ocupaba la región del seno de Reloncaví. Hacia el sur, el glaciar de Comau parece haberse unido al glaciar de Reñihue.

Más al sur, las condiciones parecen haber cambiado uniéndose los diferentes glaciares que descendieron por los valles del Yelcho, Corcovado, etc., en una sola masa de hielo que ocupó la región del Golfo Corcovado hasta una distancia desconocida.

Interesantes son las numerosas bahías de la costa oriental de la isla de Chiloé que al Oeste quedan limitadas por las morrenas terminales, indicando así que el borde del gran glaciar no ha sido una sola línea recta, sino que se ha compuesto de numerosos lóbulos. Resulta de esto una semejanza muy grande con la costa báltica de Alemania, donde tenemos bahías idénticas como la de Kiel, de Flensburg, etc., conocidas bajo el nombre de Foehrdén.



Siguiendo hacia el sur, llegamos a la región del Canal Moraleda y de las islas Chonos. Por todos los canales de esa región han descendido en el cuaternario gigantescos glaciares, uniéndose todos en un solo glaciar enorme que bajó por el canal Moraleda; pero la cantidad de hielo ha sido tan enorme que el hielo rebalsó por innumerables portezuelos hacia el occidente; por la erosión se profundizaron estos portezuelos y dieron origen al sinnúmero de canales que atraviesan las islas Chonos y Guaitecas.

Acercas de la situación de la línea de las nieves en la época glacial carecemos de noticias; pero en la región tratada siempre debe haberse hallado a algunos 300 a 500 m. Enteramente desconocida es la extensión que puede haber tenido la glaciación en la penúltima época glacial.

### m) PATAGONIA AUSTRAL

Consideramos como límite entre Patagonia septentrional y austral la región del istmo de Ofqui donde el primer glaciar alcanza el nivel del mar y donde principia también el enorme campo de hielo que, con la única interrupción del canal de Baker se extiende por casi 700 km. de longitud.

Nuestros conocimientos de esas regiones heladas y azotadas por continuos temporales, los debemos exclusivamente a las audaces exploraciones de los señores *Reichert* y *Hicken* de Buenos Aires.

El campo septentrional constituye un manto continuo de hielo de unos 40 km., hallándose la superficie del hielo a unos 1,000 a 1,200 m. de altura. Desde los 1,000 m. el campo está cubierto de nieve de nevado, cifra que nos indica la actual posición de

la línea de las nieves. El hielo rellena un gran valle longitudinal que separa los cerros relativamente bajos de la costa de un cordón de cerros muy altos, todos de más de 3,000 m. siendo el más alto el cerro San Valentín con 4,060 m. Estos cerros no constituyen un cordón continuo sino cada una de sus cum-

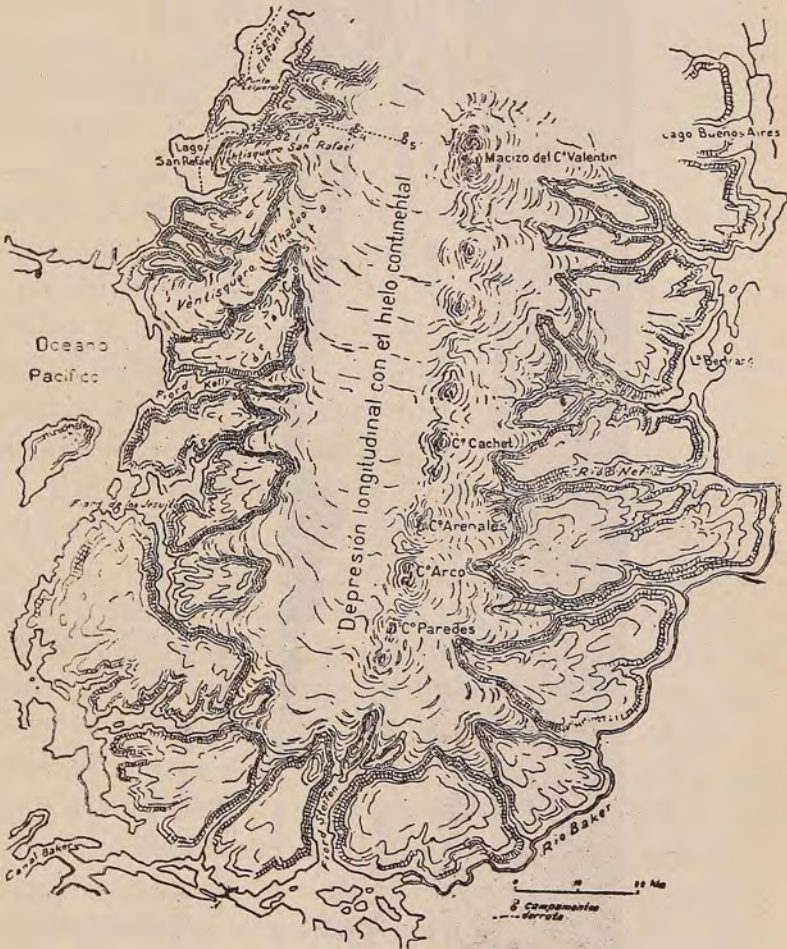


Fig. 10.—Croquis del Hielo continental al interior de Ofqui.  
Según Reichert.



Fig. 11—Panorama del hielo continental al interior de Ofqui. Según Reichert.

A la izquierda el Cerro San Valentín. En el medio atrás el cordón de cerros altos. A la derecha los cerros de la costa; el glaciar que se pierde entre estos cerros es el San Rafael.

bres se halla separada de la vecina por abras anchas por las cuales avanza el hielo hacia el Este. Como región de alimentación del campo de hielo debe considerarse especialmente el cordón oriental, hacia donde el glaciar sube paulatinamente; la glaciación de este cordón es tan fuerte que en la depresión longitudinal no alcanza a derretirse enteramente el hielo, de modo que la depresión se rellenoó hasta una altura tan grande que el hielo sale hoy día de la línea de las nieves. Por esto, todo el enorme campo de nieve pertenece a la región de alimentación, lo que explica también la ausencia de morrenas superficiales. Los glaciares que se desprenden de este nevado gigantesco, entran a los numerosos valles que descienden hacia los canales patagónicos donde terminan en el nivel del mar. El primero de ellos es el glaciar de San Rafael que termina en el lago del mismo nombre, abriéndose en forma de abanico. Un poco más al sur se halla el glaciar Tadeo que tiene cerca de su término un ancho de 10 km. El gran campo de hielo de Ofqui repite en escala reducida las condiciones que, en las épocas glaciales, existían en el canal de Moraleda, donde también la masa principal de hielo ocupó un gran valle longitudinal, mandando numerosos glaciares por los valles que conducen hacia el Oeste.

Los glaciares marginales del lado oriental terminan a alturas mucho más grandes al interior de los valles que desembocan en el Lago Buenos Aires, o en su desagüe, el río Baker. El glaciar más oriental que desciende al nivel del mar, termina en el canal Steffen, ramo septentrional del canal de Baker. La diferencia entre el lado chileno y argentino se debe a que este último es mucho más seco que el primero.

El campo austral de hielo ha sido explorado por *Reichert* y *Kühn* en la región situada al Oeste del lago Viedma. También en este punto el hielo rellena depresiones longitudinales. Pero, éstas son de anchos mucho más reducidos debido a que el cordón fronterizo Mariano Moreno se levanta en el medio del campo de hielo. Donde el cordón termina hacia el norte, se halla el «Paso de los cuatro glaciares» que es una ancha región plana de hielo rodeada de serranías más altas; desde este punto se dirige el hielo en cuatro diferentes direcciones, sin que sea posible distinguir una línea divisoria. Dos brazos van hacia el Pacífico donde desembocan en forma de glaciares marginales en los canales del Falcón y de Eyre. El tercer brazo va hacia el N. E. hacia el lago San Martín, y el cuarto forma el gran glaciar de Viedma, que termina en el borde del lago del mismo nombre a una altura de 250 m. sobre el mar. Esto significa que a esta latitud de  $49\frac{1}{2}^{\circ}$  también los glaciares del lado argentino descenderían al nivel del mar, si la topografía lo permitiera. Según la descripción del viaje ejecutado por *Reichert*, la línea de las nieves parece hallarse en el gran glaciar de Viedma a una altura de unos 1,200 m.; debido a la situación bastante oriental de esa región esta cifra es superior a la altura indicada más arriba para Ofqui.

Debemos discurrir ahora brevemente si estos enormes campos de hielo merecen el nombre de hielo continental, como lo supone *Reichert*, o si se trata de un tipo especial de glaciación para el cual *Kuehn* ha propuesto el nombre de tipo patagónico. *O. Nordenskjoeld* compara los campos de Patagonia con ciertos glaciares de Espitzbergen. Si to-

mamos como característica principal del hielo continental la ausencia de una línea divisoria bien pronunciada en la región del nevado, no cabe duda de que en Patagonia, especialmente en la región de Ofqui, existe verdadero hielo continental. Kuehn se basa especialmente en la circunstancia de que el campo de nieve se alimenta en cordones más altos que lo rodean. Esto no puede negarse, pero las observaciones de Reichert comprueban claramente que también todo el campo de hielo pertenece a la región de alimentación, de modo que la ablación se limita a los numerosos glaciares marginales que en parte entregan el exceso de hielo a los canales en forma de témpano. La consecuencia de esto es la ausencia de morrenas superficiales en la región de Ofqui, fenómeno muy característico para el hielo continental. En el glaciar de Viedma se observan numerosas morrenas superficiales, especialmente en la parte inferior; en realidad, en esta región la glaciación es mucho menos extensa y se puede dudar si merece el nombre de hielo continental, aunque en el punto del Paso de los cuatro Glaciares no hay ninguna línea divisoria pronunciada.

Por las razones expuestas, debe considerarse, a lo menos, el gran campo de hielo situado al Este de Ofqui como verdadero hielo continental.

Naturalmente hay, fuera de los gigantescos campos de hielo que acabamos de describir, también numerosos glaciares grandes del tipo alpino.

Más al sur, la glaciación principia a disminuir considerablemente, porque al acercarnos a Magallanes, toda la región de la cordillera principia a disolverse en una serie de islas atravesadas por profundos y largos canales; además, la elevación

de la cordillera disminuye fuertemente, habiendo al sur del Lago Argentino sólo aisladas cumbres que se levantan más allá de los 2,500 m. Si la cantidad de las lluvias disminuye también, es difícil decir, ya que ella depende tanto de las condiciones orográficas del punto de observación; además, el número de estaciones meteorológicas es muy escaso en esos parajes. En 1918, la estación de Bahía Félix (53° L. S.) tenía 518 cm. de lluvias contra 573 cm. del Pillán de Reñihue, frente a Chiloé, lo que no constituye ninguna disminución considerable.

Hacia el sur, la línea de las nieves sigue descendiendo, hallándose, según *Steffen*, en la parte occidental del Estrecho de Magallanes, a solamente 900 m. de altura; pero las condiciones desfavorables que acabamos de mencionar impiden la formación de extensos campos de hielo continental.

La comparación que haremos más abajo entre la glaciación de Patagonia y los Alpes, nos indica que la extensión actual de los glaciares patagónicos y la posición de la línea de las nieves corresponde a las condiciones que en la época glacial existían en Europa. Pero en esa misma época la glaciación de Patagonia ha sido aún mucho más grande, que la actual. En la costa del Pacífico, carecemos de observaciones acerca de la extensión de los glaciares; solamente puede decirse que los glaciares descendieron por todos los canales llegando al mar abierto donde dieron origen a un sinnúmero de icebergs. Como depósitos de estos icebergs podemos considerar los bloques erráticos que se encuentran en Cerro Verde, al norte de Penco; se componen especialmente de granitos y otras rocas cristalinas que

yacen encima de las areniscas del terciario carbonífero. Depósitos parecidos pueden esperarse también en numerosos otros puntos de la costa.

En el lado argentino, los grandes lagos indican la extensión alcanzada por los glaciares en la última época glacial. El lago más septentrional que alcanza el borde de las mesetas es el Nahuelhuapi. Más al sur, siguen una serie de lagos de tamaño relativamente reducido, lo que se debe a que la línea divisoria de las aguas se halla en la parte oriental, a veces al pie de la Cordillera; en vista de que debe haber tenido esta posición ya antes del diluvio, la mayor parte de los grandes glaciares cuaternarios siguió el declive natural de los valles en dirección al Pacífico. Los glaciares, que excavaron los pequeños lagos de La Plata, de Fontana, etc., nacieron en las faldas orientales de la cordillera, que son relativamente secas, razón por la cual no han alcanzado grandes dimensiones.

Pero en la región de Ofqui, la glaciación cuaternaria alcanzó dimensiones tan grandes que los valles trasversales que atravesaban toda la cordillera como el del río Baker, el del río Pascua, etc., ya no eran suficientes para conducir la enorme producción de hielo hacia el Pacífico. Por esto, los extensos campos de hielo de la región central de la cordillera mandaron gigantescos glaciares hacia las pampas argentinas, donde excavaron los grandes lagos Buenos Aires, San Martín, Viedma, Argentino etc., depositando al mismo tiempo sus morrenas terminales al Este de ellos. Estas constituyen en el lago Buenos Aires la actual línea divisoria de las aguas entre el Atlántico y el Pacífico.

Los lagos se componen de dos partes muy distin-



tas, una occidental, situada entre las altas serranías y que corresponde a los fjords de la costa del Pacífico, y otra parte ancha excavada por el glaciar de Piedmont que se extendía entre las mesetas patagónicas. En forma menos perfecta pueden distinguirse estas dos partes también en varios de los lagos del sur de Chile, especialmente en el lago Puyehue.

Los morrenas constituyen magníficos anfiteatros, compuestos a veces de 5 cordones distanciados unos 300 a 400. entre sí. *Hauthal* distingue tres diferentes épocas glaciales, de las cuales la primera era la de mayor extensión y la última la de menor, correspondiendo a la última las morrenas situadas al Este de los grandes lagos.

En el Pacífico, el hielo debe haber alcanzado el mar con largo frente, del cual se desprendían continuamente numerosos icebergs. En la falda oriental, el hielo habrá descendido de las serranías bajas probablemente también en forma de una capa continua; pero en los puntos donde había una comunicación más abierta con las serranías altas del occidente, avanzó el hielo en forma de extensos lóbulos que dejaron en su frente a las grandes morrenas terminales, detrás de las cuales excavaron extensas depresiones, como las bahías de Skyring y de Otway. Estas bahías constituyen la continuación de los grandes lagos patagónicos, presentando como ellos una parte oriental ancha que corresponde al glaciar de Piedmont y una parte occidental de forma de fjord, por la cual descendió el hielo. Solamente, la situación baja del terreno, sea debida a un hundimiento de la costa o más bien a la fuerte erosión glacial, ha permitido al mar pe-

netrar a las depresiones situadas en el lado oriental de la cordillera.

Los lóbulos más importantes se hallaban en el Estrecho de Magallanes y en la zona baja que de la Bahía Inútil se extienden hacia el Este. En ambas partes, los glaciares alcanzaron el Atlántico, durante la época de la mayor extensión del hielo. Otro anfiteatro de morrenas, se observa al Este del lago Fagnano (F.); corresponde probablemente a la última época glacial.

## 2) Resumen de la Geología Glacial de Chile

Todos los datos dados en las páginas anteriores se encuentran reunidos en la figura 12. He tomado en cuenta con preferencia alturas normales del término de los glaciares, suprimiendo puntos excepcionalmente bajos, porque solamente así se pueden obtener curvas de cierta regularidad. No tomé en cuenta la falda argentina; más arriba se han mencionado las diferencias que ofrece en comparación con el lado chileno. Excepciones constituyen naturalmente los cerros del cordón divisorio de las aguas y aún sus faldas orientales.

Las irregularidades que ofrece la curva L. N. a, se deben en parte al escaso número de observaciones; la línea indica claramente que el descenso entre el Aconcagua y el Planchón es más rápido que en otras partes del perfil. Igual fenómeno puede observarse también en la curva G. a, aunque en ella se producen irregularidades debido a la orografía; la gran influencia de ésta se ve en el Tronador donde, fuera del término medio de los glaciares, se

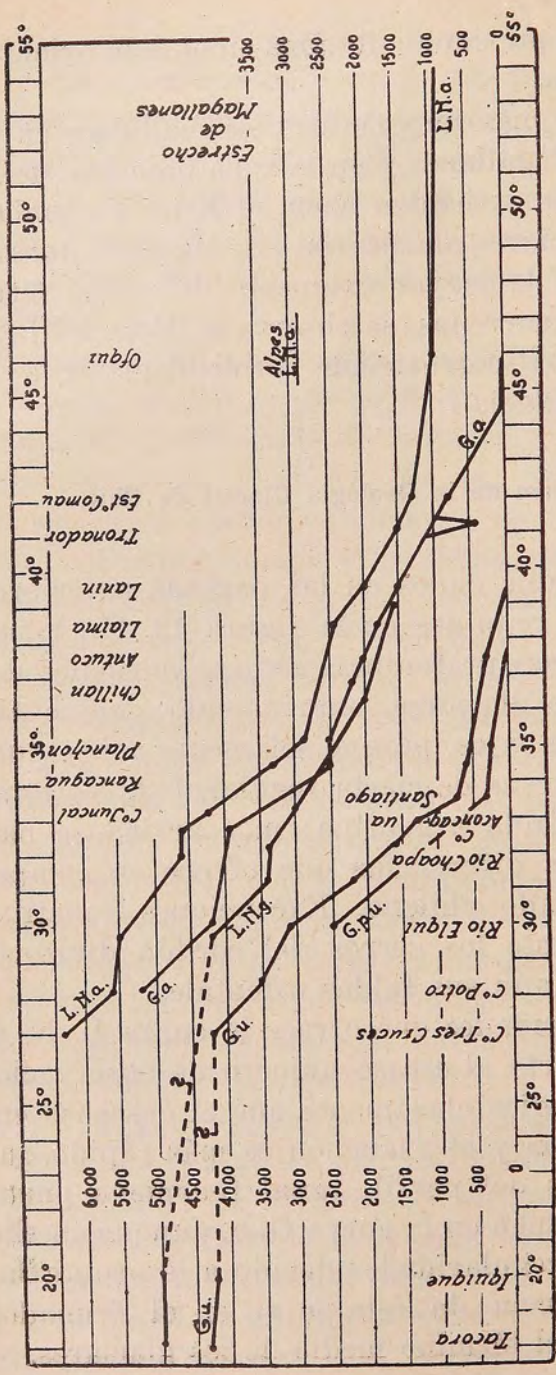


Fig. 12.—Diagrama de los caracteres glaciales de los Andes chilenos.

L. N. a. = Línea de las Nieves en la actualidad.

L. N. g. = Línea de las Nieves en las épocas glaciales.

G. a. = Término de los glaciares en la actualidad.

G. u. = Término de los glaciares en la última época glacial.

G. p. u. = Término de los glaciares en la penúltima época glacial.

ha indicado también el término del glaciar de Casapangue.

En vista de que todas las observaciones contenidas en la figura 12, las he hecho en viajes rápidos dedicados especialmente a estudios de otra índole, no me ha sido posible distinguir las líneas de las nieves correspondientes a las dos épocas glaciales, sino que las he reunido en una sola curva. Se ve que esta curva tiene en el norte una distancia mayor de la actual línea de las nieves—son 1,250 m. en Elqui—que en la parte central del país, donde la distancia vertical es de solamente 700 m. Esto indica que los cambios climatológicos han sido más grandes en las regiones semiáridas que en la zona más lluviosa del centro del país.

El fenómeno contrario lo demuestran las dos curvas de los términos de los glaciares (G. a. y G. u. g.), que en Chile central tienen mayor distancia entre sí que en el norte. La explicación se encuentra en las condiciones orográficas. En el norte del país los cerros altos que en el cuaternario han salido de la línea de las nieves y que por lo siguiente, han tenido una glaciación, se limitan casi exclusivamente a la línea divisoria de las aguas. Un glaciar que, descendiendo de uno de estos cerros, se alejó del cordón fronterizo, recibió sólo excepcionalmente otros afluentes, de modo que no podía alcanzar mucha longitud. Además, en las partes centrales de las cordilleras septentrionales, los valles tienen escasa inclinación. La consecuencia de ambas causas es que los glaciares cuaternarios no descendían a alturas mucho menores que las de sus actuales sucesores. Aún el glaciar del valle supe-

rior de Elqui que tenía 50 km. de longitud, bajó solamente hasta 3,100 m.

En Chile central aún los cerros más distantes del cordón divisorio pasaron en la época glacial de la línea de las nieves y mandaron numerosos afluentes al glaciar que descendía por el valle principal, de modo que este glaciar podía alcanzar una longitud considerable, porque aumentó continuamente en masa o porque los afluentes, a lo menos, eran capaces de sustituir el hielo que se perdía por ablación. Además, los glaciares encontraron en el valle longitudinal de Chile central una depresión muy baja situada cerca de su nacimiento que permitía al hielo vencer en curso rápido una diferencia considerable de altura; en realidad en Santiago, el borde del valle longitudinal se halla en línea recta a solamente 60 km. del cordón divisorio.

Muy interesante es la comparación de la actual línea de las nieves con la de los Alpes; esta última se halla indicada encima de Ofqui, región a la cual corresponde por su latitud geográfica. Se ve que la diferencia vertical es más grande que la que hay entre las curvas L. N. a. y L. N. g., lo que significa que, en comparación con el hemisferio norte, parecemos hallarnos en una época glacial. La explicación de este fenómeno, nos ocupará en el párrafo siguiente en el cual estudiaremos brevemente las causas de las épocas glaciales.

### 3) El origen probable de las épocas glaciales

Antes de tratar brevemente las diferentes teorías generales acerca del origen de las épocas glaciales, debemos estudiar las condiciones climatológicas que favorecen una fuerte glaciación.

Los dos factores más importantes que hacen crecer a los glaciales son grandes cantidades de nieve y temperatura baja, especialmente durante el verano ya que la temperatura de invierno siempre debe estar debajo de  $0^{\circ}$ , sin que importe si se trata de  $-5^{\circ}$  ó de  $-20^{\circ}$ .

En su obra monumental sobre la glaciación de los Alpes, *Penck* y *Brueckner* llegan a la conclusión de que los diferentes avances de los glaciares alpinos son causados en primera línea por un descenso de la temperatura de verano, debido a lo cual la ablación en los glaciares ha sido mucho menor. Que las precipitaciones atmosféricas no han sido mucho más abundantes, lo deducen de la observación de que la cantidad de nieve existente en los nevados no ha sido mayor que actualmente.

Para el sur y centro de Chile pueden valer estas ideas, porque allá las cordilleras tienen abundantes precipitaciones atmosféricas. Pero en la zona seca del norte debemos suponer un fuerte aumento de las lluvias, no obstante las dimensiones reducidas de los glaciares cuaternarios. Las terrazas de antiguos lagos en depresiones hoy cubiertas por salares, especialmente los grandes lagos cuaternarios de la antiplanicie de Bolivia, indican tal aumento considerable de las precipitaciones atmosféricas, porque serían imposibles con un exceso de evaporación de 1.5 m., tal como se observa en Collahuasi, punto que con su altura de 4,800 m. se halló cerca de la línea de las nieves. La situación de la línea de las nieves y el desarrollo de los glaciares que había en el cuaternario en Tarapacá, nos indica que había entonces allá un clima parecido al que

actualmente reina en la región comprendida entre los ríos Elqui y Choapa.

La importancia de las precipitaciones atmosféricas, sin las cuales aún las temperaturas más bajas no son capaces de producir una época glacial, se ve en el ejemplo de Siberia, donde el suelo está congelado hasta centenares de metros, sin que se haya formado hielo continental. Mucho contribuye a esto la temperatura muy alta de los meses de verano; la temperatura media de ellos es en unos 7° más alta que la del sur de Groenlandia.

Donde los dos factores favorables, temperaturas bajas de verano y fuertes precipitaciones se reúnen, tenemos una glaciación muy fuerte, como en los Andes de Patagonia y en Alaska. Especialmente sorprendente es la fuerte glaciación de Patagonia, donde el hielo continental de la región de Ofqui se halla en el mismo grado de latitud en que, en el hemisferio norte, se encuentran los Alpes (Ginebra y Bozen). Según *Nordenskjoeld*, la temperatura de verano observada por él en la costa de Ofqui, corresponde a la del Cabo Norte de Europa. (71° L. N.). Al mismo tiempo, las precipitaciones atmosféricas de Patagonia occidental pertenecen a las más altas que se conocen. Ambos fenómenos, unidos a la existencia de serranías de más de 3,000 m. de altura, son las causas de la enorme glaciación de Patagonia.

A las mismas causas se debe la fuerte glaciación cuaternaria de Chile central que parece extraordinaria si la comparamos con las regiones correspondientes del hemisferio norte. En Santiago, situado a la misma distancia del ecuador que el estrecho de Gibraltar, los glaciares de la última época glacial

descendieron hasta los 500 m. y, en la penúltima época, casi hasta el nivel del mar. En término medio, en el cuaternario, la línea de las nieves debe haberse hallado a los 3,000 m.; según *Broeckman*, en la hoya del río Maipo situada arriba de La Obra, las alturas superiores a 3,000 m. ocupan una superficie de más de 2,700 km<sup>2</sup>. Esto significa que sólo la región de alimentación del glaciar del Maipo era casi tres veces más grande que todo el campo de nieve y hielo de Justedal en Noruega.

Tomando en cuenta que en el caso del glaciar del Maipo, todo el exceso de nieve caída en los nevados, tenía que bajar por un solo valle y no por numerosas lenguas de glaciares como en el caso noruego, entonces se comprende que el glaciar del Maipo haya bajado a regiones tan bajas. La situación relativamente baja de la línea de las nieves eternas que causó la fuerte glaciación cuaternaria se explica por la considerable cantidad de precipitaciones atmosféricas, que todavía hoy día serán superiores a 1 m. en la alta cordillera de Santiago, cifra que se ha observado en el Teniente a una altura de solamente 2,100 m. y que, según hemos visto más arriba, en las épocas glaciales, debe haber sido mucho más grande.

Después de conocer las causas climatológicas de una fuerte glaciación, estudiaremos algunas de las numerosas teorías que tratan de explicar los cambios climatológicos.

La *teoría de la pendulación* supone que, fuera de los polos de rotación, existían otros dos polos, situados en Ecuador y Sumatra, entre los cuales el globo terrestre oscila lentamente, moviéndose el eje de rotación entre ellos; por ejemplo, oscilando



hasta 30 a 40° hacia el sur, quiere decir, al hallarse el polo norte en el sur de Escandinavia, se produciría una época glacial en Europa. De manera análoga, en el permiano, el polo sur se había acercado a la punta sur de Africa, causando la época glacial del permiano. Pero en tal caso, los dos polos de la oscilación deberían corresponder siempre a regiones tropicales; mientras que en realidad, ha habido en el Ecuador dos épocas glaciales en el cuaternario, y Sumatra se hallaba en el permiano entremedio de los grandes centros de glaciación de Sud-Africa, India oriental y Australia.

El hecho que en cuaternario hubo tres o cuatro diferentes épocas glaciales interrumpidas por épocas interglaciales de un clima aún más benigno que el actual hace suponer que una de las causas de las épocas glaciales haya sido periódica, y lo más natural sería buscarla primero en los cambios periódicos de la órbita terrestre.

Uno de los cambios periódicos afecta a la *oblicuidad de la eclíptica* con que se designa el ángulo formado entre el Ecuador de la tierra y el plano de la órbita de la misma. A esta oblicuidad se debe el fenómeno de las diferentes estaciones del año; con el aumento del ángulo, las diferencias entre el verano e invierno deben acentuarse más, quiere decir, los inviernos de las regiones polares y templadas serán más fríos y los veranos más calientes. El período es de 26,000 años; el ángulo que forma el eje de la tierra con la eclíptica que hoy es de  $66.1/2^\circ$ , varía entre  $68^\circ 1'$  y  $65^\circ 24'$ . Ultimamente se alcanzó el *mínimum* (de solamente  $65^\circ 46'$ ) en el año de 10926 a. J. C. En esa época los círculos polares se hallaban  $3/4^\circ$  más cerca del ecuador, y los

trópicos en igual distancia más cerca de los polos. La cantidad del calor que recibe cualquier punto de la tierra del sol, depende exclusivamente del ángulo de incidencia y de la duración del día. En el ecuador la cantidad de calor recibido era un poco menor, porque en los solsticios el ángulo de incidencia de los rayos del sol era en  $3/4^{\circ}$  menor que actualmente. En la zona templada, los inviernos eran más helados, pero los veranos más calientes, porque en ellos el ángulo de incidencia era mayor en la cifra ya mencionada. Según cálculos, en el año citado de 10926 ha habido en los distintos grados de latitud las diferencias siguientes de las temperaturas ( $^{\circ}\text{C.}$ ) en comparación con los actuales.

Grados de latitud:	0°	30°	50°	60°	70°	80°	90°
semestre de invierno.....	-0.2	-1.2	-1.0	-1.1	0	0	0
semestre de verano.....	-0.2	+0.5	+1.1	+1.4	+2.4	+3.0	+3.2
año entero. ....	-0.2	-0.35	+0.05	+0.15	+1.2	+1.5	+1.6

Resulta de esta tabla que hace unos 13,000 años ha habido un clima más benigno en las zonas comprendidas especialmente entre las latitudes superiores a  $60^{\circ}$ . Este clima más benigno que había después de la última época glacial, ha sido comprobado por hallazgos arqueológicos, lo mismo por el límite ártico alcanzado por ciertos árboles, etc. También para Magallanes han comprobado *Scottsberg* y *Hägg* la existencia de tal clima más favorable; el primero se basa en la presencia de ciertas plantas (*Gunnera chilensis*, *Adiantum chilense*, etc.) en la región de seno de *Skyring*; las considera como una flora relictas, cuyo límite sur se halla

actualmente en Chiloé y el canal de Baker. Hägg encontró en una terraza de 15 m. sobre el mar, situada cerca de Puerto Hambre, conchas de *Venus antiqua*, especie característica para el Perú y el norte y centro de Chile, que es muy rara en Chiloé y en el Golfo de Penas.

Otros cambios periódicos se refieren a la excentricidad de la órbita de la tierra, a la que se debe que el hemisferio que, en verano se halla en el perihelio y en invierno en el afelio, tiene mayores diferencias entre ambas estaciones que el otro hemisferio. Este último tendría veranos menos calientes e inviernos menos helados, quiere decir condiciones favorables para una época glacial. Pero resulta que actualmente la excentricidad es tan reducida (solamente  $1/60$ ) que las diferencias de la distribución de continentes y océanos tiene mayor influencia en el clima que la excentricidad. El hemisferio norte cuyo invierno coincide con el perihelio, tiene en realidad diferencias climatológicas muy grandes entre verano e invierno, debido a la gran extensión que tienen las masas continentales en él; por el otro lado, en el hemisferio sur hay un clima oceánico con veranos poco calientes e inviernos relativamente benignos.

La excentricidad de la órbita terrestre tiene otra consecuencia muy importante, debiéndose a ella diferencias de la duración del semestre veraniego y del invernal. De la circunstancia que los puntos equinocciales vuelven después de 21,000 años a su posición antigua, resulta que durante 10,000 años un hemisferio tiene un verano corto y durante los 10,000 años siguientes el otro hemisferio. Actualmente, en el hemisferio norte el semestre veraniego

es en 8 días más largo que el semestre invernal, siendo la relación inversa en el hemisferio sur.

Gran importancia tienen también los cambios de la excentricidad de la órbita terrestre, porque con un aumento de ella aumenta también la influencia de todos los demás cambios periódicos. Los cambios de la excentricidad, que puede alcanzar un valor tres veces mayor que el actual, se verifican con un período de unos 92,000 años.

Basándose en todos estos cambios periódicos, *Milankovitch* en Belgrado ha calculado la radiación solar para los diferentes grados de latitud de la tierra durante los últimos 660,000 años, tiempo que, según hemos visto más arriba, se calcula como duración de las épocas glaciales. En la figura siguiente damos esta curva que, por las razones más arriba expuestas, se refiere solamente al semestre veraniego. En el diagrama la radiación solar se refiere al grado 65 L. N. y se expresa también en grados latitud. Si en el diagrama la curva alcanza durante el glacial de Riss hasta el grado 75, significa esto que en esa época la temperatura media del verano que reinaba en el grado 65, era igual a la temperatura correspondiente que tiene actualmente el grado 75. Esta diferencia de 10° latitud expresada en temperatura corresponde en el hemisferio norte a una disminución en unos 7°C experimentada por la temperatura media del mes más caliente y en unos 10°C para el mes más frío del año.

En la curva de la figura anterior volvemos a encontrar el largo intervalo correspondiente al interglacial Mindel-Riss que habían deducido ya *Penck-Brueckner* basándose en el trabajo erosivo ejecuta-

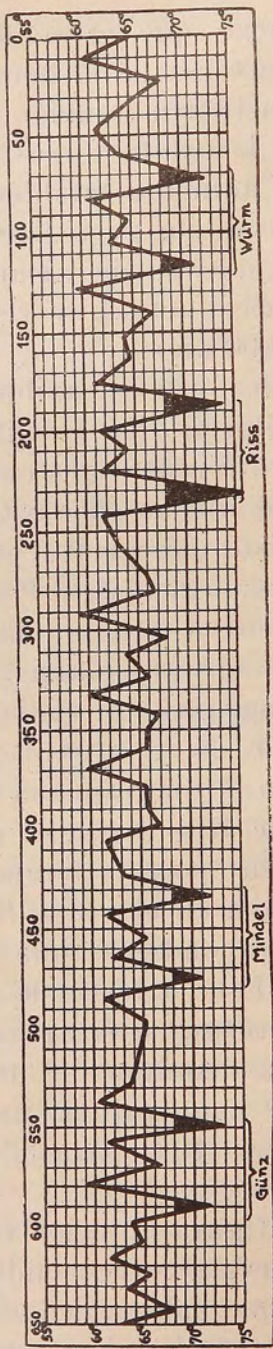


Fig. 13—Curva de la Radiación Solar en el semestre veraniego durante los últimos 650,000 años.  
Según Milankovitch.

do por los ríos alpinos en esa época (cp. fig. 2) Llama la atención que cada época glacial se compone de dos mínimas de temperatura separadas por unos 40,000 años de veranos más calientes. En este sentido es muy interesante que para la última época glacial ya se ha constatado que ella se compone de dos avances de hielo. Para las otras épocas anteriores, las dificultades de comprobar tales cambios cortos son muy grandes; y además, es posible que las grandes masas de hielo continental se hayan conservado durante el corto intervalo de veranos más calientes.

Aún cuando esta curva nos da una explicación muy satisfactoria del ritmo según el cual han alternado las épocas glaciales e interglaciales durante el cuaternario, ella no es capaz de explicar el origen de las épocas glaciales mismas, porque en forma parecida, la curva puede prolongarse por los millones de años anteriores al cuaternario, de los cuales no conocemos depósitos glaciales.

Para subsanar esta dificultad, suponen *Koepfen y Wegener* importantes migraciones de los polos. El polo norte se habría hallado en el mioceno, al norte de Alaska, en 75° L. y en 150° al Oeste de Greenwich. Como comprobantes de esta situación citan el hielo fósil de Alaska y del N. E. de Siberia al cual atribuyen edad miocena; además es la época en que, debido a su mayor distancia del polo, había un clima subtropical en Europa central. Desde ese punto, el polo se habría movido hacia el Este, siguiendo siempre el mismo paralelo, llegando en el plioceno a la costa occidental de la isla de Baffin y alcanzando al principio del cuaternario la costa occidental de Groenlandia. Desde este punto el polo

se movía en línea casi recta hacia su situación actual.

No podemos entrar a las numerosas observaciones citadas por los dos autores para comprobar su teoría; pero debemos estudiar el camino correspondiente tomado por el polo sur. Este, en el mioceno debería haberse hallado más o menos a la misma distancia de Sudamérica que en la actualidad. En realidad, la flora fósil de esa edad encontrada en Magallanes por *Dusén* indica un clima no muy distinto del actual; pero no debe olvidarse que, al mismo tiempo se formaron los carbones de Arauco y Concepción en un clima enteramente tropical. Las plantas halladas por *Dusén* en capas más nuevas, separadas de las de abajo por dos horizontes marinos, acusan un mejoramiento considerable del clima, lo que coincidiría con el movimiento supuesto del polo. Pero, este habría tenido su mayor distancia al principio del cuaternario, cuando Concepción habría alcanzado una latitud de casi 15°. Para apoyar su teoría, suponen *Koepfen* y *Wegener* que los carbones de Concepción tengan edad cuaternaria, siguiendo los procedimientos de *Berry* e *Irmscher*; pero, no cabe la menor duda acerca de la edad mucho más grande del terciario carbonífero cuyas capas han sido fuertemente dislocadas y que más tarde han sido niveladas por la transgresión marina del plioceno cuyos sedimentos a su vez han sufrido dislocaciones posteriores.

La presencia de dos épocas glaciales comprobadas hasta ahora, de las cuales la penúltima ha sido la más fuerte y otras consideraciones generales hacen más probable que las épocas glaciales de nues-

tro hemisferio coincidan temporalmente con las del hemisferio norte.

La teoría del movimiento de los polos, establecida por Koeppen y Wegner, no encuentra ningún apoyo en la historia geológica del cuaternario de Chile. Si, en realidad, la migración del polo norte, satisface las exigencias de la geología glacial del hemisferio norte, entonces debemos suponer que la costra exterior de la tierra puede efectuar movimientos independientes de la masa principal del globo terrestre y del eje de rotación. La misma teoría de las translaciones continentales de Wegener, nos indica tales movimientos, en vista de los cuales no es necesario que puntos hoy día antipodales lo hayan sido también en épocas geológicas pasadas.

Si no se aceptan tales movimientos, entonces debemos suponer que, fuera de las variaciones periódicas de la radiación solar que causan el ritmo de las diferentes épocas glaciales, exista otro factor desconocido por nosotros que origina de vez en cuando un empeoramiento del clima de toda la tierra hasta tal grado que las variaciones periódicas pueden causar una sucesión de varias épocas glaciales.

---





## BIBLIOGRAFIA

*Berry, E. W.*—Fossil plants from Bolivia and their bearing upon the Age of Uplift of the eastern Andes.—Proc. Unit. Stat. Nat. Mus. 1917. Tomo 54. p. 103-64.

*Berry, E. W.*—Age of certain plant-bearing beds and associated marine formations in South America.—Bull Geol. Soc. Am. 1918. Tomo 25.

*Broekman, G.* — Lago del Yeso. — Valparaíso. 1912.

*Bowman, I.*—Results of an Expedition to the Central Andes.—Bull. Amer. Geogr. Soc. 1914. Tomo 46.

*Bowman, I.*—The Andes of Southern Perú.—New York. 1916.

*Brackebusch, L.* — Die Kordillerenpaesse zwischen der argentinischen Republik und Chile.—Zeitschr. Ges. Erdk. 1892. Tomo 27.

*Chamberlin y Salisbury.*—Geology. N. York 1906.

*Darwin, Ch.*—Geological Observations on South América.—Traducción castellana del año 1906. Santiago.

*Domeyko, I.*—Mineralogía.—Tomo 5. p. 142.

*Dusén, P.*—Ueber die tertiaere Flora der Magellanslaender.—Schwed. Exped. Magellanslaendern. 1899. Tomo 1.

*Gerth, H.*—Geologische und morphologische Beobachtungen in den Kordilleren Suedperús.—Geol. Rundsch. Tomo 6. 1915.

*Gerth, H.*—Die Hauptfaktoren in der Entwicklung des morphologischen Bildes der Anden.—Peterm. Mitteil. 1926. p. 118-22.

*Groeber, P.*—La región de Copahue y su glaciación diluvial.—Gaea. 1925. p. 92-110.

*Guessfeld, P.*—Reise in den Anden von Chile und Argentinien.—Berlin. 1888.

*Hauthal, R.*—Reise in Bolivien und Perú.—Leipzig. 1911.

*Helbling, R.*—Beitraege zur topographischen Erschliessung der Cordilleras de los Andes zwischen Aconcagua und Tupungato.—XXIII. Jahresber. Akad. Alpenklubs. Zuerich. 1918.

*Hoeck, H. u. G. Steinmann.*—Erlaeuterungen zur Routenkarte der Expedition Steinmann etc., in den Anden von Bolivien.—Peterm. Mitt. 1906.

*Knoche, W.*—Estudio sobre la evaporación en Chile. *Rev. Chilena, Historia y Geografía.* Tomo 32. Santiago. 1919.

*Koeppe-Wegener.*—Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlín. 1924.

*Kuehn, F.*—(ad pág. 252). Zeitschr. Ges. Erdk. Berlín. 1911. p. 156.

*Kuehn, F.*—Nachrichten ueber zwei Kordillerengipfel (Lanin y Mercedario). Zeitschr. Deutsch. Wiss. Ver Argentinien. 1918.

*Kuehn, F.*—Fundamentos de la Fisiografía Argentina.—B. Aires. 1922.

*Martín, G.*—Der bewohnte Teil von Chile im Sueden des Valdiviaflusses. Peterm. Mitt. 1880. Tomo 26. p. 170.

*Meyer, H.*—In den Hochanden von Ecuador.—Berlín. 1907.

*Neveu-Lemaire, M.*—Los lagos de los altiplanos de la América del Sud. Direcc. Gener. Estad. y Est. Geogr. La Paz. 1909.

*Nordenskjöld, O.* — Eine Reise im mittleren Westpatagonien. — Zeitschr. Ges. Erdk. Berlín. 1922.

*Penck, W.*—Der Suedrand der Puna de Atacama.—Abh. Saechs. Akad. Wiss Phys. Kl. 1920. Tomo 37.

*Penck-Brueckner.* — Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig. 1901-03.

*Plagemann, A.*—Das andine Stromgebiet des Cachapoal.—Peterm. Mitt. 1887. Tomo 33.

*Reichert, F.* — Das Gletschergebiet zwischen Aconcagua u. Tupungato. Zeitschr. Gletscherk. 1910. Tomo 4.

*Reichert, Kuehn etc.*—Patagonia.—2 tomos. Buenos Aires. 1917.

*Risopatrón, L.*—Diccionario Geográfico de Chile.—Santiago. 1924.

*Sievers, W.*—Die heutige u. fruehere Verglet-

schung Suedamerikas. Votr. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte zu Karlsruhe. 1911.

*Stappenbeck, R.*—Geología de la falda oriental de la cordillera del Plata. Anal. Min. Agricult. B. Aires. 1917. Tomo 12.

*Steffen, H.* — Wespatoagonien.—2 tomos. Berlín. 1919.

---