

# NIEVE PENITENTE

por RODOLFO HAUTHAL

ENCARGADO DE LA SECCIÓN GEOLÓGICA DEL MUSEO DE LA PLATA

Con cinco láminas

¡Nieve penitente! Palabra particular con sonido extraño! Quien una vez ha visto la nieve penitente, sea de día bajo el cielo azul de los Andes con el sol brillante, sea de noche bajo el cielo estrellado á la pálida luz de la luna, nunca olvidará la impresión mágica que dejan aquellas figuras de «nieve penitente», así llamada, que tanto se parecen á penitentes vestidos de blanco.

Es un fenómeno tan especial que ya antes había llamado la atención de los viajeros.

La nieve penitente sólo se encuentra en una altura de 3500 á 5000 metros sobre el nivel del mar, y como las Cordilleras de los Andes son, de todas las sierras altas del orbe, aquellas que en tales alturas están atravesadas por pasos relativamente bien frecuentados, se explica bien por qué la nieve penitente se ha observado primero y principalmente en los Andes. Algunos autores creen que la nieve penitente representa una forma particular de los glaciares andinos, y por esto hablan de la nieve penitente como de un tipo especial de los glaciares: «tipo andino» ó «tipo chileno».

En el libro de doctor S. Günther<sup>(1)</sup>, se encuentran las palabras siguientes: «Como ya dijo Güssfeldt, la manera de presentarse el hielo en la Cordillera chilena difiere mucho de la que vemos en los Alpes. La estructura en forma de murallas de la Cordillera no se presta á que se acumule nieve ó hielo, y en el caso que haya cuencas idóneas en que se pueda formar el «firn», están ellas muchas veces en una altura insuficiente. La nieve de las alturas (Hochschnee) aparece muchas veces levantada en formas extrañas (penitente). Los vientos levantan la nieve suelta y la insolación hace nacer estas figuras extrañas»: y en otro lugar<sup>(2)</sup>,

<sup>(1)</sup> S. GÜNTHER: *Lehrbuch der Geophysik*, 2. Bd. p. 539, Stuttgart 1885.

<sup>(2)</sup> GÜNTHER: loc. cit. p. 541. Debo advertir que hasta ahora raras veces se ha observado la nieve penitente en la Cordillera chilena. El mismo Güssfeldt sólo la ha visto en la Cordillera argentina.

donde habla de los distintos tipos de glaciares. el mismo autor dice: «En atención á las descripciones de Güssfeldt sería tal vez conveniente establecer un cuarto tipo de glaciares, el *tipo chileno*.»

El doctor A. Penck se adhiere á esta opinión: él dice <sup>(1)</sup>: «Es muy estraña la división completa que muestran algunos glaciares en Sud América: están separados en columnas y picos aislados de hielo que se levantan sobre un suelo poroso. Esta es la nieve penitente de los Andes.»

Yo. por mi parte, no pienso como los autores citados. Como veremos más tarde, la nieve penitente se distingue totalmente de un glaciar por su materia, su forma y su origen. De ninguna manera se puede hablar de un tipo de glaciares. pero sí se puede hacer la descripción de un fenómeno propio de la América del Sud.

Aunque parece natural que el hielo. en condiciones iguales, debiera tomar formas iguales. hay que hacer notar que no todas las noticias sobre la existencia de nieve penitente, afuera de la América del Sud, están comprobadas. Todas estas noticias se relacionan con otra forma. que se presenta á veces en la superficie de campos de nieve y glaciares, á la cual se da el nombre de «Karrenform».

Es verdad que muchísimas veces se ha comparado la nieve penitente con esta forma, bien conocida en la superficie de algunas capas calcáreas. Penck. tan conocedor de los fenómenos glaciales, dice <sup>(2)</sup>: «El yeso también muestra á veces forma de «Karren», como también la superficie de *campos de nieve en latitudes bajas. que se presenta como nieve penitente.*»

En contra de esta opinión está la del doctor Roberto Sieger, quien en su trabajo muy instructivo «Karstformen der Gletscher» <sup>(3)</sup>, hace ver que existe una diferencia grande entre «nieve penitente» y la forma superficial que se llama «Karren».

Recorriendo la literatura referente á los fenómenos de «Karren» y «nieve penitente», merece mencionarse lo que dice Sulzer en la descripción de su ascenso al Mount Shasta, en California (4363 metros) <sup>(4)</sup>: «Algunos campos de Firn formaban todavía sus obstáculos; eran éstos surcos hondos y angostos, y entre los cuales se levantaban crestas altas. Las márgenes superiores, un poco inclinadas, eran cortantes como cuchillas, y escarchadas. Este fenómeno no puede tener otro origen que el viento.»

Lo que describe Sulzer aquí, no es «nieve penitente» sino «Karren».

Hans Meier, que fué el primero que ascendió al Kilimandjaro (6800 metros), dice <sup>(5)</sup>: «El efecto del derretimiento es muy fuerte en

<sup>(1)</sup> PENCK: *Morphologie der Erdoberfläche*, Bd. 1, p. 390. Stuttgart 1894.

<sup>(2)</sup> Loc. cit., p. 238.

<sup>(3)</sup> «Geographische Zeitschrift», 1895. Erster Jahrgang, 3. u. 4. Heft., p. 182.

<sup>(4)</sup> «Jahrbuch des Schweizer Alpenclubs», 1890-1891, p. 300.

<sup>(5)</sup> *Die Gletscher des Kilimandjaro*, «Geog. Zeitschrift», 1899, 5. Jahrgang, 4. Heft, p. 216.

la superficie del hielo, en el cráter. Las corrientes de las aguas producidas por el deshielo han surcado la superficie á más profundidad y con más frecuencia que diez años atrás. En general los surcos son paralelos y siguen la inclinación del suelo. Ya antes los he comparado con nieve penitente ó con Karren.»

Tampoco se trata aquí de «nieve penitente», pues la descripción y la ilustración que da el señor Meier de la superficie del glaciar de Drygalski, tiene muy poca semejanza con la nieve penitente, pero mucha con los Karren.

En los Karren, lo característico es que la superficie se descompone en forma de surcos largos y crestas paralelas con aristas más ó menos cortantes, mientras que la nieve penitente está caracterizada por el hecho de que el hielo se divide en figuras completamente aisladas, arregladas en hileras paralelas.

Una descripción muy exacta de la nieve penitente es la que da el doctor F. Güssfeldt en las palabras siguientes <sup>(1)</sup>:

«Casi es imposible imaginarse la impresión estraña que causan estos campos de nieve penitente.... Cuando creemos haber visto todas las formas que la imaginación puede concebir, entonces, de repente, aparecen otras completamente nuevas, que nunca dejan descansar nuestra fantasía. Una figura se une á otra, alta, levantada, de tamaño sobrehumano, cada una distinta de sus vecinas, y todas parecen como pecadores petrificados esperando la palabra de salvación.

«La disposición regular en hileras rectas y paralelas de las mil irregularidades fantásticas de estas figuras, nos demuestra que una ley común las gobierna á todas.

«El efecto es mucho mayor en una noche de luna, cuando el alma se inclina á lo sobrenatural, especialmente en aquellos campos donde la nieve de los surcos que separan las figuras ya ha desaparecido por completo, así que ellas se levantan aisladas, blancas, en el suelo negro, volcánico.»

Esta descripción es tan expresiva que no precisa comentario: esta es la verdadera nieve penitente.

Encontramos la verdadera nieve penitente descrita en los trabajos de Darwin, Habel y Brackebusch, y estos tres autores se refieren á observaciones hechas en la Cordillera argentina.

Darwin, que observó nieve penitente el 22 de Marzo de 1835, en el sud de la provincia de Mendoza, en la depresión entre la cadena de Peuquenes al oeste y la del Portillo al este, dice <sup>(2)</sup>: «... y en el valle

<sup>(1)</sup> *Reise in den Anden von Chile und Argentinien*, Berlin, 1888, p. 155.

<sup>(2)</sup> *Darwin's Reise*. «Tagebuch naturgeschichtlicher und geologischer Untersuchungen» etc. Uebersetzt von Dr. Alfred Kirchhoff, Halle a. S., 1893, p. 341.

había muchos y grandes campos de nieve eterna. Estas masas escarchadas habían tomado durante el proceso del derretimiento, en algunos puntos, la forma de picos ó columnas que por su tamaño y su agrupación hacían muy difícil el pasaje á las mulas cargueras.» En una nota dice el mismo Darwin: «Estas figuras de nieve escarchada han sido observadas ya mucho antes por Scoresby en los «Eisberg», cerca de Spitzbergen, y últimamente por el coronel Jackson («Journal of geographical Society». Bd. V. p. 12) en el río Newa, quien hace la siguiente observación: «Quiero mencionar que en la nieve escarchada la separación en columnas debe tener su origen en una acción metamórfica y no en un procedimiento que debió tener lugar mientras se acumulaba la nieve.»

Jean Habel dice <sup>(1)</sup>: «Esta formación estraña (nieve penitente) parece una particularidad de los Andes. Muy frecuentemente se encuentra este fenómeno en campos de nieve, pero también en el hielo y más raramente en la tierra. Estas figuras, producidas probablemente por el sol y sobre todo por el viento, tienen casi siempre la forma de alfileres. Hay campos de nieve donde estos alfileres, de más de un metro de alto, están tan cerca uno de otro que el espacio entre ellos apenas si da paso. Algunos de estos alfileres, consistentes en nieve densa, caen si se los toca, dejando un tronco; otros solo se derrumban al sufrir un choque fuerte. Campos extensos de nieve penitente se encuentran en las faldas de los cerros. Otros menos extensos están en depresiones y en lugares llanos de las faldas. Capas delgadas de nieve en faldas y en altiplanicies no se convierten en nieve penitente, ni tampoco los restos mayores de nieve de avalanchas que se encuentran en las partes más bajas de los valles.»

El señor L. Brackebusch, á quien se debe trabajos tan meritorios sobre la geología de la República Argentina, es el primero que se ha ocupado detenidamente de la nieve penitente <sup>(2)</sup>.

De la teoría de este autor, que difiere de la mía, me ocuparé más adelante. Aquí mencionaré solamente que Brackebusch (y en este punto estamos de acuerdo) habla siempre de pirámides de hielo aisladas, cuando se trata de nieve penitente, y que separa bien esta configuración de la de los «Karrenform».

Lo particular de la nieve penitente consiste en lo siguiente: son figuras aisladas de hielo, de metro y medio á dos metros y medio de alto, de las formas más pintorescas, que están colocadas en líneas paralelas, como un regimiento de soldados <sup>(3)</sup>; no forman crestas largas paralelas; son figuras aisladas con millares de irregularidades.

Si contemplamos con más detención estas figuras, encontraremos

<sup>(1)</sup> «Zeitschrift des deutschen und österreichischen Alpenvereins», Bd. 27, 1896, p. 43.

<sup>(2)</sup> *Die Penitentesfelder der argentinischen Cordilleren*. «Globus», Bd. 63, n.º 1 y 2, 1893.

<sup>(3)</sup> R. HAUTHAL: *Zur Entstehung des Büsserschnee's*, Id., Bd. 77, n.º 12, p. 191, 1900.

que. á pesar de todo, en esos millares de irregularidades fantásticas, aparece una cierta regularidad en su formación, no solo en el paralelismo de las líneas, sino también en que las figuras mismas asumen cierta semejanza de forma.

Debe tenerse presente que estas formas, aunque muy variables, nunca son cilíndricas, no forman columnas ni conos; son pirámides, siempre algo prolongadas en la dirección de las líneas paralelas, como ya Brackebusch lo había observado.

La forma de pirámide es la fundamental, pero nunca se presenta con perfección geométrica. También el número de las caras varía mucho: generalmente son tres, distinguiéndose á menudo de cinco á siete cuya unión forma aristas afiladas, solo que la cara que mira al noroeste es un poco redondeada. La altura de estas pirámides varía también; en general, tienen de uno y medio á dos y medio metros; á veces, alcanza á más de seis metros. El señor A. Stegmann, ingeniero de la comisión de límites argentina, observó, en 1901, en el Paso del Cajon Ancho (provincia de Mendoza), grandes campos de nieve penitente, cuyas figuras alcanzaban una altura de más de seis metros. Es este el mismo lugar donde Güssfeldt observó tan lindas figuras de penitentes, de las cuales da una buena fotografía en la lámina X de su obra.

El volumen también varía. En general, las figuras tienen una base bastante ancha en relación á su altura, pero, en muchos lugares, toman una forma mucho más delgada, así que se levantan como alfileres agudos. Siempre se encuentran estas distintas formas dispuestas de tal manera que en un lugar solo hay pirámides, mientras que en otro solo hay alfileres. Así es que Habel no describe más que alfileres, mientras que Brackebusch habla solo de pirámides.

Todavía es un problema por qué solo hay en un lugar «alfileres» y en otro «pirámides»: ¿la calidad de la materia juega tal vez aquí su rol?

Otra particularidad es que allí donde la forma es la de pirámide, en la parte más distante del sol, se forma un apéndice más ó menos largo, como se puede observar en las cinco fotografías que se acompañan, de las que las láminas II y III ilustran además la estructura de la nieve penitente.

La materia de ésta es hielo, y no nieve; y este hielo, que se ha formado de nieve, no consiste en granos como el hielo de los glaciares, se parece más al «Hocheis»: consiste en capas alternadas: unas capas de hielo claro, transparente, sin burbujas de aire, de diez á veinte centímetros de espesor, y otras de un hielo blanco, turbio, lleno de burbujas de aire y que son más gruesas (de 50 á 60 centímetros).

Aparte de esto, el hielo de la nieve penitente, con frecuencia está lleno de piedras chicas y grandes.

Algunas veces, sólo hay capas de barro, pero otras la masa está

llena de piedras, como por ejemplo, en el valle del río Diamante superior (provincia de Mendoza), al pié oriental del volcán Maipú, donde se parece á un conglomerado cuyo cemento es el hielo.

El señor A. Stegmann ha hecho una observación interesante: vió en la Cordillera, entre los cerros Tupungato y Aconcagua, en la punta de las figuras, piedras del tamaño de una cabeza humana. Es el mismo fenómeno que se observa tantas veces en las mesas de los glaciares: lo menciono aquí porque Brackebusch dice <sup>(1)</sup>: «que en la nieve penitente no hay los mismos fenómenos que en las mesas glaciares.»

En la lámina IV. se advierte en la nieve penitente una capa negra formada de tierra y pedregullo. Esta capa es la superficie anterior de un campo de nieve transformado en nieve penitente. La línea encorvada que forma esta capa negra, conserva bien el contorno de la superficie primitiva.

Antes de ocuparnos en la cuestión del origen de la nieve penitente, nos resta que precisar bien los lugares donde se encuentra.

Más arriba he mencionado ya que esta nieve se encuentra en una altura de 3500 á 5000 metros, y que hasta ahora solamente se ha observado en Sud América, en la Cordillera de los Andes, donde parece limitada á la región entre los 24° y 36° latitud sud.

Brackebusch menciona <sup>(2)</sup> que Güssfeldt no había observado nieve penitente en la falda occidental de la Cordillera, y dice que es muy rara en el lado chileno.

Todo lo que he leído sobre la nieve penitente de otros países no se refiere á nieve penitente, sino á «Karren».

Brackebusch dice también respecto á Bolivia, Perú, Ecuador, etc., que no ha encontrado en la literatura de esos países noticia alguna sobre la nieve penitente.

En los trabajos nuevos de Raimondi, Reiss y Stübel, Wolf, Whymper, Hettner, etc., se habla mucho de glaciares en las Cordilleras de esos países; sería muy extraño, que faltasen allí los penitentes; pero la verdad es que la región donde hay nieve penitente es muy limitada.

Mis observaciones confirman el hecho de que la nieve penitente se encuentra principalmente en la falda oriental de la Cordillera.

La he observado:

- 1) En el Paso «Tres Quebradas», provincia de La Rioja, 27° 16' latitud sud.
- 2) Al pié sud del Cerro Bonete, provincia de La Rioja, 27° 52' latitud sud.
- 3) En el Paso del Fierro, provincia de San Juan, 29° 23' latitud sud.

<sup>(1)</sup> Loc. cit., p. 34.

<sup>(2)</sup> Loc. cit.

- 4) En los nacimientos del Río Grande (Cajón del Burro), provincia de Mendoza, 34° 50' latitud sud.
- 5) En la falda oriental del Cerro Planchón, provincia de Mendoza. 35° 2' latitud sud.
- 6) En la falda oriental del Descabezado Grande, provincia de Mendoza, 35° 40' latitud sud <sup>(1)</sup>.

En todos estos lugares, los penitentes estaban en la falda oriental de los cerros (Planchón, Descabezado) ó de los pasos (Tres Quebradas, del Fierro, etc.), solamente al pié del Bonete se encontraba al principio de una quebrada que se abre hacia el sud.

También las observaciones de los señores Th. Arneberg, Adolfo Stegmann, Gunardo Lange, Enrique Wolf, ingenieros de la comisión de límites con Chile, y que han visto la nieve penitente en muchos lugares, confirman el hecho de que ésta se encuentra casi siempre al lado oriental, muy raras veces al lado occidental de la Cordillera. Es este un hecho muy importante para la explicación del origen de la tal nieve. Si dejamos de lado la opinión estraña de Günther, arriba citada, los demás autores admiten solo dos causas: el viento y el sol.

Güßfeldt dice <sup>(2)</sup>: «Creo que la nieve penitente tiene dos causas de origen: el viento y el sol. Vientos constantes que soplan del norte surcan primero la superficie de la nieve, de la misma manera que se forman las huellas en la superficie de la arena en las playas, pero con dimensiones mayores. Se forman elevaciones y depresiones, listones y surcos, con dirección este-oeste y éstos están sujetos á la influencia del sol, cuya fuerza aquí es grande por su elevación, y por la poca capacidad del aire delgado para absorber y por la falta de nubes. Como el cincel talla una roca, así el sol irradiante trabaja en los listones escarchados de nieve, y, al producirse el deshielo, surgen figuras cuyas formas estrañas sobrepasan toda fantasía humana.»

Güßfeldt cree, pues, primero, que el viento juega el rol más importante en la formación de la nieve penitente, y segundo, que la acción de los rayos del sol perfeccionan el fenómeno.

Juan Habel, que es de la misma opinión, dice <sup>(3)</sup>: «La nieve penitente consiste, en su mayor parte, de figuras en forma de alfileres, producidas por el sol y principalmente por el viento.»

Darwin habla solamente de la acción del deshielo, sin mencionar ni el sol ni el viento; es probable que él tome el calor en general como causa ó agente principal.

Una opinión completamente distinta es la de Brackebusch. Según

(1) Más al sud, no he observado nieve penitente ni en el Neuquen ni en la Patagonia. Tampoco conozco ningunas observaciones respectivas hechas por otros viajeros.

(2) Loc. cit., pág. 155.

(3) Loc. cit.

este autor, la nieve penitente se forma solo en las faldas bastante inclinadas, y siempre encima de piedras sueltas, nunca en roca viva.

«Las aguas producidas por el derretimiento de la nieve se infiltran bajo las piedras sueltas, y toda esta masa, poco á poco, resbala hacia abajo. La nieve, convertida en hielo, no puede seguir este movimiento; se separa en pedazos y estos pedazos se transforman, bajo la influencia del sol, en nieve penitente. El movimiento del suelo es aquí la primera causa.»

Son estas las opiniones de aquellos autores que han descripto la nieve penitente verdadera. No está de más mencionar aquí las de aquéllos que tratan de la otra forma de la superficie de la nieve, á saber, la «Karrenform», parecida á la penitente.

Sulzer cree que el viento solo produce estas formas, mientras Hans Meier admite como único agente el calor irradiante del sol.

Las observaciones mías y de los señores arriba mencionados, me dejan la convicción que *ni el viento ni el movimiento del suelo* tienen parte en la formación de la nieve penitente, y que *sólo es el sol irradiante* que produce este fenómeno.

Como se ha visto más arriba, la nieve penitente está limitada casi exclusivamente á la falda oriental de los cerros y de las sierras; es decir, en aquel lado que está más resguardado del viento. En la Cordillera reinan vientos occidentales: los de otras direcciones son muy raros. La nieve puede quedarse en masas mayores solamente allí donde la fuerza del viento está muy debilitada, es decir, al lado oriental. Aquí se acumulan, en el invierno, masas enormes de nieve, formando así el material de la «nieve penitente». Es claro que, si las condiciones favorecen, también en la falda occidental se pueden acumular cantidades mayores de nieve. Pero, si la nieve se acumula en lugares donde el viento no corre, éste, entonces, no puede producir la nieve penitente.

Otro hecho que contradice la acción del viento, es el siguiente: los penitentes están alineados en filas paralelas, con dirección noroeste á sudeste; á veces, un poco más al oeste, otras veces al norte.

Güssfeldt dice que ha observado una dirección este-oeste (?), y, como para él el viento es el agente principal, tiene que hablar de vientos del sud; pero estos vientos son muy raros en toda la región de la Cordillera. Los vientos que reinan son del oeste, y si Güssfeldt tuviera razón, las líneas de los penitentes deberían tener una dirección norte-sud.

El lugar y la dirección de las filas de la nieve penitente excluyen el viento como causa de este fenómeno, y, por consiguiente, hay que admitir el sol como único agente.

El profesor Albert Heim dice en su célebre libro «Gletscherkunde», página 104: «Si los vientos que tocan la superficie de los campos de nieve son débiles é irregulares, las ondulaciones entonces no se orientan según el viento, sino según la posición del sol.»

Y es esto lo que nos muestra la dirección noroeste-sudeste de las líneas de los penitentes.

Hemos visto que la nieve penitente se halla principalmente en lugares donde no puede correr mucho viento; y aquí agregó que he encontrado penitentes en la falda oriental del Planchón y del Descabezado Grande, en *couloirs* hondos donde no corre un soplo de viento, donde solamente entran los rayos del sol cuando está muy alto.

Hans Meier, que observó en el Kilimandjaro una separación de la nieve parecida á la nieve penitente, cree que, en estas regiones ecuatoriales, el agente principal del derretimiento es solamente el efecto del calor del sol; él insiste en que allí donde el calor irradiante del sol alcanza su máximum, es decir, en el cráter donde reina la calma, también es mayor la separación del hielo.

Exactamente lo mismo sucede con la formación de la nieve penitente en la Cordillera. Como he dicho ya más arriba, ésta no consiste de nieve sino de hielo, nieve escarchada. Las aguas infiltran en la nieve como en una esponja y se escarcha, transformándose así la nieve en hielo (Hocheis). Pero no siempre este «Hocheis» toma la forma de nieve penitente. He observado en el Aconquija (5500 metros), Famatina (6200 metros) y en la Puna de Atacama, en el Rincón (5600 metros), en Hullaillaco (6600 metros), grandes campos de nieve escarchada (Hocheis), pero nunca «nieve penitente». ¿Por qué no se ha formado aquí la penitente? Es este un problema que hay que resolver.

En contra de la teoría implantada por Brackebusch, están las siguientes particularidades:

1° La nieve penitente no solo no se encuentra en las faldas muy inclinadas, sino que, por el contrario, en terreno muy poco inclinado ú horizontal, y especialmente en terrenos donde un movimiento del suelo es imposible.

Así, pues, fué en el valle ancho y llano del río Diamante Superior (provincia de Mendoza), en la planicie al pié oriental del volcán Maipú ó en la planicie del Cajón Ancho (unos 70 á 80 kilómetros al sud del Maipú) donde Güssfeldt, en 1886, y recientemente Stegmann, observaron grandes campos de penitentes, algunos de los cuales alcanzan á una altura de más de seis metros. Véase también la ilustración en la página 5 del trabajo citado de Brackebusch, y la lámina X en la obra de Güssfeldt. Este autor dice, página 371, que encontró los penitentes mejor desarrollados en el fondo de valles anchos.

2° Si la opinión de Brackebusch correspondiese á la verdad de los hechos, entonces sería necesario distinguir en un campo de penitentes tres zonas distintas:

a) la zona superior donde la masa compacta de nieve escarchada comienza á separarse en pedazos;

- b) la zona intermediaria donde toda la masa de nieve se ha dividido en pedazos, los cuales, bajo la influencia del sol, se transforman en nieve penitente;
- c) la zona inferior donde las pirámides aisladas de los penitentes se derriten y disminuyen en volumen hasta desaparecer por completo<sup>(1)</sup>.

Las observaciones hechas en la naturaleza no corresponden á estas hipótesis.

He visto campos de penitentes en distintos estados de desarrollo. pero siempre he observado que un campo de nieve se transforma en toda su extensión á un solo tiempo en nieve penitente. La lámina V dá una ilustración clara y distinta de este hecho.

Por otra parte, cuando los hallamos en faldas inclinadas, los penitentes más pequeños no son los de más abajo; al contrario, los de menor volumen casi siempre se hallan en la parte superior, mientras que es en el medio ó en la parte inferior donde se presentan los de mayor tamaño. Véase la lámina IV, y compárese I y II.

El tamaño de las figuras depende del espesor de las capas de nieve. En la parte superior, en las faldas más inclinadas, la capa de nieve es menos gruesa que más abajo en el terreno llano.

3° Contra la explicación de Brackebusch está también el paralelismo de las líneas, que es un fenómeno característico de los penitentes. afirmado por todos los autores y bien visible en todas las fotografías existentes de nieve penitente.

Estas líneas debían seguir, según Brackebusch, la inclinación del terreno y ser convergentes hacia el punto más hondo, principalmente en los semicírculos, en los fondos de los valles, etc.; pero este hecho no ha sido comprobado.

4° Brackebusch mismo no ha observado ningún movimiento del suelo ni de los penitentes. Él se refiere al testimonio de otros (arrieros) que habían cruzado muchas veces la Cordillera por el mismo camino. Él dice<sup>(2)</sup>: «llamó la atención de los arrieros, al reconocer las mismas figuras años después, que estas líneas no ocupaban el mismo lugar de antes.»

Estas observaciones de los arrieros no son de mucho peso, y están expuestas á graves errores; porque el deshielo, en el curso de los años tiene que producir grandes modificaciones en las formas de las figuras, y otras más ó menos distantes pueden acabar por parecerse á las primeras.

5° Brackebusch toma, en su explicación, como punto de partida. la hipótesis que en un valle inclinado se ha formado primero un glaciar chico ó grande, y que este glaciar es el material de la nieve penitente.

(1) BRACKEBUSCH: Loc. cit., pág. 34.

(2) Loc. cit., p. 33.

Como lo he mencionado ya más arriba, Penck, que participa de la misma opinión, dice que un glaciar se separa en su extremo en penitentes, pero ninguna observación confirma esta hipótesis.

En un campo de penitentes no se puede distinguir, como en un glaciar, la parte superior «Firnfeld», y la parte inferior «Gletscherzunge». Aquí falta por completo el movimiento característico de los glaciares: y más, los penitentes no consisten en hielo granular, como un glaciar, sino en «Hocheis».

Nunca se ha observado que la superficie ó el extremo de un glaciar se separe en penitentes.

El único lugar donde encontré penitentes en un ventisquero, era en el glaciar del Burro (nacimiento del Rio Grande, provincia de Mendoza). Pero aquí no era la superficie del glaciar que se había transformado en penitentes, sino una capa enorme de nieve, que yacía en el extremo sud del glaciar <sup>(1)</sup>.

Este ejemplo es muy importante, porque aquí, al lado de la superficie del glaciar que comienza á transformarse en «Karren», se ven los penitentes de la nieve escarchada.

Mis observaciones dan por resultado que la nieve penitente es el efecto de un proceso de derretimiento sin ayuda del viento.

El deshielo en este caso no resulta del calor en general, ni del aire caliente que primero ataca la superficie del campo de nieve y después modela las figuras aisladas, sino procede del calor irradiante de los rayos del sol que en una dirección determinada ejerce su mayor efecto.

La dirección noroeste-sudeste nos indica una fuerza que ejerce su influencia máxima en una dirección muy determinada, y esta fuerza no puede ser otra que la de los rayos solares, causada por la dirección de los rayos más fuertes del sol; y esta acción sola es la que transforma un campo de nieve en penitentes.

Ahora por lo que respecta á la diferencia de origen entre las formas «Karren» y «penitente», en su primer estado, muy bien se comprende que las aguas del deshielo al correr por la nieve pueden haber dejado surcos paralelos; mas estos surcos solo se producirían siempre que los terrenos tuviesen la inclinación suficiente; porque en los horizontales ello sería imposible, y sin embargo es donde se hallan los penitentes en su mayor desarrollo. Además nunca se ha observado allí el fenómeno de surcos paralelos, antes bien, desde que comienza á formarse la nieve penitente ya salen de la superficie del campo de nieve picos aislados arreglados en líneas paralelas, y la nieve entre los picos se derrite, destacán-

---

<sup>(1)</sup> Cf. lámina III de este fenómeno en R. HAUTHAL: *Observaciones generales sobre algunos ventisqueros*, en la «Revista del Museo de La Plata», t. VI, p. 109, 1895.

dose siempre más y más las figuras hasta que se levantan los penitentes en toda su perfección. (Véase la lámina V.)

Desde que empiezan á formarse, hallamos una diferencia fundamental entre la «Nieve penitente» y la «Karrenform».

Los «Karren» deben su origen á los efectos de la erosión y denudación de las aguas (más en sentido químico), mientras que en la nieve penitente se trata del efecto del derretimiento (más en sentido mecánico) de los rayos del sol, los cuales parece como si labrasen las figuras de la nieve escarchada.

Con lo que he expuesto aquí, no pretendo, de manera alguna, decir la última palabra acerca del tan interesante fenómeno de la nieve penitente. Este ofrece á la ciencia tantos problemas, que pasará todavía bastante tiempo, antes que se pueda dar á todas las preguntas que se sugieran una contestación satisfactoria. Algunas no las he tocado aquí. por ejemplo: ¿cuánto tiempo duran los penitentes? y si duran algunos años. ¿cuál es la relación entre ellos y la nieve que cada año cae?

He hecho solamente la prueba, apoyándome en las propias observaciones y en las de otras personas fidedignas, de establecer lo que sabemos hoy sobre la nieve penitente y de dar una explicación de este fenómeno que corresponda á los hechos hasta ahora observados.

Lo que falta es: primero, observaciones continuas y sistemáticas, hechas en todas las estaciones del año; y, después, para los sabios que no pueden estudiar la nieve penitente en la Cordillera, reproducciones fieles que representen, no sólo campos enteros de penitentes en distintos estados de desarrollo, sino también figuras aisladas.

Si estos ligeros apuntes dan impulso al estudio, habrán conseguido su objeto.

RODOLFO HAUTHAL.



TALLERES DEL MUSEO

### Nieve penitente en la falda de un portezuelo

El pico más alto al norte es el Aconcagua. La dirección noroeste - sudeste de las hileras paralelas de los penitentes se destaca bien.

Febrero 1900 — Altura 3800 metros



FALLERES DEL MUSEO

Nieve penitente en la cordillera mendocina entre el Aconegua y el Tupungato

Febrero 1900 — Altura 3600 metros



TALLERES DEL MUSEO

Nieve penitente al pié sud del cerro Bonete (provincia de La Rioja)

Marzo 1895 — Altura 4500 metros



TALLERES DEL MUSEO

Nieve penitente en la falda oriental de la cordillera mendocina

Febrero 1900 — Altura 3800 metros



TALLERES DEL MUSEO

Nieve penitente en la cordillera mendocina

Enero 1900 — Altura 3,900 metros