

SECRETARIA DE INDUSTRIA COMERCIO Y TRABAJO

DEPARTAMENTO DE EXPLORACIONES Y ESTUDIOS GEOLOGICOS

JEFE DEL DEPARTAMENTO Y DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOLOGICO, ING. JUAN D. VILLARELLO

---

---

110.

# ANALES

DEL

# INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO

TOMO II. NUMEROS 1 2 Y 3



TALLERES GRAFICOS DE LA NACION

MEXICO.-1925



## APUNTES ACERCA DE LA ACTIVIDAD ACTUAL DEL POPOCATEPETL EN RELACION CON LA SISMOLOGIA

POR HERIBERTO GAMACHO

### INTRODUCCION

Desde abril del año de 1920 los habitantes de los pueblos ubicados en las faldas del volcán Popocatépetl (1), notaron que del cráter se desprendían, de tiempo en tiempo, masas de gases en forma de columnas más o menos elevadas, según lo permitía la intensidad del viento que sopla en la cima de la montaña. Este hecho fué atribuído en un principio a un simple fenómeno de convexión provocado por el calentamiento que sufrían las capas atmosféricas a la salida del sol, mediante el cual se elevaba el vapor de agua atmosférico contenido en el interior del cráter. Sin embargo, esta explicación, con todos los visos de certidumbre que encerraba, fué desechada cuando las emisiones gaseosas se repitieron con mayor frecuencia y marcada intensidad, siendo indistintas las horas de su presentación. Se creyó entonces en una fase de actividad volcánica que el tiempo se encargó de confirmar. En el presente trabajo describiré y en lo posible haré la interpretación, de los fenómenos observados durante los años de 1920 y 1921, en el volcán Popocatépetl, concediendo importancia muy especial a la tectónica de la región, que mucho nos enseña acerca de las pasadas actividades del volcán, así como al resultado de las observaciones sísmicas que nos autorizan para señalar las verdaderas causas del despertar de este aparato, dormido por cerca de 200 años, y que en cierto modo nos conducen a suponer como muy improbable el evento de un cataclismo provocado por el Popocatépetl en sus actuales manifestaciones dinámicas.

(1) Montaña que humea.

La bibliografía acerca de este volcán es extensa: ha ocupado la atención de los viajeros, exploradores, turistas, geólogos, artistas y literatos; cuya circunstancia hace que en el desarrollo del estudio deje de citar muchos puntos tratados y discutidos ya por otros autores; solamente me concretaré a tomar algunos datos como coordenadas, alturas, etc., que son indispensables para algunas consideraciones que haré después.

### *Erupciones anteriores y exploradores*

Refiriéndome a las registradas en tiempos históricos, debemos admitir que todas han tenido el carácter que hoy presentan, aunque la violencia de las emanaciones gaseosas y lluvias de cenizas hayan sido de mayor o menor intensidad. No se tienen noticias de que haya habido un derrame de lava dentro de este período histórico. Los doctores J. Félix y H. Lenk (1) dan una lista de las fechas de las erupciones; éstas han consistido en una actividad solfatárica más o menos violenta, acompañada de emanaciones de vapor y gases y emisiones de cenizas. Las fechas son las siguientes:

1523.—1539.—1664.—1697.—1802.—1920.

Como se ve, los períodos de quietud entre una y otra fecha son variables:

16.—125.—33.—105.—118.

En los tiempos precortesianos, los aztecas no intentaron la exploración de la

(1) Beiträge zur Geol. und Paläon. der Republik Mexico; von Dr. J. Felix und Dr. H. Lenk, I. Theil. Leipzig, 1890, páginas 16-25.



cima del Popocatepetl, porque, según ellos, "no era permitido a ningún mortal aproximarse a este sitio de los malos espíritus" (1).

Cuando el ejército conquistador venía de Cholula para el valle de México, siguió el itinerario natural entre los actuales pueblos de San Nicolás de los Ranchos, Puebla, y Amecameca, Méx., y Hernán Cortés, en una carta escrita al Emperador Carlos V, dice: "Viendo salir el humo de una montaña muy elevada, y deseando poder hacer a Vuestra Excelencia Real, una relación detallada de todo lo que este país encierra de maravilloso, escogí entre mis compañeros de armas diez de los más valerosos y les ordené subir a esta cima y descubrir el secreto del humo para decirme cómo y de dónde salía" (2). De 1519 a 1522, tres intentos fueron hechos por los españoles para alcanzar los bordes del cráter. Fracasaron en los dos primeros, según se desprende de la correspondencia del Conquistador al Emperador Carlos V (3).

Es muy dudoso que el Capitán don Diego de Ordaz haya llegado al cráter o encabezado siquiera la primera expedición verificada en 1519, aunque así lo afirma Bernal Díaz del Castillo. Los autores citados (pág. 3), mencionan los nombres de los exploradores que han visitado el Popocatepetl, y como se ve en seguida, han sido numerosos: Mesa y Montañó, en 1522; el P. franciscano B. de Sahagún; S. Sonnschmidt, en 1770; don Antonio Alzate, en 1787; el Barón de Humboldt; los hermanos Glennie y F. Taylor, en 1827; S. Birbeck; Laverrière; F. von Gerolt; L. Gros; Fl. Egertin; Pieschel; marqués de Radepont; Pingret; Truqui; Craveri; don Manuel Siliceo; Aug. Sonntag; F. Sumichrast; Salazar y Ochoa; A. Dollfuss; L. de Montserrat; Pavie; Ponce de León; doctores Félix y Lenk; Angelo Heilprin; ingenieros J. G. Aguilera y E. Ordóñez; doctor P. Waitz y otros muchos.

(1) Essai Politique sur le Royaume de la Nouvelle Espagne par Alexander von Humboldt. Vol. II, Livre V, p. 673, Paris, 1808.

(2) Ob. cit. (1), p. 672.

(3) Ob. cit. (1), p. 673.

La mayoría de estos exploradores han contribuido a aumentar la bibliografía que se refiere al volcán, dando descripciones fisiográficas, geológicas y datos altimétricos del mismo.

#### *Expediciones al cráter del Popocatepetl por miembros del Instituto Geológico*

En mayo de 1920 y por la alarma que la prensa diaria sembró entre el público, el señor Director del Instituto Geológico de México organizó una expedición al Popocatepetl, que él mismo encabezó el 29 de mayo del mismo año. Esta expedición fué desafortunada porque no se pudieron obtener datos acerca del carácter de la erupción, en vista del mal tiempo que reinaba y que imposibilitó a sus miembros para ir más allá de los 5,044 M. sobre el nivel del mar (altura tomada con hipsómetro). Sin embargo, esta altura fué suficiente para poder percibir el olor de anhídrido sulfuroso que provenía del cráter, puesto que nos encontrábamos bastante cerca de él. La nevada y el viento nos obligaron a emprender el descenso.

El señor profesor Fritz Witzberg, desde que se habló de la actividad del volcán, ha verificado observaciones cotidianas de él desde el Observatorio Astronómico Nacional de Tacubaya, anotando, entre otras, como muy notable, una emisión de gases a mediados del mes de mayo de 1920. Transcurrió el año de 1920 sin que se presentaran otros fenómenos, además de las emisiones gaseosas, hasta el 16 de octubre del propio año en que se registró un movimiento sísmico en íntima relación con la actividad del volcán.

La prensa de la capital de la República insistió en sus noticias alarmantes y el señor Director del Instituto organizó una segunda expedición, que formamos el señor don Manuel Muñoz Lumbier, Inspector de la Red Sismológica Nacional; el señor profesor don Francisco de P. Tenorio, del Colegio de Puebla, y el suscrito. Esta comisión se formó un programa de observaciones, de las cuales algunas pudieron verificarse. El programa consistía en obtener registros de los movimientos sísmicos que suponíamos que acompañaban a las explosiones en el cráter; en



recolectar las muestras de los gases que forman las fumarolas; en hacer observaciones hipsométricas y tomar temperaturas de las aguas de los manantiales en la base del volcán, y de los gases, a su salida del cráter.

El itinerario que siguió la comisión, los instrumentos que se emplearon y el resultado de las observaciones hechas las daremos a conocer en seguida, sirviéndonos de la nota que, a nuestro regreso, el señor Muñoz Lumbier y el suscrito, presentamos al Director del Instituto.

El itinerario de nuestra expedición iniciada el 11 de febrero de 1921, fué un circuito descrito así: México, Puebla, Atlixco, Santa María, San Buenaventura, San Nicolás de los Ranchos, Santiago Xalitintla, Tlamacas, Cráter, Amecameca y México. De esa manera pudimos apreciar el carácter de las erupciones y visitando las poblaciones citadas, darnos cuenta exacta de las exageraciones asentadas por la prensa diaria. (Lámina I.)

Los sismógrafos que llevamos funcionaron en Atlixco a 17 kilómetros del cráter y en San Nicolás de Los Ranchos a 15 kilómetros del mismo. En este último punto nos vimos en la necesidad de dejar nuestros sismógrafos por dos causas: primera, porque no siendo fácilmente transportables, pues tenían 60 kilogramos de peso, no había manera fácil de conducirlos a Tlamacas, el paraje más cercano al volcán, en donde habíamos de acampar; y, segunda, porque habiendo sido negativos los resultados de las observaciones hechas en Atlixco y en San Nicolás de los Ranchos, pensamos que no nos darían ningún registro en Tlamacas, como tuvimos oportunidad de confirmarlo después. Esta expedición puede considerarse como la primera en nuestro país, en la que se

llevaron sismógrafos para la observación de los movimientos sísmicos que acompañan a las erupciones volcánicas. Las enseñanzas que a este respecto hemos tenido han sido útiles para el futuro, aunque las observaciones hayan sido negativas. Los sismógrafos que llevamos fueron proyectados y construídos por el señor don Octavio Fernández de Castro, actual encargado de la Estación Sismológica de Veracruz. Estos instrumentos pertenecen al tipo Omori, es decir, son de suspensión bifilar; la masa pesa 8 kilogramos; el período de la doble oscilación es de 7 segundos; la amplificación de 25 veces; no tienen amortiguador y las dos componentes NS. y EW. inscriben el registro en un mismo cilindro, con velocidad horaria de 2 centímetros por minuto. El señor Muñoz Lumbier y yo pensamos desde luego en la instalación de una estación vulcanológica con péndulos más sensibles, para lo cual escogimos el tromómetro de Wiechert-Mintrop, al que hubo de cambiarse el registro fotográfico que tenía, por un dispositivo mecánico que registra sobre papel ahumado. Con esto se sacrificó una pequeña parte de su sensibilidad; pero se transformó en un instrumento más práctico, y de todas maneras, muy delicado para el registro de los movimientos terrestres, quedando sin perjuicio de poder usarlo con su registro óptico en el caso de experimentación con movimientos artificiales. Este trabajo fué desempeñado con habilidad por el señor don Ramón Alva, jefe del taller mecánico del Observatorio Astronómico Nacional.

Las observaciones altimétricas permitieron fijar la altura de Atlixco y de Tlamacas; se hicieron con hipsómetro, y sus resultados fueron los siguientes:

### 13 de febrero de 1921

Atlixco, Pue.

1. P = 620 mm.; T = 19.9 g. c. (12 h.)
2. P = 630 mm.; T = 17.9 g. c. (19 h.)

Promedio de la altura absoluta para Atlixco, Pue., 1744 m.

Tacubaya, D. F.

1. P = 585.67 mm.; T = 16.4 g. c.
2. P = 584.79 mm.; T = 11.7 g. c.

### 15 de febrero de 1921

Tlamacas, Pue.

1. P = 480 mm.; T = 4.8 g. c. (17 h. 30 m.)
2. P = 481 mm.; T = 0.55 g. c. (18 h. 30 m.)
3. P = 482 mm.; T = 1.00 g. c. (20 h. 00 m.)

Promedio de la altura absoluta para Tlamacas, Pue., 3912 m.

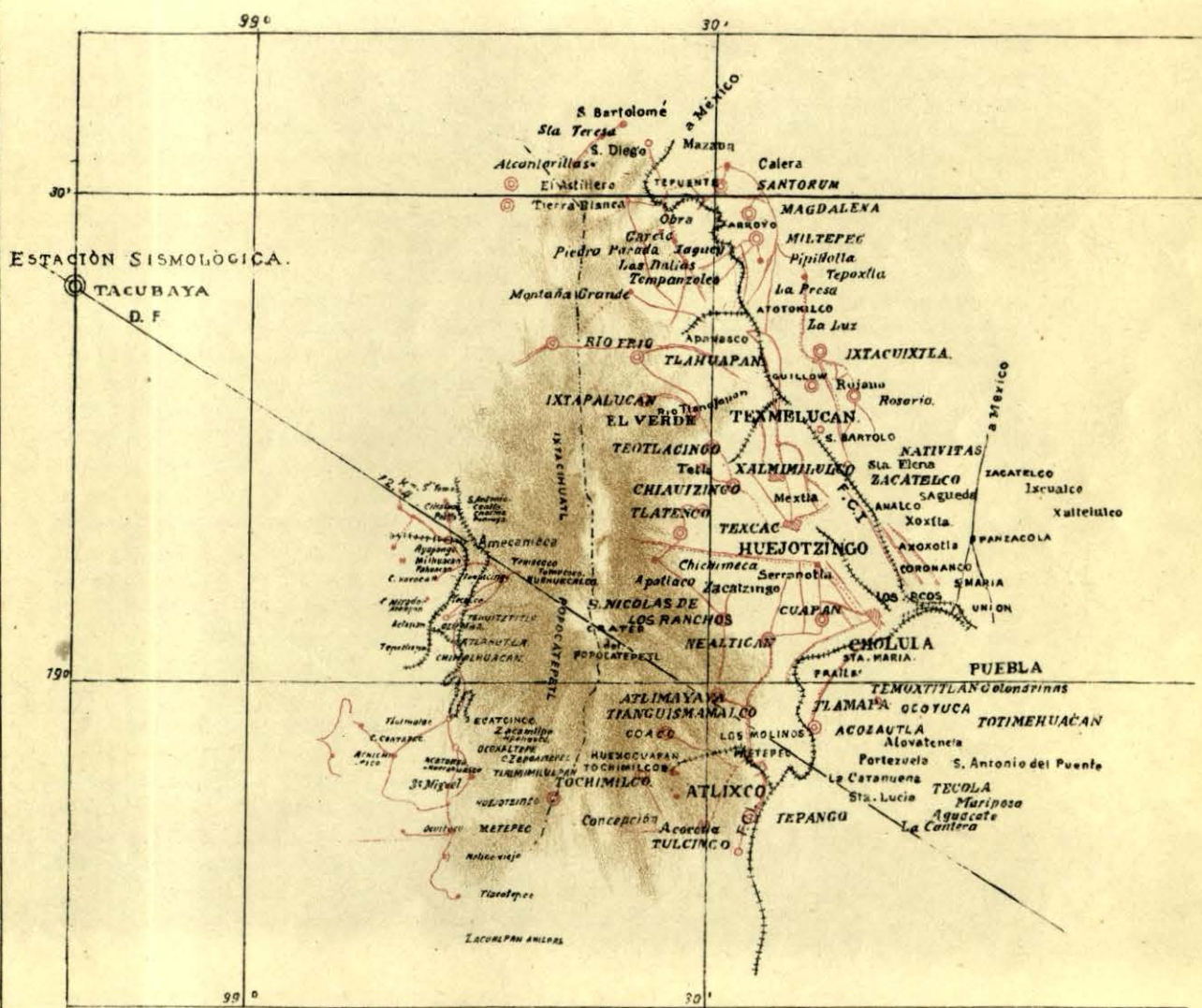
Tacubaya, D. F.

1. P = 580.82 mm.; T = 18.9 g. c. H = 3900.3 m.
2. P = 581.27 mm.; T = 17.4 g. c. H = 3926.0 m.
3. P = 583.36 mm.; T = 14.1 g. c. H = 3910.4 m.



SITUACION del Volcán Popocatepetl  
en relación con los lugares habitados mas próximos a él

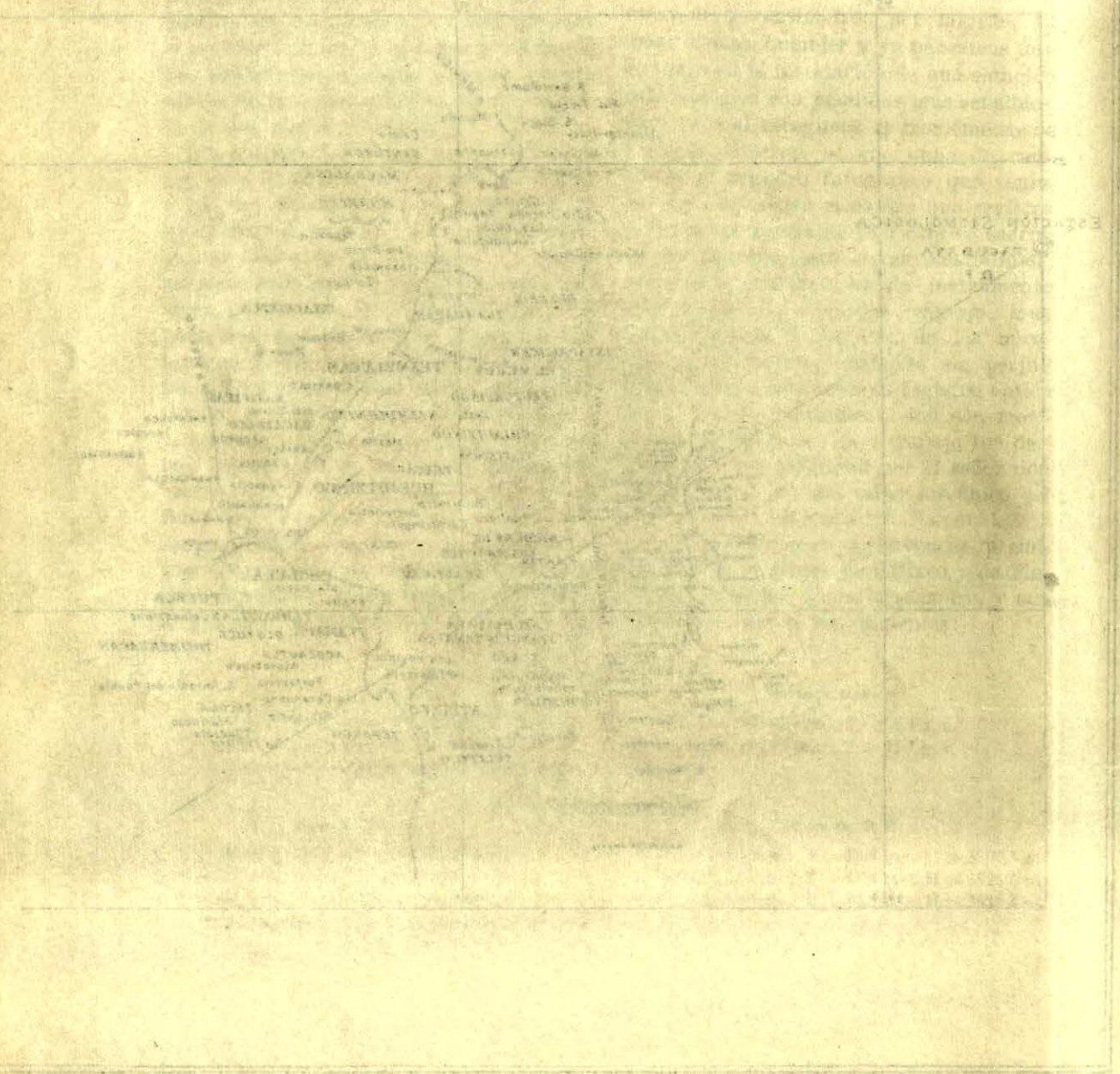
Escala 1: 800,000.





**SITUACION DEL VALLE DE POZUECO**

Escala: 1:50000





Tanto para Atlixco como para Tlamacas, se tomó como estación de comparación la altura del cero del barómetro de mercurio del Observatorio Meteorológico Central de Tacubaya, que se encuentra a metros 2,308.590 sobre el nivel del mar. Las observaciones en las estaciones superior e inferior fueron simultáneas y se usó para el cálculo la fórmula de Babinet (1).

No describiré los incidentes de esta expedición, porque ofrece la monotonía de los que se registran comúnmente en esta clase de viajes; me limitaré a decir cuáles fueron los resultados alcanzados, que, en verdad, carecieron de importancia. Acampados la noche del 15 de febrero en Tlamacas, ascendimos el 16 al cráter, haciendo el recorrido a pie, después de atravesar la barranca arenosa de San Mateo, al Sur del campamento; pasamos por los puntos bien conocidos: Las Cruces, Cargadero, o Cargaderas, Colorado, Rancho Viejo, La Mesa o El Banco y Labio del Cráter, al pie y al N. del Espinazo del Diablo. Durante el ascenso, nuestro camino no estuvo cubierto de nieve como aconteció en la expedición del 29 de mayo de 1920, en la que encontramos el límite de las nieves persistentes en Las Cruces (4,600 metros sobre el nivel del mar). Entonces el manto de nieve era grueso desde ese paraje en adelante, la nieve granular cedía a la presión del pie y había que caminar sobre las salientes del relieve en que aparecían manchones de arena húmeda, para no hundirse demasiado en la nieve que tenía su mayor espesor, más de un metro, en las depresiones del terreno. En cambio, el 16 de febrero de 1921, el camino hacia la cima estaba desprovisto de ese campo de nieve que encontramos en la primera expedición. Solamente a nuestra derecha, es decir, al NW., se destacaba el casquete de hielo que constantemente cubre el flanco N. del volcán, presentando el aspecto de un grueso cristal en cuya superficie se hubieran depositado escamas imbricadas de hielo compacto, definidas por bordes irregulares; estos bancos de hielo se superponen en la

forma indicada hasta la parte alta de la montaña.

Este contraste entre el aspecto del campo nevado (nevé) en dos épocas distintas del año, lo atribuí erróneamente y por un juicio precipitado, a la elevación de temperatura en la superficie de las arenas por efecto del calor desarrollado en el interior de la chimenea y cráter del volcán; pero después la explicación de este cambio la he encontrado independiente de la actividad volcánica. Efectivamente, siendo las mañanas del verano más serenas y despejadas que las tardes, los flancos S., SE. y E. del Popocatepetl están más expuestos a la insolación que el resto de la montaña, y la fusión de las nieves en las vertientes citadas se hace casi por completo. Agréguese a esto que toda lluvia se transforma en nevada a los 4,600 metros, y que, como pudimos observar, al día siguiente de una nevada, el manto de nieve desciende hasta 4,000 metros de altura absoluta, alcanzando grande espesor en las partes más altas. En el mes de febrero no había llovido y el contingente de nieve era escaso y muy expuesto a la rápida fusión; no así en el mes de mayo, en que el período de lluvias ha comenzado y los depósitos de nieve son abundantes y menos expuestos a la fusión rápida. Por otra parte, las observaciones del señor doctor Hyde dadas a conocer en una conferencia (1) demostraron que las arenas del Popocatepetl no habían sufrido elevación de temperatura a consecuencia de la actividad volcánica. Las nuestras han sido concluyentes en el mismo sentido; mientras la temperatura del aire desciende con la altura, la de las arenas se mantiene casi constante; desde Las Cruces, al borde del cráter, sólo se observa una oscilación de 1 grado centígrado. Finalmente, el barón de Humboldt (2) hace notar que en tanto que en el Ecuador la oscilación en la altura de las nieves persistentes no llega a 70 metros, en el paralelo 19° esta oscila-

(1) Conferencia sustentada por el geólogo Mr. George E. Hyde, el 22 de abril de 1921, en el Instituto Geológico de México.

(2) Essai Politique sur le Royaume de la Nouvelle Espagne par Alexander von Humboldt. Chap. III, p. 45. Paris, 1808.

(1) Smithsonian Miscellaneous Collections. Part of Volume XXXV. 1907. Washington, U. S. A.



ción es más amplia, de 700 a 800 metros del invierno al verano.

El itinerario durante el ascenso es, propiamente, una hélice que se apoya sobre el cono, alejándose cada vez del casquete de hielo que cubre el N. y NW. de la montaña. Por eso no se puede apreciar desde el camino el espesor del hielo, pues las grietas de los ventisqueros quedan muy alejadas; la más cercana es la llamada de Los Candiles, a la altura aproximada de El Banco, y se encuentra como a 500 metros. A la altura de Cargaderas y a la derecha, se destaca El Pico del Fraile, que se levanta bruscamente como un tetraedro (figura de resistencia) incrustado en el cono principal, interrumpiendo el perfil del cono que a distancia aparece como una curva suave y sin accidentes, aunque no lo es, pues su superficie está profundamente agrietada como puede verse en las fotografías 1, 2 y 3.

Haremos notar aquí otro fenómeno que, aunque es conocido de los alpinistas europeos familiarizados con el régimen glacial, necesita una explicación ligera para nosotros, que a una latitud menor, sólo podemos observar los fenómenos glaciales en montañas muy elevadas. Como hemos repetido, el campo de nieve granular no existía; pero en algunas depresiones del terreno y a la profundidad de 20 centímetros, se encontraban lentes de hielo debajo de las arenas. La presencia del hielo compacto, en estas condiciones, se explica porque al verificarse en la parte alta el deshielo, algunos filetes de agua que provienen de la fusión, se infiltran en las arenas, después de trayectos muy cortos sobre la superficie y a corta profundidad se vuelven a congelar.

La expedición de febrero, por ser demasiado heterogénea en cuanto a la resistencia física de sus miembros, se dividió en dos grupos, y en el que llegó en primer lugar al cráter, se encontró el señor Muñoz Lumbier, quien lo describe así:

“Desde el punto denominado Labio Inferior, el borde del cráter ofrece la forma del contorno de la sección longitudinal de una pera, ocupando el observador un punto cercano al pedúnculo. Ese contorno es sinuoso, dentado, debido a que los agentes erosivos han arrojado gran cantidad

de material al fondo del cráter o lo han arrastrado hacia afuera sobre los flancos de la montaña. En el interior de la caldera pueden verse, cerca de las paredes, grandes bloques de rocas fragmentadas y detritus que forman los derrumbes de las paredes. La actividad actual ha traído cambios en la topografía del interior del cráter, y por esto no vimos ya la laguna pequeña que ocupaba el fondo cuando visitaron el volcán los señores ingenieros J. G. Aguilera y E. Ordóñez (1). En el lugar en que abordamos el cráter, su borde se corta a bisel hacia el Norte y está constituido por rocas muy alteradas con pendientes casi verticales para el interior.”

Este grupo pudo hacer algunas observaciones personales y permaneció en el borde cerca de 40 minutos. Al segundo grupo, del cual formé parte, no le fué posible observar casi nada: llegamos al mismo punto de observación dos horas después; la nevada azotaba ya la cima de la montaña y las fumarolas habían tomado incremento, al grado de impedirnos la inspección del interior de la gran caldera. La actividad en las explosiones gaseosas del cráter había sido iniciada desde el día 14, y puede decirse que en plena actividad lo visitamos. La abundancia de los gases no nos permitió permanecer allí más de 10 minutos. Las explosiones no eran periódicas, pero sí frecuentes, y el viento que soplaba con fuerza del NW., arrastraba los gases a su salida, haciéndoles rodar hacia abajo del cono, viéndonos completamente envueltos en ellos. Las emisiones venían acompañadas de ruidos estruendosos, a veces, semejantes a los que se oyen en una “casa redonda” o central, de ferrocarriles, en donde muchas calderas dejan escapar el vapor. Contamos siete emisiones en el corto tiempo indicado. Estas no tomaron la forma de columnas o penachos, por la violencia del viento; probablemente en magnitud igualaron a la que observamos desde Los Frailes a bordo del Ferrocarril de Atlixco a Puebla, el día 14 a las 7

(1) Expedición Científica al Popocatepetl. J. G. Aguilera y E. Ordóñez. Com. Geol. Mex. Director A. del Castillo, Méx., 1895.

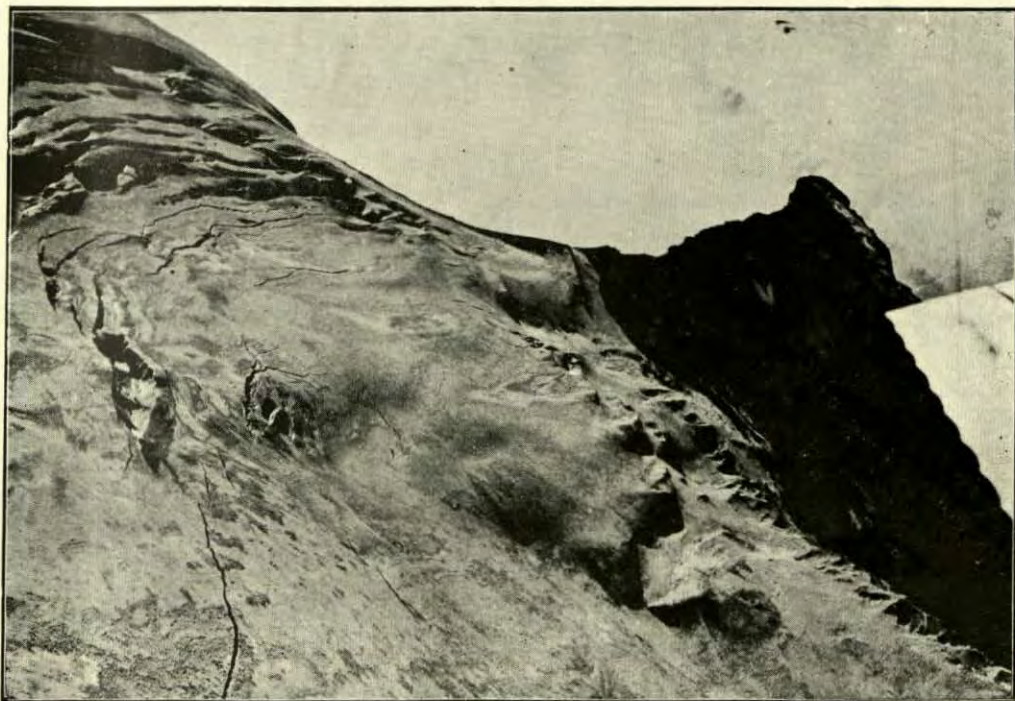




Fot 1123

Fotografía número 1. Borde del cráter del Popocatépetl; parte alta del ventisquero con sus grietas transversales. Sobre el borde y a la derecha, el "Pico Mayor," a la izquierda, el "Espinazo del Diablo."—Vista tomada desde el Norte.

(Fot. Lecón.)



Fotografía número 2. Parte media del ventisquero principal del Popocatépetl. Vista tomada del Norte. A la derecha el "Pico del Fraile."

(Fot. Lecón.)







horas 23 minutos, y a la que pudimos ver el día 15 desde San Nicolás de Los Ranchos a las 7 horas. La primera de las citadas fué vistosa, tomó la forma de coliflor, a la que la asemejan los autores; y empenachó la montaña por más de 10 minutos antes de extinguirse. Esta colosal explosión coincidió con un movimiento sísmico que registró el péndulo horizontal Wiechert de 17,000 kilogramos, instalado en Tacubaya, D. F. (marcado con asterisco en el cuadro que se incluye al final de este estudio), y fué seguida de otros choques del mismo origen. El señor profesor Tenorio llevaba varias ampollas Pasteur cerradas a la lámpara en las que se había hecho el vacío a un centésimo de milímetro, con el fin de coleccionar muestras de los gases emitidos por las fumarolas y solfataras; pero desgraciadamente esta operación tan importante se hizo imposible por el volumen y frecuencia de las explosiones, que produjeron un principio de envenenamiento, por la absorción del hidrógeno sulfurado, en dicho señor profesor, en su ayudante y en dos de nuestros guías. No observamos proyección de cenizas ni de arenas volcánicas. Poco antes de llegar al cráter, los guías nos indicaron la presencia de una grieta reciente que arrojaba gases al igual que el cráter. Tenía una posición radial con rumbo NW. SE., nacía como a 100 metros abajo del borde del cráter, hacia el S. de nuestro camino, y medía como 150 metros de longitud con una anchura de algunos metros, que no pudimos apreciar. Al principio no la visitamos para observarla de cerca, por el interés de alcanzar el cráter, después, por las causas indicadas: en esa dirección soplaban el viento y cuatro compañeros estaban enfermos. En excursiones posteriores no se ha visto esta grieta, ni menos arrojando gases. Estos mismos fenómenos los hemos observado en diciembre de 1921 en que por algunos días estuvieron funcionando como activas varias grietas al Norte del cráter y como a 300 metros abajo del Pico Mayor. Su actividad eruptiva fué temporal como la observada en febrero al SE. Ya vemos que la actividad fumarólica no se ha limitado al amplio cráter del Popocatepetl, sino que los gases han buscado

canales nuevos para su salida. Indiferentemente se han presentado las grietas eruptivas al N. y al SE., probablemente con independencia de la aparente falta de resistencia del cono del lado del SE., de que habla el señor doctor P. Waitz (1) al hacer hipótesis acerca del probable evento de que los flancos de la montaña cedieran al esfuerzo de tensión de los gases en la chimenea del volcán.

Las ascensiones al cráter posteriores y hechas por miembros del Instituto Geológico, fueron organizadas después del establecimiento de la Estación vulcanológica de Tlamacas.

Mencionaré la verificada por el jefe de la Estación Sismológica de Tacubaya, señor ingeniero F. Patiño Ordaz, el 5 de agosto de 1921, acompañado del ayudante Tobías Navarrete y del guía Pablo Velarde. En esta fecha el señor Patiño Ordaz describió el cráter en una forma que no difiere de la descrita por los señores Ordóñez y Aguilera (2). No hubo explosiones notables; sólo en la noche del día 5 observó fulgores rojizos en los bordes del cráter desde el campamento de Tlamacas.

El 14 de septiembre de 1921 ascendimos al cráter el señor don Guillermo Salazar Viniegra, ayudante de Sismología, y el suscrito, acompañados del mozo del Instituto, Timoteo Godínez. Salimos del campamento a las 7 horas y llegamos al borde del cráter a las 12 horas 30 minutos, con entera salud y aptos para hacer las observaciones. Desde luego tratamos de hacer hervir el agua del hipsómetro. El viento era moderado, corría al W. y esto era favorable tanto porque dejaba arder la lámpara del instrumento, cuanto porque los gases desprendidos del cráter en masas muy voluminosas, que nos impidieron ver el interior de la caldera, no nos molestaban. Hicimos cuatro observaciones hipsométricas, la última, que es la que merece mayor confianza por haberse man-

(1) La nueva actividad del Popocatepetl. Sociedad Científica "Antonio Alzate," México, 1921, por el doctor Paul Waitz.

(2) Ob. cit. Expedición Científica al Popocatepetl. J. G. Aguilera y E. Ordóñez, Com. Geol. Méx. Director A. del Castillo, México, 1895.



tenido la columna de mercurio a mayor altura que en las anteriores, fué hecha a las 13 horas 5 minutos. El resultado de esta observación fué el de conocer la altura de 5,319 metros sobre el nivel del mar para este punto del borde del cráter, diametralmente opuesto al Pico Mayor y cuya altura es de 5,450 metros, según los señores Aguilera y Ordóñez (1). Mientras el agua alcanzaba su punto de ebullición y aprovechando la salida tumultuosa de los gases, en dos ocasiones avancé hacia el bisel interior del borde del cráter, cuyas paredes eran verticales en el punto en que colecté dos muestras de gases. Me serví de ampolletas en las que se había hecho el vacío a una presión de un centésimo de milímetro de mercurio, estaban cerradas a la lámpara y perfectamente transparentes. Al romper la punta afilada de la primera, hizo una aspiración bien marcada por el silbido especial de los gases que penetraron en el interior bruscamente. Al llenar la segunda no noté ningún ruido; ambas ampolletas fueron cerradas con chapopote fundido en la lámpara del hipsómetro. Las paredes de las dos se cubrieron de un sublimado blanco muy fino que les quitó su transparencia, el que era probablemente cloruro de amonio. En una expedición posterior, en la que tuvimos oportunidad de examinar detenidamente la topografía y accidentes notables del interior de la caldera, vimos que una fumarola intermitente, conteniendo mucho vapor de agua y desprendiendo un fuerte olor de hidrógeno sulfurado, ocupaba exactamente el sitio en donde habíamos colectado los gases el 14 de septiembre. Quizá por un cierre defectuoso de las ampolletas y por el tiempo que transcurrió para su análisis químico, el señor profesor don Carlos Castro, jefe del Laboratorio de Química del Instituto, solamente encontró aire atmosférico. A este respecto debemos recordar lo que dijo C. Saint-Claire Deville al describir las fumarolas del Vesubio en la erupción de 1855 (2). "I. Fumarolas secas.

Sublimado de cloruros metálicos con hue-llas de sulfatos."

"Algunas veces se forman fluoruros, como los observados por Seachi en 1850 en las lavas. Estas fumarolas son emitidas directamente por las lavas incandescentes, y los vapores sublimados están mezclados con un gas que es esencialmente *el aire atmosférico*. Un grupo especial de fumarolas secas emite cloruros de amonio."

En el cuadro de clasificación de este autor figuran los siguientes grupos: fumarolas ácidas, que contienen vapor de agua, hidrógeno sulfurado, ácido clorhídrico, anhídrido sulfuroso y ácido sulfúrico; fumarolas que contienen vapor de agua, hidrógeno sulfurado y azufre libre, verdaderas solfataras; emisiones de vapor de agua con bióxido de carbón y emisiones de vapor de agua solamente. Este cuadro de clasificación, aunque incompleto, como lo juzga F. W. Clarke (1), sirve de guía para valorizar el grado de actividad de un aparato volcánico, porque los desprendimientos gaseosos básicos o ácidos obedecen a una ley perfectamente definida entre su composición química y la temperatura de la fumarola. Así vemos que en un período de actividad máxima aparecen los vapores secos, más tarde se inicia con el progreso de enfriamiento, el desprendimiento de fumarolas ácidas y, finalmente, los desprendimientos de bióxido de carbón indican el decaimiento y marcan el final del período eruptivo (2).

Las fumarolas secas pueden tener una temperatura variable entre 850 grados centígrados y 1,100, mientras que las fumarolas más básicas rara vez llegan a tener 80.

Tan importante era para nosotros conocer la composición química de las fumarolas como su temperatura; pero fracasamos el 14 de septiembre; y el 11 de diciembre de 1921 en que ascendieron los señores don Jorge E. Hyde, don Salvador Soto Morales, los ayudantes don Ernesto Azcón Barrientos y Tobías Navarrete y el mozo Timoteo Godínez, el señor Hyde

Director Bull. 616. Third Edition, Washington, 1916, p. 262.

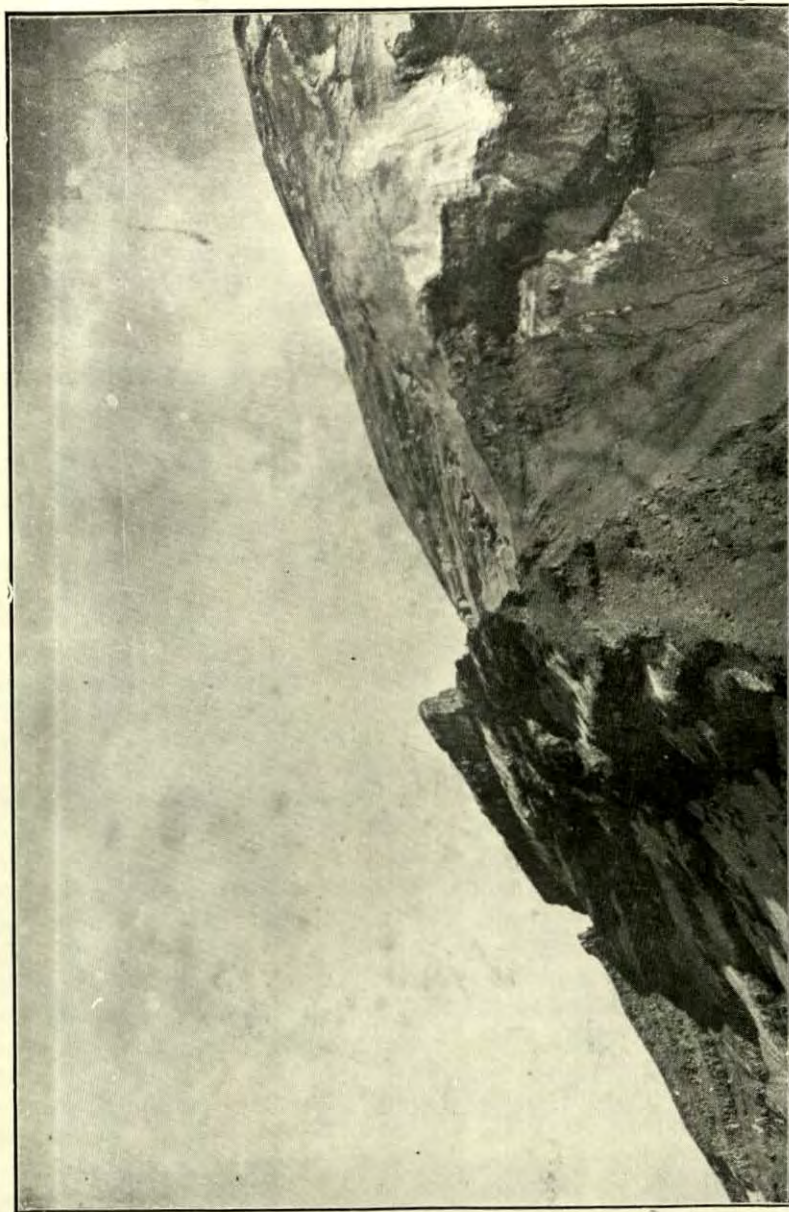
(1) Ob. cit.

(2) Los volcanes y lo que nos enseñan. Villain.

(1) Ob. cit. (en la pág. 12 del texto).

(2) The data of Geochemistry by Frank Wigglesworth Clarke. Dep. of the Interior United States Geol. Survey. Geo. Otis Smith,





Fotografía número 3. El "Pico del Fraile" a la izquierda, y el ventisquero a la derecha. En el ángulo inferior de la derecha, el nacimiento de la barranca de "El Ventorrillo."—Vista tomada desde el W.

(Fot. Lecón.)







intentó el descenso al cráter; pero hubo necesidad de izarlo cuando había alcanzado la profundidad de 60 metros abajo del "malacate," porque perdió el conocimiento a causa de la absorción que hizo de los gases. Resultaron igualmente infructuosos los esfuerzos del químico, señor don Salvador Soto Morales, para coleccionar muestras de gases. Según su opinión, que transcribo en seguida, se trata de fumarolas del tipo ácido en las que predomina el ácido sulfúrico. Dice este señor: "Durante la mañana del 11 de diciembre de 1921 y en el tiempo en que permanecí en el cráter del volcán, me concreté a hacer observaciones de orden cualitativo y organoléptico propiamente dicho, y fueron las siguientes: en las emanaciones del tapón sólo encontré anhídrido sulfuroso en grandes cantidades; vapor de agua en las emisiones de las fumarolas del labio; anhídrido sulfuroso, anhídrido sulfúrico y ácido sulfúrico, impregnando las cenizas; así como vapor de agua. El ácido sulfúrico manifiesto es formado por catálisis, según la reacción:  $\text{SO}_2 + \text{O} + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4\text{H}_2$ . Reacción efectuada a expensas de las cenizas volcánicas que obran como catalizador."

"Agregaremos también que es bien sabido que la naturaleza de las emanaciones varía con el tiempo transcurrido desde el principio de la erupción; y la de las fumarolas, en puntos distintos del aparato volcánico, varía con su distancia al centro eruptivo principal. En ambos casos el orden de variación es el mismo" (1). En mi concepto y dadas las dificultades para recoger las muestras de gases, debería intentarse el análisis espectroscópico de las fumarolas, como lo hicieron W. Libbey y J. Jansen en el Kilauea, y este último en el Santorin (2). Durante nuestra ascensión del día 14 de septiembre no hicimos más. A nuestro regreso, dejamos a la izquierda la serie de corrientes de lava que con los nombres de Cargaderas, Las Cruces y Xalmontón, se inician desde el borde del cráter con el nombre de "Espinazo del Diablo," serie de corrientes que forman una costilla radial que interrumpen

pe la monotonía de los arenales. Está formada esta costilla, orientada de SW. a NE. (fots. 4 y 5), por lavas petrográficamente distintas: en la parte inferior, basaltos (Xalmontón); en la parte media, basaltos andesíticos y andesitas en el Espinazo del Diablo. Tal parece que en distintos paroxismos del cráter actual, las lavas escogieron el mismo derrotero al derramarse.

En aparente desorden de ideas, pero obedeciendo al orden cronológico, transcribo el informe que rendí al señor Director del Instituto Geológico con motivo de la ascensión al cráter verificada con todo buen éxito el 15 de noviembre de 1921. El grupo de excursionistas quedó formado así: doctor Immanuel Friedländer, vulcanólogo alemán; el señor H. Hisazumi, geólogo japonés; la señorita Olga Friedländer; don Guillermo Salazar Viniegra, ayudante de sismología, el suscrito y cuatro guías. El día anterior habíamos alcanzado la altura de 5,000 metros, llegando ya muy cerca del Espinazo del Diablo; pero una persona que nos acompañaba pronosticó una nevada, y los demás viajeros se desanimaron. La nevada no se presentó, y perdimos la oportunidad de observar el cráter una vez más.

El citado informe dice lo siguiente: Uno de los principales objetos de nuestras observaciones en el turno de octubre a noviembre fué el de investigar la causa de los fulgores que durante algunas noches iluminaron los bordes del cráter. Estos fulgores fueron observados el 5 de agosto, el 20 de septiembre y el 1.º de noviembre. El mal tiempo impidió la exploración en el mes de octubre; pero ésta la realizamos el 15 de noviembre con feliz éxito, observando el cráter en todos sus detalles, permaneciendo cuatro horas en el punto más bajo del labio inferior o sea el lugar llamado "Brecha Silíceo," arriba del malacate instalado para la extracción del azufre. Del 1.º al 13 de noviembre hubo un período de calma en que las emanaciones gaseosas fueron tenues y muy ligeras. Estas explosiones de gases transparentes han sido llamadas ultravolcanianas, por Mercalli (1). El día 14

(1) Bull. 606. Geol. Surv. 1916. Frank W. Clarke, p. 263.

(2) Ob. cit. (1), p. 269.

(1) Geochemistry Bull. 606, Geol. Survey. 1916, Frank W. Clarke.



aumentó el número y la abundancia de las explosiones que también cambiaron de color, volviéndose grises. El día 15 fué de actividad máxima. Durante la ascensión contamos hasta diez explosiones voluminosas, muy oscuras y precedidas de detonaciones fuertes. De las 13 horas a las 17 horas presenciamos ocho explosiones con una intermitencia media de 30 minutos. Cada explosión tenía una duración de 2 a 3 minutos. Entre dos explosiones consecutivas la atmósfera era transparente.

*El cráter.* Al observar el conjunto del cráter, sus dimensiones aparecen pequeñas en relación con la magnitud de las actividades que en él se desarrollan. Efectivamente, el número de solfataras y de fumarolas es abundante; unas y otras son intermitentes. De las primeras, dos son las más notables y se encuentran en el contorno del tapón o cúpula central al SE.; de las segundas, podemos decir que son incontables: existen en la superficie del tapón, indistintamente aparecen en cualquier punto del mismo, se encuentran en las diaclasas de las altas paredes de la caldera y en los bordes dentados de la misma. Finalmente, hay escapes de vapor de agua que ha disuelto hidrógeno sulfurado que aparecen fuera del cráter.

En algunos momentos arrecia el ruido producido por las emanaciones gaseosas y a continuación se intensifica y se generaliza la actividad fumarólica, entrando en acción simultánea todos los conductos de los gases.

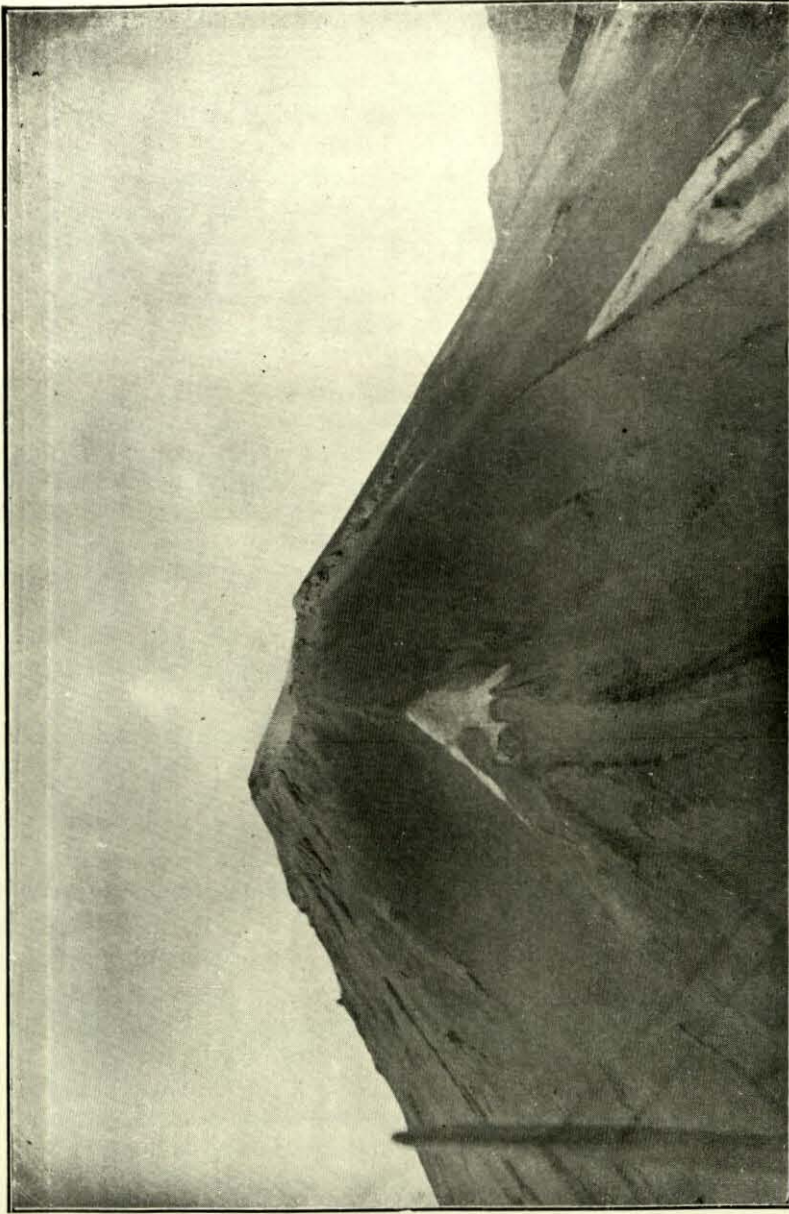
*El tapón.* Tiene una forma abombada en el centro, lenticular o en forma de cúpula. Sus dimensiones son aproximadamente las siguientes: 200 metros de diámetro y 30 metros de espesor en el centro. Por la forma de esta cúpula se comprende en seguida que este levantamiento central del fondo del cráter no es el producto de los derrumbes de las paredes del mismo, porque los conos de derrumbe pueden observarse en la superficie de la cúpula, apoyados directamente sobre las paredes de la caldera, con el ángulo límite de resbalamiento que corresponde a estos detritus. El medio de la cúpula central está constituido por una roca andesítica muy

semejante a la que forma las paredes de la caldera y está fracturada a consecuencia de las múltiples explosiones que allí ocurren. Este tapón está cribado por numerosas grietas y perforaciones que ocupan toda su superficie. Las fumarolas que se desprenden en los momentos de una violenta explosión, forman líneas paralelas como las cuerdas de un círculo, curvas semejantes a una hipocicloide, o bien, circunferencias concéntricas dentro de la cúpula. (Fot. núm. 7.)

*Las explosiones.* Son perfectamente centrales, con un diámetro aparente en su base de 60 metros, precedidas de fuertes detonaciones que duran más o menos seis segundos. La masa arrojada por la explosión se eleva en el primer impulso como a 60 metros de altura. Los gases y cenizas dan a esta emisión violenta un color gris oscuro y un aspecto, dentro del cráter y antes de alcanzar los bordes de éste, de una melena salvaje y monstruosa. (Fot. núm. 8.) La fuerza propulsora de la explosión determina, en gran parte, el movimiento ascensional de estos proyectiles gaseosos, como los llama el señor profesor don Emilio Oddone; pero influye también en ese movimiento la temperatura de los gases, determinando el fenómeno de convención, en virtud del cual no sólo se levanta la columna gaseosa a mayor altura, sino que se verifica en ella el movimiento de vórtice y de ahí depende la estructura de las fumarolas, que bien caracterizadas, se distinguen de las nubes de vapor de agua que con frecuencia cubren la cima del Popocatepetl.

Las emisiones explosivas de las 15 horas y 15.30 horas del 15 de noviembre de 1921, lanzaron proyectiles incandescentes a 75 metros. La segunda fué la más intensa de las que presenciamos. Los proyectiles tenían un diámetro aproximado de metros 0.50; la trayectoria de descenso era la misma que seguían al elevarse, es decir, caían en el centro de la cúpula. No fué posible apreciar si estaban animados de un movimiento helicoidal como el de las bombas volcánicas; creemos que no, porque no se trata de masas pastosas o semifundidas, sino de fragmentos de andesitas puestos al estado incandescente por la





Fotografía número 4. El cráter del Popocatepetl visto desde el NE. A la derecha, el "Espinazo del Diablo."  
Aeroplano a 5 kilómetros aproximadamente.

(Fot. Lecón.)







temperatura de los gases, y lanzados con una débil energía explosiva.

*Las grietas.* La superficie del tapón está surcada por numerosas grietas cuyo interior es incandescente. Ninguna ley parece gobernar este fracturamiento. Tres grietas paralelas centrales y orientadas de N. a S. son las más notables. La incandescencia se eleva durante una explosión, pasando del color rojo sombrío, carmín, al escarlata y al rojo blanco, en los momentos de mayor violencia explosiva; después las grietas recobran su color primitivo con alguna lentitud. Creemos fundadamente que los fulgores observados se deben a la reflexión que de la luz emitida por las grietas incandescentes hace la base de la fumarola al llegar y sobrepasar la altura del labio del cráter. Tal incandescencia no significa la presencia de una columna de lava que haya alcanzado la altura considerable del fondo del cráter, porque no vimos materias pastosas o fundidas, la incandescencia de los materiales pétreos se debe a la temperatura de los gases emitidos por la chimenea central. La naturaleza de las fumarolas ácidas parece de acuerdo con la idea de que las lavas no han alcanzado un nivel tan alto.

El señor doctor George E. Hyde hizo, además de la ascensión del 11 de diciembre de 1921, otras tres exploraciones al cráter del Popocatepetl, acompañado de los señores ingeniero don Manuel Santillán y del practicante don Santiago Mc. Gregor.

Finalmente, el señor ingeniero don Gonzalo de Gortari hizo otro ascenso el 4 de enero del presente año, y transcribo una nota que él me ha proporcionado: "En el ascenso que hice al volcán el 4 de enero último observé el fondo del cráter desde arriba de la "Brecha Siliceo," donde se encuentra el malacate: el tapón semejava una especie de zócalo formado de material triturado o de desecho, allí aglomerado, y de varios lugares del mismo se desprendían gases en pequeñas cantidades que a unos cuantos metros de altura se desvanecían, estando estas emanaciones acompañadas de un ruido peculiar, como el de una inmensa caldera."

*Fisiografía general de la región  
y morfología particular  
del Popocatepetl*

Las coordenadas geográficas del Pico Mayor, lugar de altura más prominente del borde del cráter y situado al NW. son: latitud 19° 01' 17" N.; y longitud 0° 34' 03" E. de Tacubaya, según triangulación geodésica de la Comisión Geográfica Exploradora. La altura del Pico Mayor es de 5,450 metros, la altura absoluta del labio inferior, 5,319 metros.

El Popocatepetl está situado entre los límites políticos de los Estados de México, Puebla y Morelos. Este gigante continental es la eminencia más elevada de la llamada Mesa Central mexicana, y su altura absoluta es la segunda del país, correspondiendo el primer lugar al Pico de Orizaba o Citlaltépetl. La montaña que nos ocupa forma parte de la barrera bien conocida con el nombre de Sierra Nevada; cuyo eje se dispone de N. a S., estableciendo la división hidrográfica de los valles de México, Tlaxcala, Puebla, Atlixco y Cuautla. La existencia de esta barrera montañosa, con una longitud, según su eje, de más de 95 kilómetros, no sólo ha determinado en el relieve circunvecino la posición de las distintas redes hidrográficas que ocupan los valles citados, sino que determina la climatología peculiar de cada uno de éstos, y ha influido poderosamente en el destino de los pueblos que han morado en sus faldas y en el fondo de los amplios valles que separa, durante sus luchas, sus conquistas y sus derrotas recíprocas.

Por su extremo N. la Sierra Nevada avanza hasta Mazapa y Calpulalpan, cuyas montañas, cubiertas de bosques, son las últimas estribaciones del Iztaccíhuatl, que al morir cerca de Te-Puente y Nana-camilpa, forma una línea de relieve poco acentuada que penetra al Estado de Tlaxcala, entre los límites de los Estados de Hidalgo y Puebla, marcando la división de las aguas superficiales que pertenecen a los valles de México, Puebla y Tlaxcala. Estos dos últimos son, en su mayor parte, cuencas tributarias del río de las Balsas, y quedan al NE. y E. de la arista que describimos. El Popocatepetl y el Iz-



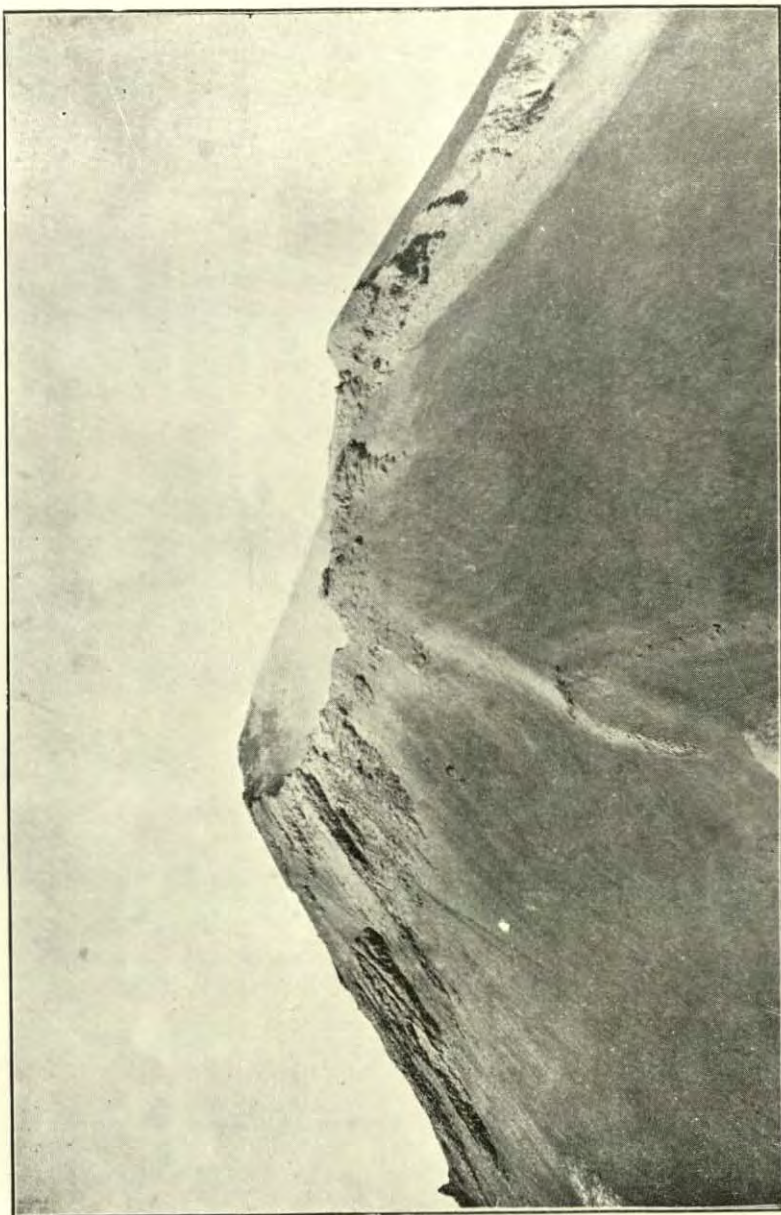
taccíhuatl son las dos unidades prominentes de esta sierra. Se ligan entre sí por dos valles transversales que rápidamente descienden desde 4,000 metros de altura hacia el Oriente, es decir, hacia el valle de Puebla; valles paralelos, separados por el cerro de Tlamacas que es alargado casi de W. a E. y presenta en su parte central una eminencia de perfil abrupto a 4,075 metros sobre el nivel del mar. La morfología de la cresta de Tlamacas es muy elemental: tiene flancos acantilados a cuyo pie corren dos profundos arroyos, uno situado al N. y otro al S.; su cima se levanta bruscamente en la parte central y afecta la forma peculiar de los testigos de las acciones tectónicas y erosivas, es decir, la de un tetraedro. Al N. del cerro de Tlamacas y entre éste y "Los Pies" del Iztaccíhuatl se encuentra el valle de Pela-Gallinas, de relieve poco accidentado en su parte superior que está cubierta de pastos raquíuticos y surcado por barrancas convergentes y con vegetación boscosa en su parte baja. La salida del valle está al NE. del cerro de Tlamacas, y las aguas superficiales que rara vez pueden observarse por la excesiva permeabilidad de las arenas, se abren paso entre el extremo oriental de la arista de Tlamacas y el Cerro Gordo, eminencia cónica, que se liga fácilmente al N. con el cerro de Apipilulco. Finalmente, el relieve se acentúa en las inmediaciones meridionales del Iztaccíhuatl. Un poco al W. del cerro de Apipilulco, siempre en el valle de Pela-Gallinas, y al pie del Iztaccíhuatl, se dibuja con claridad el contorno de un cráter antiguo muy derruido, circular, desgarrado hacia el NW., como de 400 metros de diámetro. En algunos lugares de sus bordes afloran las andesitas de hiperstena. Este cráter se llama Tlaquexpa, y desde el punto de vista geográfico presenta la forma característica de la senectud; tiene poca pendiente para llegar a su borde, que es abrupto sólo en donde aflora la andesita. Las formas son allí arredondadas y profundamente erosionadas. No he tenido tiempo de comprobar si el cráter de Tlaquexpa es más antiguo que los derrames de lava del Iztaccíhuatl que se hicieron por grietas eruptivas, ni si el cerro del Venacho que parece una estriba-

ción occidental del Iztaccíhuatl, sea el producto de una acumulación de lavas que haya provenido del cráter de Tlaquexpa.

El valle transversal que queda entre el cerro de Tlamacas y el Popocatepetl, o sea el valle meridional, se llama de Tlamacas, es de fuerte pendiente, arenoso en su parte alta y surcado por dos barrancas que convergen hacia Santiago Xalitintla: una que corresponde al arroyo de Tlamacas, que tiene rumbo NE. y que corre al pie de los acantilados andesíticos del cerro del mismo nombre, y la otra, al arroyo de San Mateo que nace al pie del ventisquero más bajo y notable del casquete nevado que cubre el N. y NW. del Popocatepetl y que llega hasta la base del Pico del Fraile. Este arroyo es un barranco arenoso que ha dejado algunas capas de brechas y conglomerados al descubierto. El agua de fusión del ventisquero se infiltra rápidamente en las arenas permeables después de recorrer algunos centenares de metros y el barranco de San Mateo está perfectamente seco; excepto en los meses de muchas lluvias, como agosto y septiembre, en que lleva un caudal corto que abajo sufre también la infiltración en las arenas. En cambio, en el arroyo de Tlamacas nacen manantiales de agua potable de primera calidad en el contacto de la brecha basáltica y de las corrientes de andesitas, estos manantiales nos suministraron el gasto para nuestra estación vulcanológica. Las aguas proceden de la infiltración de las meteóricas en el subsuelo permeable de las faldas del Iztaccíhuatl y del llano de Pela-Gallinas.

La morfología del Popocatepetl es demasiado sencilla: por cualquiera parte que se le mire es un cono (fots. núms. 4 y 12) de pendientes más acentuadas al E. y al W. y de perfil más suave hacia el S., prolongándose en esa dirección más de 40 kilómetros. Su casquete de hielo está surcado por anchas y profundas grietas al N. y NW., en donde se levanta el Pico del Fraile a 5,081 metros sobre el mar o a 1,169 metros sobre el valle de Tlamacas. Este pico es el detalle más atrayente y pintoresco en el conjunto de la montaña. Está formado de bancos de lavas super-

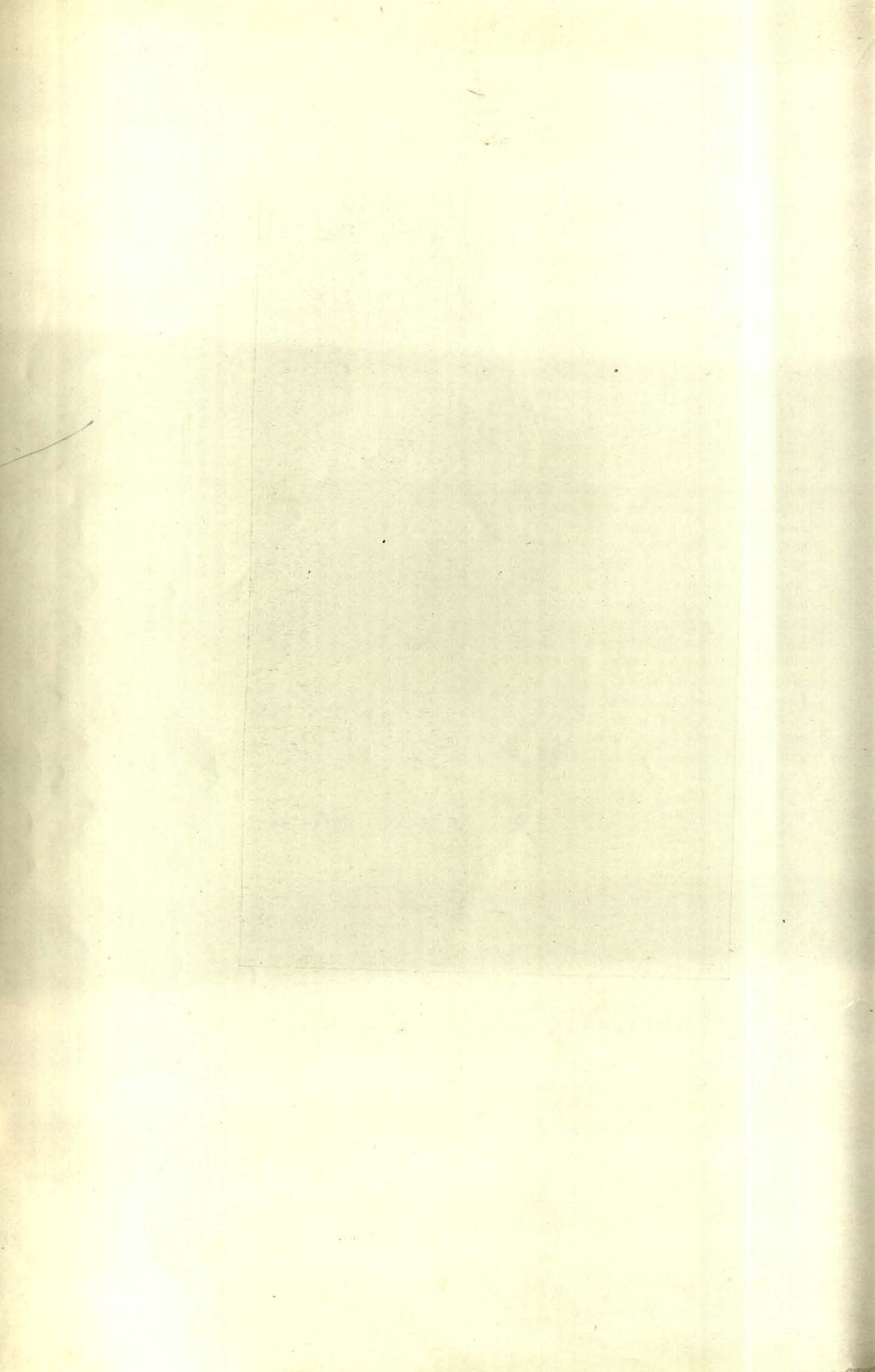




Fotografía número 5. El cráter del Popocatepetl visto desde el E.-NE. A la derecha, el "Espinazo del Diablo," a la izquierda, sobre el perfil del cono, una apósisis muy notable del lado de Atlixco, Puebla, y que corresponde en altura más o menos con el "Pico del Fraile."

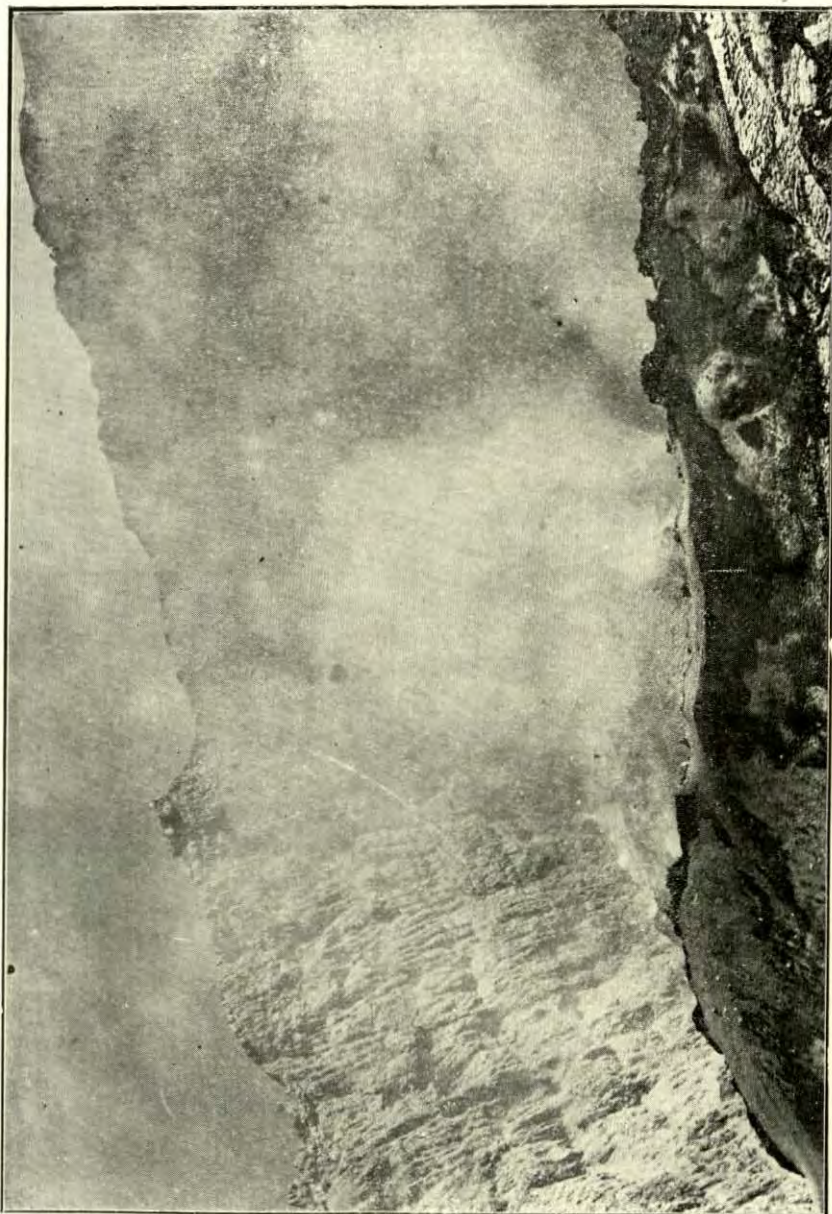
(Fot. Lecón.)







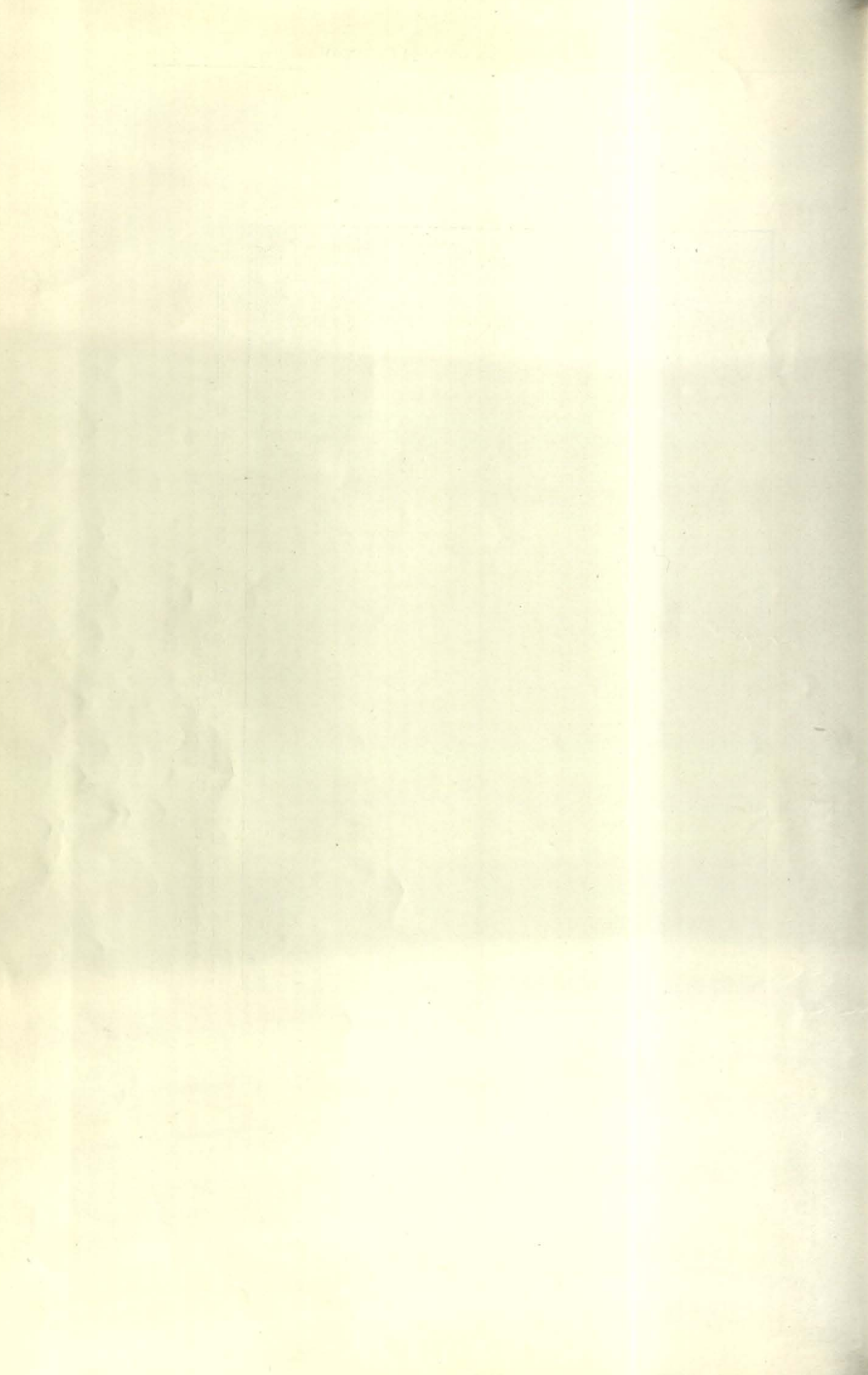
Fot. n.º 3.



Fotografía número 6. Pared interna S. y SE. de la caldera del Popocatepetl. El punto culminante de la izquierda, es del "Espinazo del Diablo."

(Fot. Lecón.)









BIBLIOTECA

puestas e inclinadas hacia el NW. y es el sitio de una incesante erosión glacial y eólica. Parece indestructible; su enorme masa nada pierde en apariencia a pesar de que diariamente ocurren numerosos derrumbes: grandes peñascos que se precipitan desde la altura hasta el fondo de la barranca del Ventorrillo o de Nexpayantla. Esta barranca nace al pie del Pico del Fraile y corre con rumbo E. SE. a W. NW., en dirección al pequeño pueblo de San Pedro, que se encuentra en el valle de Amecameca. (Fots. 13 y 14.) La diferencia de nivel entre el pico y el fondo de la barranca del Ventorrillo excede de 1,000 metros; los bordes de ésta son abruptos, de flancos interiores con fuerte pendiente; el centro está ocupado por un cono constituido de tobas y brechas. Un poco hacia abajo y en el interior de la misma hay obstáculos de consideración: grandes masas de lavas andesíticas que parecen ser los testigos de un borde de cráter que fué elíptico y cuyo eje mayor estaba orientado de E. SE. a W. NW., como de 1,000 metros de longitud (1), el borde oriental de Ventorrillo está definido, lo mismo que el opuesto, por líneas duras, abruptas y dentadas. Dos planos inclinados y arenosos descienden al fondo de esta barranca, en donde la vegetación prospera haciendo contraste con el exterior arenoso y desértico del Ventorrillo y de Acatitla que es el nombre del borde oriental. Un contrafuerte del borde se prolonga como 10 kilómetros al W. NW., interrumpiéndose bruscamente por acantilados verticales; es el borde oriental de la barranca y está constituido por andesitas de hiperstena y augita; se denomina Yelotxóchitl. Entre esta montaña y el cerro del Venacho, de aspecto muy semejante al anterior, serpentea el camino que conduce de Amecameca a Tlamacas (lámina II). Yendo en este sentido, se deja a la derecha a la profunda barranca de la Cueva del Negro que corre al pie de los acantilados del Venacho, y que es el canal natural de las aguas que producen los manantiales del Paraje, Palo Rechino y Provincial. El caudal de estas aguas pue-

de estimarse, en conjunto, en 300 litros por segundo. Los manantiales, de régimen constante, están alimentados por el agua de precipitación infiltrada en las arenas de Acatitla y en las diaclasas del cerro de Yelotxóchitl, por las infiltraciones que se hacen en el llano de Pela-Gallinas o Llano Grande, por las que se verifican en las diaclasas del cerro del Venacho y por la infiltración de las aguas de fusión de las nieves del Iztaccíhuatl. El valle de Amecameca debe su fertilidad al deshielo de los ventisqueros del Iztaccíhuatl y del Popocatepetl; ambos aportan su contingente a los valles orientales y meridionales del volcán. Después de los detalles morfológicos señalados, quedan por mencionar las costillas radiales; la más notable es el "Espinazo del Diablo" (fots. 4, 5 y 6), que desde el borde E. del cráter desciende hasta perderse en los límites de la vegetación rumbo a Santiago Xalitzintla, y la enorme caldera de bordes abruptos y muy erosionados, de paredes casi verticales y el fondo en forma de cúpula, tal como lo observamos el 15 de noviembre de 1921 (fots. 7 y 8). La caldera es de contorno sensiblemente elíptico.

#### *Génesis y tectónica del Popocatepetl*

He tratado de interpretar fielmente las formas actuales que ofrece el volcán, con el fin de encontrar apoyo racional de las ideas que tengo acerca de la historia de sus antiguos paroxismos, y aunque éstas no son nuevas (1), creo tener algunos argumentos de peso para sustentarlas.

En general, podemos decir que el Popocatepetl ha sido y es un organismo geológico digno de interés por las actividades endógenas y exógenas que desarrolla.

Los señores ingenieros J. G. Aguilera y E. Ordóñez describen la vida de esta montaña recurriendo a la composición química y estructura de las rocas en las corrientes sucesivas que tuvieron lugar a consecuencia de los períodos eruptivos y "determinando la situación de los productos eruptivos con respecto a otras formaciones, esencialmente las inferiores o en las que se apoyan." El primero es un método petrográfico exclusivamente. Recurriré al segundo y algunos argumentos

(1) Beiträge, etc. Ob. cit. (1) en la página 3 del texto.

(1) Beiträge Ob. Cit. (1), pág. 3 del texto.



en pro tomaré del primero. El volcán es *polígono* (1), es decir, la montaña se formó y aumentó sus proporciones mediante una serie de periodos eruptivos, presentando los derrames de lava la disposición de estratos inclinados, más o menos, según la viscosidad del magma en cada derrame. Esta pseudo-estratificación es muy visible en el Pico del Fraile, en el Ventorrillo y en el Cráter. Las erupciones del Popocatepetl fueron compuestas, es decir, completas o del carácter de las del Vesubio, porque los derrames de lavas fluidas alternaron con las proyecciones clásticas de brechas, arenas, lapili y cenizas; así se descubren estos materiales sólidos de proyección, alternando con lavas andesíticas y basálticas en los barrancos. La forma cónica del Popocatepetl se debe a que las lavas andesíticas (andesitas de hyperstena) que lo forman se enfriaban rápidamente a su salida, por ser demasiado ácidas y en el próximo paroxismo eran cubiertas por lavas también muy viscosas para no hacer un gran trayecto fuera del cráter. La variedad de rocas andesíticas y basálticas es demasiado grande; la diferenciación del magma varió dentro de anchos límites, lo que se comprueba si se compara una serie con otra, tanto en cristalización y textura, como en composición química y coloración. Los últimos derrames fueron basálticos y más fluidos y se prolongaron en un perfil más suave y por muchos kilómetros al S. y SW.

Pero este proceso no se llevó a cabo con quietud y sin grandes trastornos para las posiciones y mutuas relaciones que guardaban las formaciones anteriores; verdaderos cataclismos acompañaron a cada fase paroxismal de las erupciones distintas, como lo hemos comprobado en el terreno. Podemos citar dos fenómenos de dislocaciones tectónicas que, como testigos (temblores fósiles), revelan la magnitud de los esfuerzos dinámicos en erupciones pasadas. En la base del Pico del Fraile y al W. del canchal izquierdo del ventisquero más occidental del volcán, o sea el que se encuentra en el nacimiento

de la barranca de San Mateo, se puede observar una formación cuyo color claro se destaca del basalto y basaltos-andesitas oscuros y rojizos: esta formación es de tobas y brechas que se alternan en capas dislocadas. (Fot. núm. 15.)

La forma de esta dislocación acusa, desde luego, que la posición actual de estos productos eruptivos ha sido adquirida después de varios movimientos separados entre sí por cortos intervalos de tiempo, y decimos que entre esos movimientos sucesivos desde el depósito de estos materiales hasta su posición final transcurrió poco tiempo, porque estas tobas y brechas están cubiertas por una corriente de lava andesítica que ha preservado a las tobas dislocadas de sufrir la erosión. En resumen, la disposición actual se explica por un movimiento de báscula, que equivale a una rotación alrededor de un eje horizontal, que para producirse no necesitó más que de la acción de un par de fuerzas que se equilibró con un par de signo contrario o con una fuerza. Para explicar la existencia de estas fuerzas de origen interno, no necesitamos suponer un hundimiento del terreno simultáneo con un levantamiento, circunstancia que pudo haber existido al formarse repentinamente una falla; basta con el paso rapidísimo de una onda sísmica enérgica para producir el efecto de un par dinámico. El fracturamiento de las capas citadas, en la forma de un techo de dos aguas, en la base del Pico del Fraile (fot. número 15), es la huella del paso de una onda sísmica impetuosa, sin recurrir a la aparición de una falla en ese lugar. Si comparamos el Pico del Fraile con un edificio de dimensiones gigantescas, pues las tobas se encuentran a 4,400 metros de altura absoluta y el vértice del Pico a 5,081 metros, es decir, un edificio de 681 metros de altura, es fácil comprender que el choque máximo de origen volcánico, es decir, una violenta explosión en el cráter, determinó el echado de las capas de lava superior hacia el NNW. posición en que persistieron mientras la base del edificio fué fracturada. El Pico del Fraile, único contrafuerte formidable en los flancos del cono, y con el echado de sus corrientes de lava hacia el interior de la barranca

(1) Stübel. Génesis de las montañas eruptivas.



en pro tomaré del primero. El volcán es *poligeno* (1), es decir, la montaña se formó y aumentó sus proporciones mediante una serie de períodos eruptivos, presentando los derrames de lava la disposición de estratos inclinados, más o menos, según la viscosidad del magma en cada derrame. Esta pseudo-estratificación es muy visible en el Pico del Fraile, en el Ventorrillo y en el Cráter. Las erupciones del Popocatépetl fueron compuestas, es decir, completas o del carácter de las del Vesubio, porque los derrames de lavas fluidas alternaron con las proyecciones clásticas de brechas, arenas, lapilí y cenizas; así se descubren estos materiales sólidos de proyección, alternando con lavas andesíticas y basálticas en los barrancos. La forma cónica del Popocatépetl se debe a que las lavas andesíticas (andesitas de hyperstena) que lo forman se enfriaban rápidamente a su salida, por ser demasiado ácidas y en el próximo paroxismo eran cubiertas por lavas también muy viscosas para no hacer un gran trayecto fuera del cráter. La variedad de rocas andesíticas y basálticas es demasiado grande; la diferenciación del magma varió dentro de anchos límites, lo que se comprueba si se compara una serie con otra, tanto en cristalización y textura, como en composición química y coloración. Los últimos derrames fueron basálticos y más fluidos y se prolongaron en un perfil más suave y por muchos kilómetros al S. y SW.

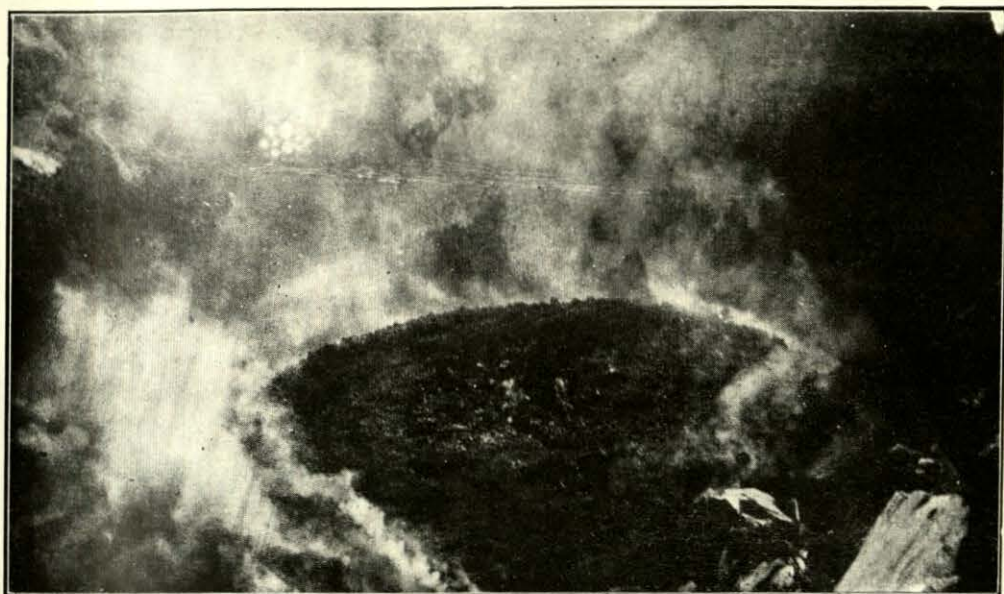
Pero este proceso no se llevó a cabo con quietud y sin grandes trastornos para las posiciones y mutuas relaciones que guardaban las formaciones anteriores; verdaderos cataclismos acompañaron a cada fase paroxismal de las erupciones distintas, como lo hemos comprobado en el terreno. Podemos citar dos fenómenos de dislocaciones tectónicas que, como testigos (temblores fósiles), revelan la magnitud de los esfuerzos dinámicos en erupciones pasadas. En la base del Pico del Fraile y al W. del canchal izquierdo del ventisquero más occidental del volcán, o sea el que se encuentra en el nacimiento

de la barranca de San Mateo, se puede observar una formación cuyo color claro se destaca del basalto y basaltos-andesitas oscuros y rojizos: esta formación es de tobas y brechas que se alternan en capas dislocadas. (Fot. núm. 15.)

La forma de esta dislocación acusa, desde luego, que la posición actual de estos productos eruptivos ha sido adquirida después de varios movimientos separados entre sí por cortos intervalos de tiempo, y decimos que entre esos movimientos sucesivos desde el depósito de estos materiales hasta su posición final transcurrió poco tiempo, porque estas tobas y brechas están cubiertas por una corriente de lava andesítica que ha preservado a las tobas dislocadas de sufrir la erosión. En resumen, la disposición actual se explica por un movimiento de báscula, que equivale a una rotación alrededor de un eje horizontal, que para producirse no necesitó más que de la acción de un par de fuerzas que se equilibró con un par de signo contrario o con una fuerza. Para explicar la existencia de estas fuerzas de origen interno, no necesitamos suponer un hundimiento del terreno simultáneo con un levantamiento, circunstancia que pudo haber existido al formarse repentinamente una falla; basta con el paso rapidísimo de una onda sísmica enérgica para producir el efecto de un par dinámico. El fracturamiento de las capas citadas, en la forma de un techo de dos aguas, en la base del Pico del Fraile (fot. número 15), es la huella del paso de una onda sísmica impetuosa, sin recurrir a la aparición de una falla en ese lugar. Si comparamos el Pico del Fraile con un edificio de dimensiones gigantescas, pues las tobas se encuentran a 4,400 metros de altura absoluta y el vértice del Pico a 5,081 metros, es decir, un edificio de 681 metros de altura, es fácil comprender que el choque máximo de origen volcánico, es decir, una violenta explosión en el cráter, determinó el echado de las capas de lava superior hacia el NNW. posición en que persistieron mientras la base del edificio fué fracturada. El Pico del Fraile, único contrafuerte formidable en los flancos del cono, y con el echado de sus corrientes de lava hacia el interior de la barranca

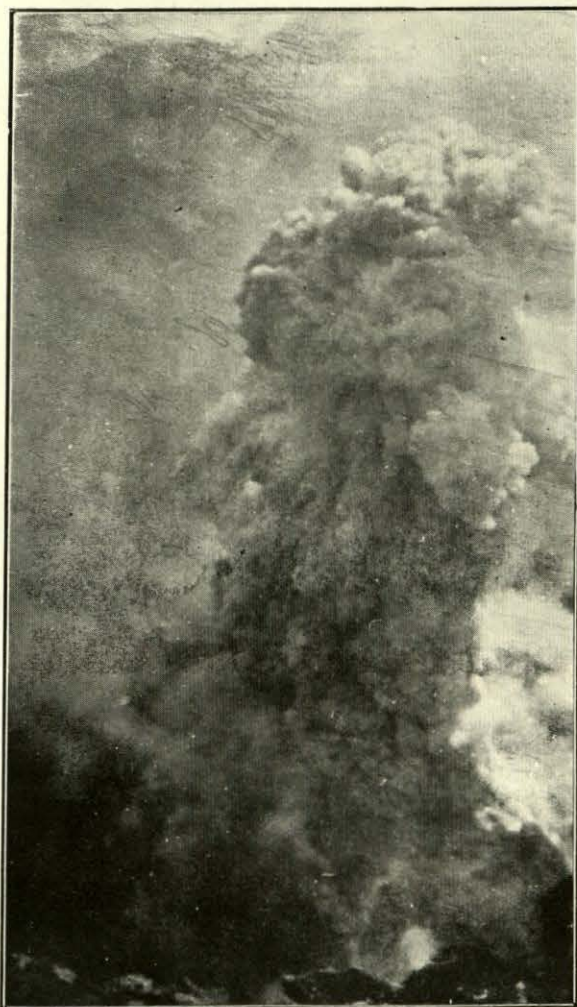
(1) Stübel. Génesis de las montañas eruptivas.





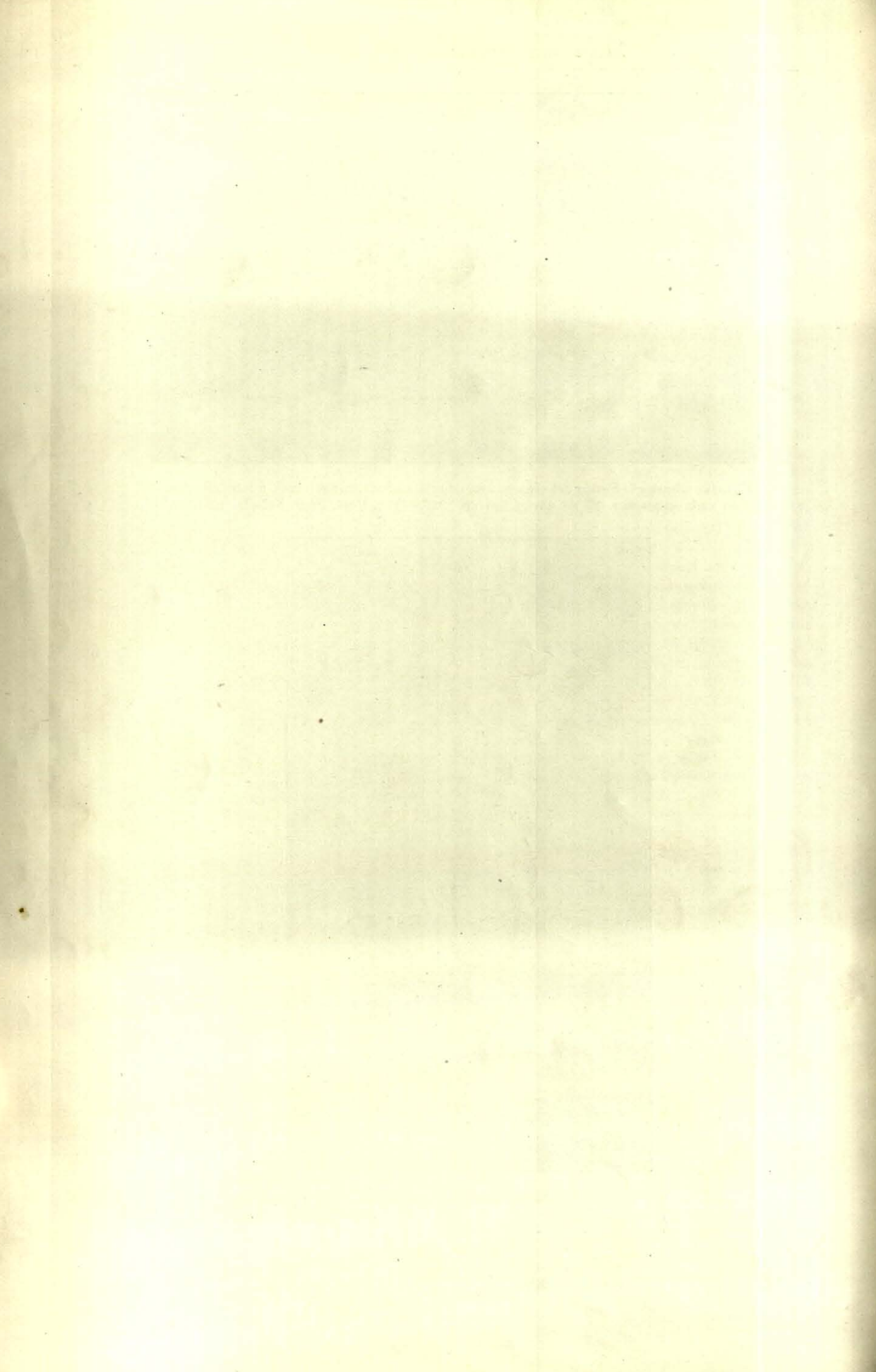
*Fot n.º 4*

Fotografía número 7. Fondo del cráter: una cúpula andesítica agrietada e incandescente en cada explosión. 15 de noviembre de 1921. (Fot. Prof. Imm. Friedlaender.)

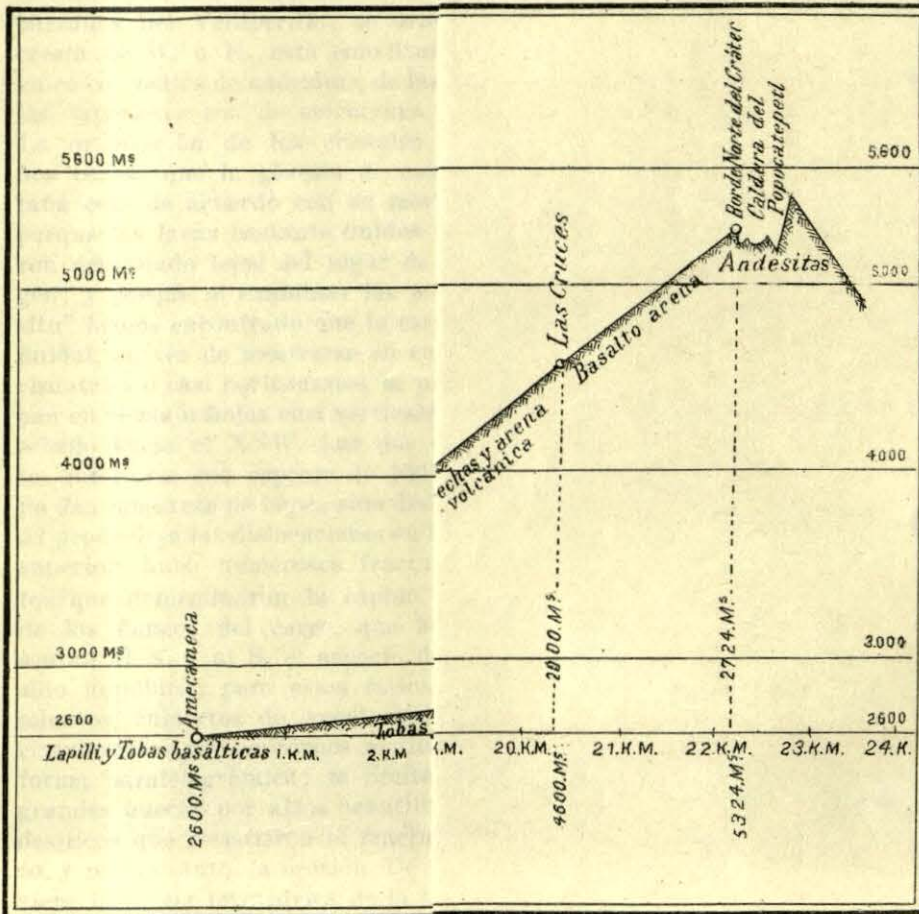


Fotografía número 8. Explosión central registrada a las 15 h. 30 m. del 15 de noviembre de 1921. (Fot. Prof. Imm. Friedlaender.)

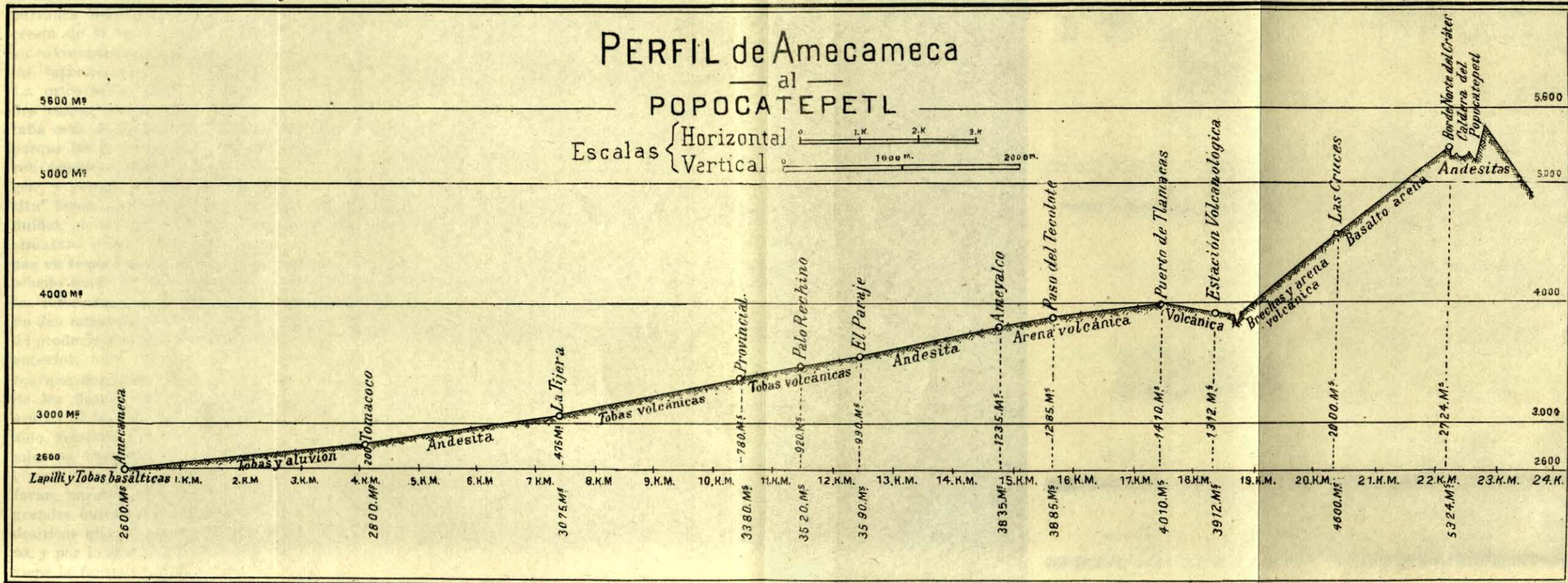














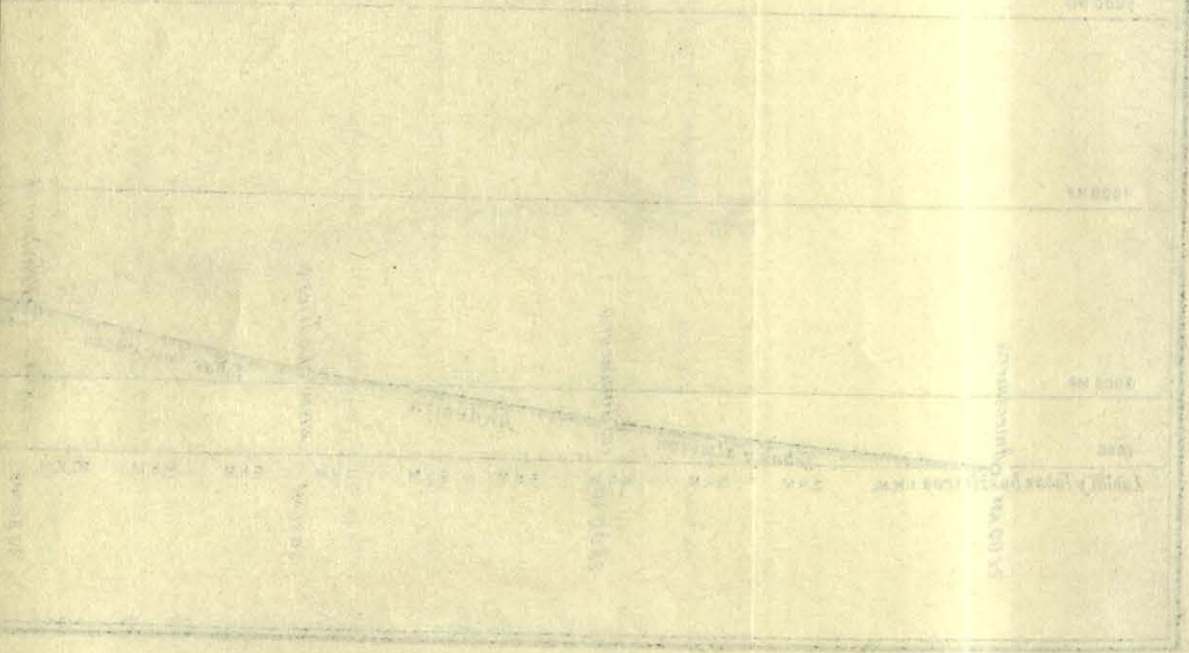
INSTITUTO GEOLOGICO

Informe No. 12. V. 3

PERFIL de

POPONA

Las Vegas, Nevada





del Ventorrillo, ha sufrido poco la erosión y ha preservado a la misma barranca de una denudación más rápida, porque sostiene el grueso cojín de hielo y lo obliga a formar dos cuencas glaciales, de las cuales la oriental es la más notable. (Fot. núm. 16.)

Asentado lo anterior, que es una prueba palpable de que la región ha sido sacudida con violencia y que las explosiones en el cráter han sido muy enérgicas, pasamos a citar las dislocaciones observadas en el cerro de Tlamacas. El cerro de este nombre, cuya forma ya describimos, es un desprendimiento montañoso de la cumbre de Acatitla, borde oriental de la barranca del Ventorrillo; se orienta su cresta de W. a E., está constituida por cinco corrientes de andesitas, de las cuales las superiores son de estructura fluidal. La orientación de los cristales enseña dos cosas: que la génesis de esta montaña está de acuerdo con su morfología, porque las lavas bastante fluidas avanzaron demasiado lejos del lugar de su origen; y porque al examinar las rocas "in situ" hemos encontrado que la estructura fluidal, en vez de mostrarse en capas horizontales o casi horizontales, se presentaban en zonas u hojas casi verticales y con echado hacia el NNW. Las dos corrientes inferiores con espesor de 100 metros no dan muestras de haber sido dislocadas. Al producirse las dislocaciones en la parte superior, hubo numerosos fracturamientos que determinaron la rápida erosión de los flancos del cerro, que hoy presentan al N. y al S. el aspecto de haber sido hundidos; pero estos falsos hundimientos, cubiertos de vegetación, están circunscritos por contornos rectilíneos en forma paralelográfica; se limitan estos grandes huecos por altos acantilados andesíticos que resistieron el fracturamiento, y por lo tanto, la erosión. De ahí proviene la forma tetraédrica de la cima del cerro de Tlamacas y también por eso afirmamos que el valle de Tlamacas es de origen tectónico y profundizado por la denudación. De la cumbre de Acatitla se desprenden, ya muy derruidos, los testigos de corrientes paralelas al cerro de Tlamacas y el punto culminante de ella se caracteriza por tres diques radiales.

Estas huellas de la tectónica de la región y de la arquitectura especial del Pico del Fraile y de la barranca del Ventorrillo, nos conducen a las conclusiones siguientes, de una manera fácil y lógica:

1.<sup>a</sup> La barranca del Ventorrillo, profundizada por la erosión y protegida por la resistencia manifiesta del Pico del Fraile contra una denudación glacial y eólica más efectiva, es en su nacimiento o en el tercio superior de su longitud, el resto derruido de un cráter más antiguo que la caldera del actual Popocatepetl (1).

Los señores ingenieros Aguilera y Ordóñez no admiten la idea de este cráter antiguo (2), pero la tectónica de la localidad ayuda a sostener esa hipótesis; además, la barranca del Ventorrillo no puede ser exclusivamente de origen erosivo porque ya dijimos que el Pico del Fraile es un contrafuerte poderoso que se opone a la denudación de la barranca.

2.<sup>a</sup> El cerro de Tlamacas es un contrafuerte formado de los derrames de lava emitidos por aquel cráter antiguo, cuando menos en cinco períodos eruptivos; este cerro sufrió dislocaciones y fracturas después de la consolidación del derrame último por movimientos sísmicos que acompañaron a las erupciones de la gran caldera del Popocatepetl.

3.<sup>a</sup> Las erupciones andesíticas últimas se hicieron con derrames de lava, formando lenguas rocallosas o en capas fuertemente inclinadas, lo que demuestra la viscosidad de las lavas.

4.<sup>a</sup> Las últimas erupciones se caracterizaron por las proyecciones de materiales clásticos, y la fase final es la de una actividad solfatariana muy marcada con proyecciones de arenas en pequeñas cantidades.

#### *Ideas generales acerca de los temblores volcánicos*

Los temblores de tierra pueden clasificarse por las causas que los producen, en volcánicos y tectónicos. Los primeros están muy ligados en el tiempo y el espacio a las erupciones, puesto que son ori-

(1) Ob. Cit. (1), pág. 3 del texto.

(2) Ob. Cit. (1), pág. 12 del texto.



ginados por la acción directa de las fuerzas internas. En su manifestación típica tienen un centro definido de origen, el cual está en o cerca del volcán, que puede estar activo, extinto o dormido, según la clasificación del eminente profesor F. Omori, y adoptada por la "Pan Pacific Scientific Conference" reunida en Honolulu del 2 al 20 de agosto de 1920. Estos movimientos sísmicos son sentidos dentro de un área relativamente restringida en torno del volcán, cuyo centro eruptivo reconocen como foco. Los temblores tectónicos son producidos por esfuerzos interiores de la corteza terrestre que ocasionan la mayoría de las veces algún accidente geológico visible en la superficie: fracturas, grietas o fracturamientos con dislocación de las capas. Otras veces el epicentro de tales movimientos coincide con un accidente geológico anterior al fenómeno sísmico, y en el que nadie había fijado su atención hasta que se produjo el terremoto; movimientos de esta categoría son los que producen las catástrofes más notables y la historia registra muchas de esta especie.

Los sismos tectónicos se hacen sensibles para las personas en áreas muy extensas en torno del epicentro y eso depende de las dimensiones de la falla movida o de las del campo de afallamiento que ha entrado en acción y de que el foco del movimiento es, en general, más profundo que el que ocasiona los movimientos volcánicos. Los temblores tectónicos tienen la energía suficiente para enviar ondas que atraviesan el interior terrestre sin extinguirse y accionan los sismógrafos de todo el mundo. Algunos autores sostienen la existencia de los temblores "criptovolcánicos," producidos por acciones volcánicas a gran profundidad y que se manifiestan en la superficie por movimientos más o menos intensos, sin encontrar una relación de causa a efecto entre los accidentes observados en la superficie y la presentación del terremoto. Creemos algo hipotética la explicación de los temblores de tierra por causas cripto-volcánicas, aunque no negamos que existen los lacolitos o volcanes abortados. Hemos observado en los últimos diez años que en el centro de nuestro país se han presentado temblores tectó-

nicos en las regiones ocupadas por focos volcánicos extintos o en la cercanía de los que han estado activos recientemente. El terremoto de la madrugada del 7 de junio de 1911, cuyo epifoco se localizó en la amplia base del volcán de Colima, precedió a la actividad de ese volcán, que entró, en enero de 1913, en un período de erupción paroxismal (1). Entre ambos fenómenos hubo el gran cortejo de temblores que alarmaron a la ciudad de Guadalajara a mediados de 1912. El terremoto del 19 de noviembre de 1912, ocurrió en terrenos formados por rocas eruptivas terciarias, y el extremo oriental de la falla Acambay-Tixmadejé, reconocida entonces como sismogénica, es un bello aparato volcánico ya disecado por la erosión: el cerro de la Manga. Finalmente, el terremoto del 3 de enero de 1920 se localizó en un campo reticular de afallamiento en la base del Cofre de Perote y en relativa vecindad con el Pico de Orizaba. Lo mismo ha ocurrido en el Japón en donde han existido temblores tectónicos que al parecer no guardan relación con el vulcanismo; como también se han presentado los fenómenos sísmicos en relación inmediata con las erupciones volcánicas, entrando esos movimientos en la categoría de temblores volcánicos. Sobre este punto insistiremos después, dando a conocer otros conceptos del profesor Angelo Heilprin.

#### *Los temblores volcánicos del Popocatepetl*

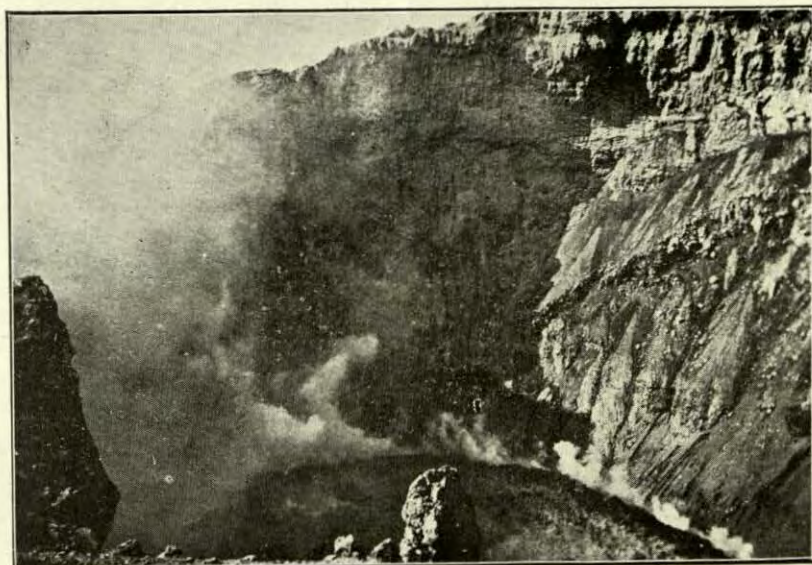
Nos ocuparemos de los registros de los movimientos del 16 de octubre de 1920 hechos en Tacubaya y en Oaxaca por los sismógrafos de ambas estaciones (lámina III). El día 6 de octubre de 1920, registraron los sismógrafos de Tacubaya dos movimientos sísmicos procedentes del volcán Popocatepetl; el primero fué un microsismo apenas perceptible en los diagramas del péndulo horizontal de 17 toneladas.  $P=12^h 19' 59''$  en tiempo medio de Tacubaya. El intervalo  $L-P=7$  segundos, proporcionó una distancia epicentral de 52 kilómetros 4, calculada con

(1) Dr. Paul Waitz. Sociedad Científica "Antonio Alzate."





Fotografía número 9. El fondo del cráter antes y después de la explosión del 5 de enero de 1922.



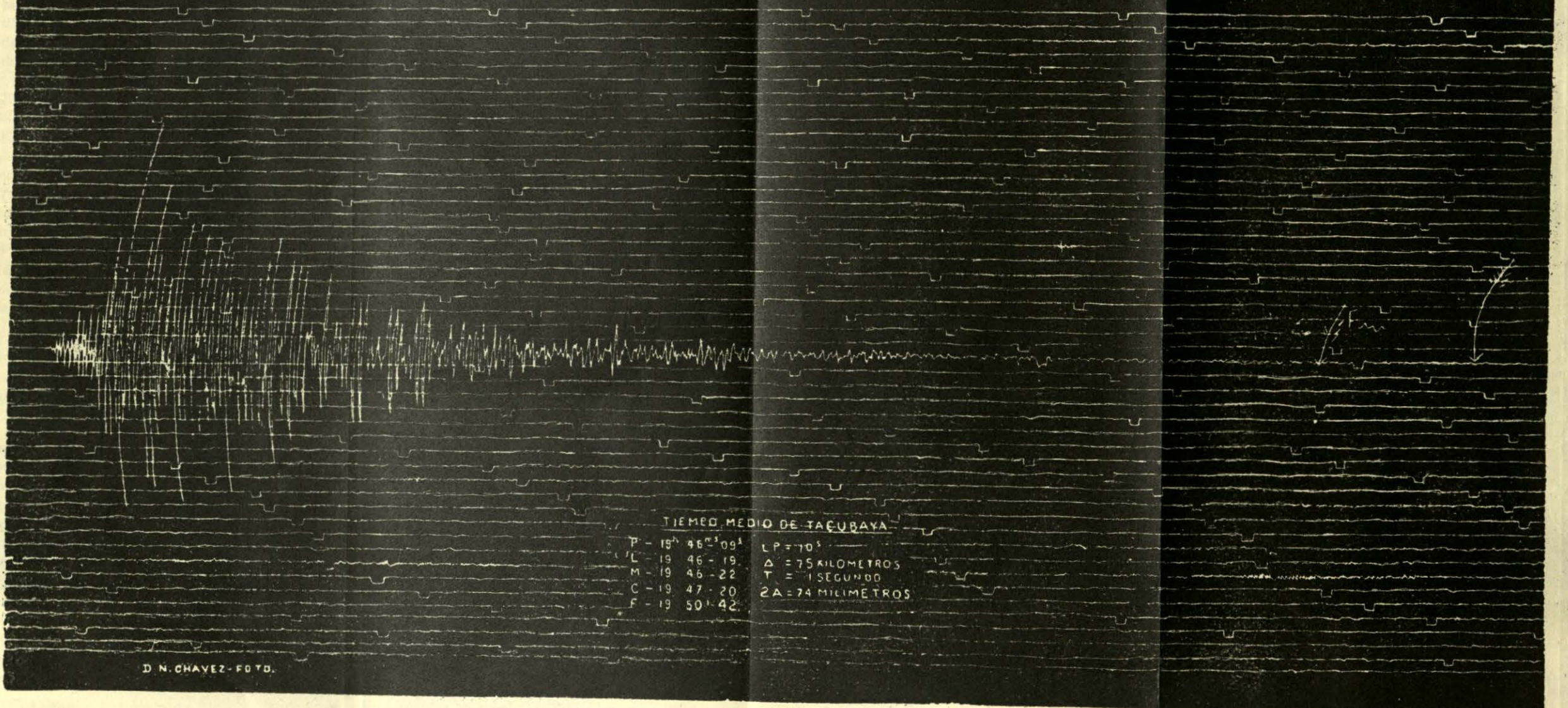
Fotografía número 10. Pared SW. de la caldera y cúpula andesítica del fondo. Fumarolas en la superficie de la cúpula.  
(Fot. C. Alonso Miller.)







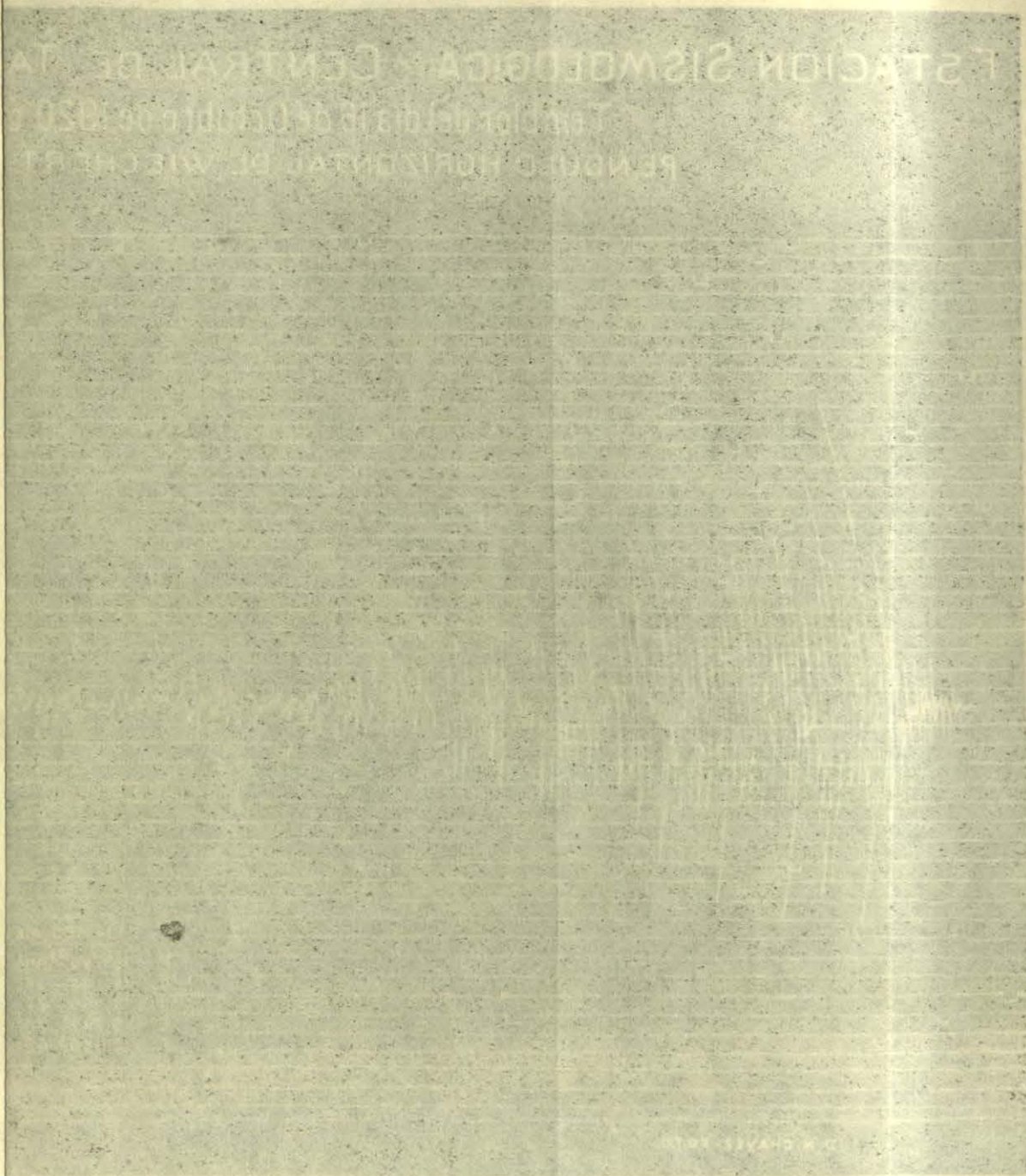
ESTACION SISMOLOGICA - CENTRAL DE TACUBAYA D.F. INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO  
Temblor del dia 16 de Octubre de 1920 cuyo epifoco estuvo en el Popocatepetl  
PENDULO HORIZONTAL DE WIECHERT DE 17 TONELADAS - COMPONENTE ESTE-OESTE



D. N. CHAVEZ - FOTO.



Anales Tomo II Wv I 2y3



W. K. CHAVEZ



la fórmula:  $X \text{ Km.} = 7.48 \text{ por } Y \text{ segundos}$ ; pero debemos admitir que la llegada de la primera onda no está bien definida, y que este carácter de registro imperfecto de la fase de ondas longitudinales ha persistido en los temblores de la segunda serie (febrero-marzo de 1921). Por lo demás, el sismógrafo está instalado en las condiciones más favorables para recibir las ondas sísmicas que se originan en el cráter. La distancia radial es de 72.4 kilómetros y el azimut Estación-Cráter es, aproximadamente: S.  $56^\circ 45'$  E., esto es, que las ondas longitudinales emergen en una dirección muy cercana al plano bisector de las componentes EW. y NS. del sismógrafo.

El mismo día, 16 de octubre, a las  $19^h 46' 9''$  (tiempo medio de Tacubaya) el instrumento citado y todos los de la Estación Central registraron el principio de un microsismo local que provino del cráter (Lámina III,  $\frac{1}{4}$  del original). También el péndulo Wiechert de 200 kilogramos de la estación de Oaxaca registró este movimiento a 300 kilómetros más o menos del cráter del Popocatepetl. Las fases del registro leídas en los diagramas del péndulo de 17 toneladas de Tacubaya son las siguientes:

P =  $19^h 46^m 09^s$ ; L =  $19^h 46^m 19^s 5$ ; M =  $19^h 46^m 22^s$   
C =  $19^h 47^m 40^s$ ; F =  $19^h 50^m 42^s$ .

Las constantes del instrumento son:  
V = 2000 veces; T. =  $1^s.5$ ; e = 1.4: 1.

El intervalo L-P =  $10^s.5$  produce, con la fórmula citada del profesor F. Omori, una distancia epicentral de 78.5 kilómetros mayor que la distancia que ya dimos de 72.4 kilómetros entre el cráter y la Estación Sismológica, lo que haría creer que el foco de vibración sísmica se localizó fuera del cráter y hacia el SE. de él. Pero si hacemos uso provisional de los únicos datos que poseemos y establecemos la ecuación:  $X \text{ kms.} = a. Y \text{ sgs.} \dots (1)$ ; por ser la más simple, resultará, substituyendo los valores de  $x$  y de  $y$ , y despejando a  $a$ :

$a = \frac{72.4 \text{ Km.}}{10.5 \text{ seg.}} = 6.90 (2)$  y si sólo con esta observación se pudiera establecer una fórmula, obtendríamos la siguiente:

$X. \text{ km.} = 6.90. Y \text{ segs.} \dots \dots (3).$

Esta fórmula tiene mucha semejanza con la del señor profesor Omori:

$X \text{ kms.} = 6.86 Y + 8.1 \text{ km.} (4)$  que él aplica a los temblores volcánicos del Asama-Yama del 7 de diciembre de 1909, registrados en Tokio, Osaka y Magano, y calcula las distancias de 137, 330 y 40 kilómetros que coinciden con las verdaderas, encontrando para la onda mecánica longitudinal en el intervalo de 137 kilómetros de distancia radial, la velocidad de 3.8 kilómetros por segundo, esto es, un poco superior a la velocidad de las ondas superficiales en los grandes movimientos tectónicos.

Debemos añadir que este movimiento fué sentido como trepidatorio por los habitantes de Atlixco, situado a 17 kilómetros al SE. del cráter. Este movimiento es el más enérgico de los que se han registrado durante la nueva actividad del Popocatepetl y refiriéndonos a la fisonomía del registro podemos comprobar que en nada difiere de los registrados en la falla Acambay-Tixmadejé, accidente tectónico bien conocido como sismogénico, y que ha dado ocasión al registro de numerosos movimientos instrumentales en Tacubaya. Efectivamente su principio fué gradual, se inició con dos vibraciones apenas perceptibles y la amplitud de las ondas fué en aumento hasta la presentación de las ondas L. Las ondas de la primera fase son agudas del lado derecho del diagrama y perturbadas por "ripples" del lado izquierdo, tal como si fuera mantenido el suelo en un repetido y frecuente desalojamiento hacia el NW. (al W. en el diagrama de la lámina III). Este efecto parece ser constante a la llegada de cada onda longitudinal; e interpretando esto como común a todas las ondas de esa fase, ya que no podemos descubrir el sentido de la desviación del suelo en el primer impulso, bien podríamos juzgar que el desalojamiento fué "desde el epifoco;" y que, por tanto, el foco eruptivo es muy superficial. Esto veremos que no constituye una de las constantes de los temblores del Popocatepetl, pues hemos leído alguna vez en la segunda serie de movimientos un desalojamiento inicial "hacia el epifoco;" es decir, que el foco de vibración en esos casos es profundo: el



cuadro que se incluye al final de este escrito contiene el registro completo de los movimientos que posteriormente al 16 de octubre del año próximo pasado se han presentado. Repetimos que el registro del primer impulso es, en la mayoría de los casos, imperceptible: y que con él se pierden probablemente dos o tres o más ondas longitudinales y que solamente se registra la porción principal del sismograma. También hemos notado la tendencia a repetirse dos o tres movimientos en el corto intervalo de algunos minutos; de manera es que, cuando alguno alcanza la amplitud de 12 a 20 milímetros en el registro, generalmente viene acompañado de otro choque de la misma índole. Ninguno de los movimientos que se consignan en el cuadro citado tiene la importancia del que está representado en la lámina III.

Nuestra distancia al volcán, la bruma dominante y los nublados, no nos habían permitido comprobar completamente la coincidencia entre la producción de las ondas sísmicas que llegan a Tacubaya y la presentación de las explosiones de gases que emite el cráter. De todas maneras, el temblor del 16 de octubre puede clasificarse dentro de la categoría de los temblores volcánicos que no acompañan a las explosiones eruptivas en la chimenea del volcán. El señor profesor Omori considera que el grupo de los temblores volcánicos que no coinciden con una erupción explosiva tienen por característica una mayor importancia e intensidad que los que son producidos por dichas explosiones. En el primer caso toda la energía del foco eruptivo es transformada en ondas sísmicas; y en el segundo, el aparato volcánico realiza un trabajo que se transforma de muy distintas maneras, ya en vencer las presiones que oponen resistencia a la salida de los gases o de lavas, ya en lanzar los productos de proyección a distancias más o menos considerables. Desde este momento se explica que aquellos movimientos sean más intensos que los del segundo grupo.

Los movimientos de la segunda serie del cuadro citado pertenecen a los que acompañan y son efecto de las explosiones de los gases en la chimenea del Popocatepetl.

El temblor volcánico del Asama-Yama del 26 de mayo de 1908, que no fué acompañado por ninguna explosión, se hizo sensible en una área elíptica cuyo eje mayor media 100 kilómetros y el eje menor 80 kilómetros. Los temblores volcánicos de esta categoría accionan a los instrumentos a alguna distancia y el mencionado en último lugar fué registrado a 765 kilómetros de distancia por un tromómetro de 120 veces de amplificación. El del 16 de octubre de 1920, procedente del Popocatepetl, accionó ligeramente el péndulo horizontal Wiechert, de Oaxaca, a 300 kilómetros, instrumento que trabaja con la amplificación de 80 veces. Los temblores de la segunda serie han pasado desapercibidos, menos para el péndulo de 17 toneladas que trabaja con la amplificación de 2,000 veces y a 72.4 kilómetros del cráter.

La actividad actual puede perdurar por mucho tiempo sin cambios que determinen catástrofes; nadie está en condiciones de poder predecir los terremotos ni las fases de una erupción volcánica; pero juzgando estos fenómenos desde el punto de vista sismológico, diremos lo que la experiencia ha enseñado acerca de las erupciones de los volcanes actuales. El señor profesor Omori clasifica éstas en dos grupos: "A," explosiones simples, y "B," explosiones múltiples. Las primeras son violentas, todo ocurre en un período de tiempo corto, tal parece que las resistencias exteriores del aparato volcánico han equilibrado por mucho tiempo (millares de años) a la tensión de los esfuerzos interiores del foco eruptivo y en el caso de romperse el equilibrio, el trabajo desarrollado se verifica en un tiempo mínimo; el esfuerzo se concentra, por decirlo así, en un solo punto y en un momento dado; las explosiones simples no se anuncian, generalmente, por manifestaciones sísmicas sensibles. Las explosiones múltiples se preparan en forma alarmante, en cierto modo están precedidas por choques premonitores más o menos sensibles, algunas veces destructores, la energía volcánica se manifiesta en varios puntos a la vez, se forman cráteres numerosos que entran en actividad prolongada por meses y años, y al final llegan a constituir un desastre por la acumulación de los efectos destruc-





Fotografía número 11. Pared Norte de la caldera, y una nueva fumarola observada el 11 de diciembre de 1921.

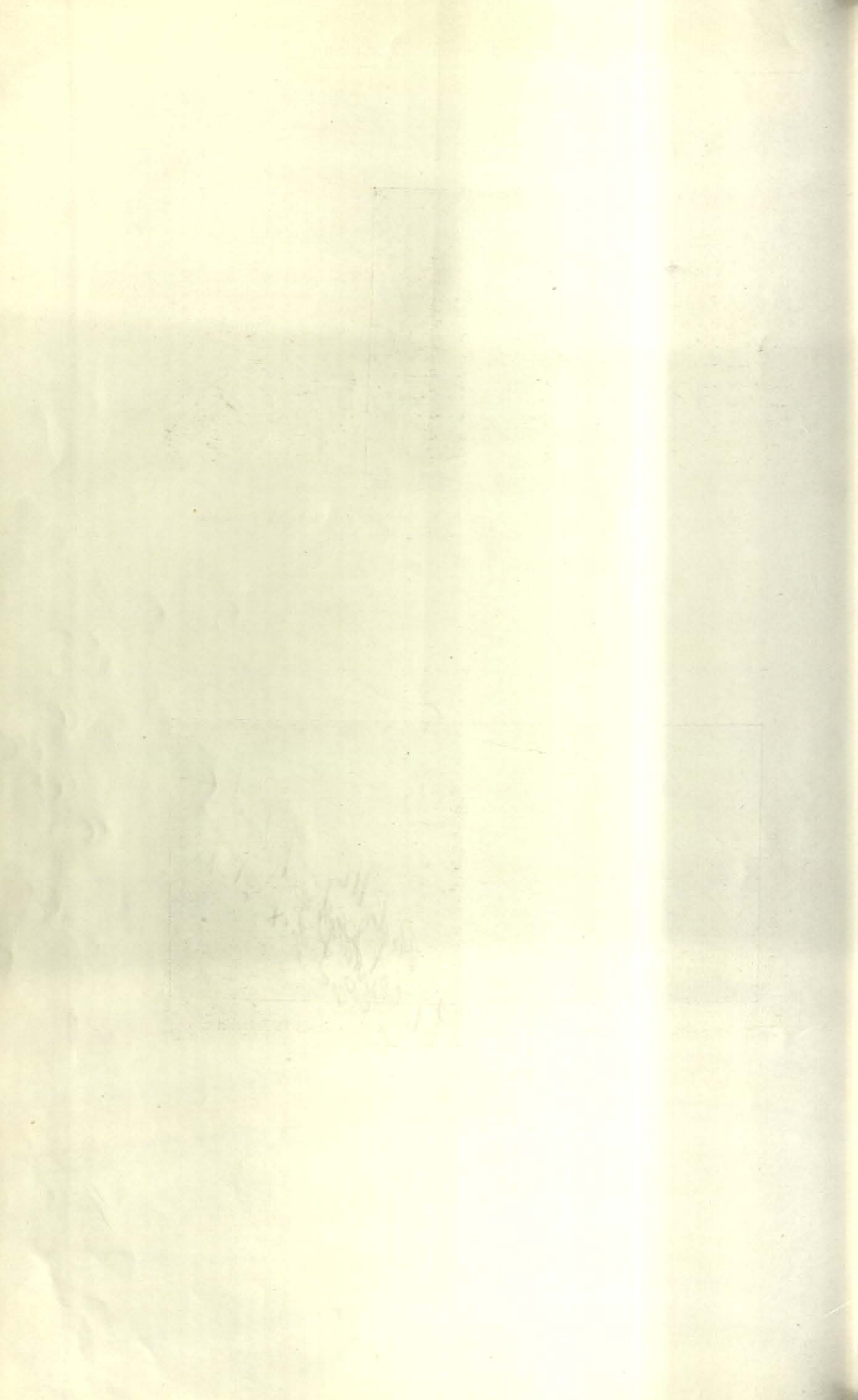
(Fot. T. Navarrete.)



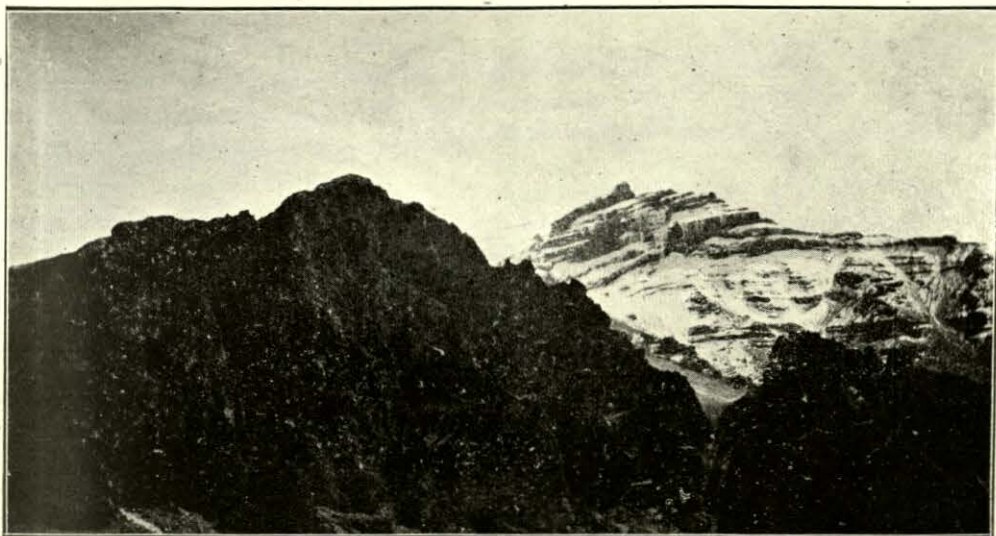
Fotografía número 12. El volcán Popocatépetl visto desde la Estación Vulcanológica Provisional de Tlamacas.

(Fot. Prof. Imm. Friedlaender.)



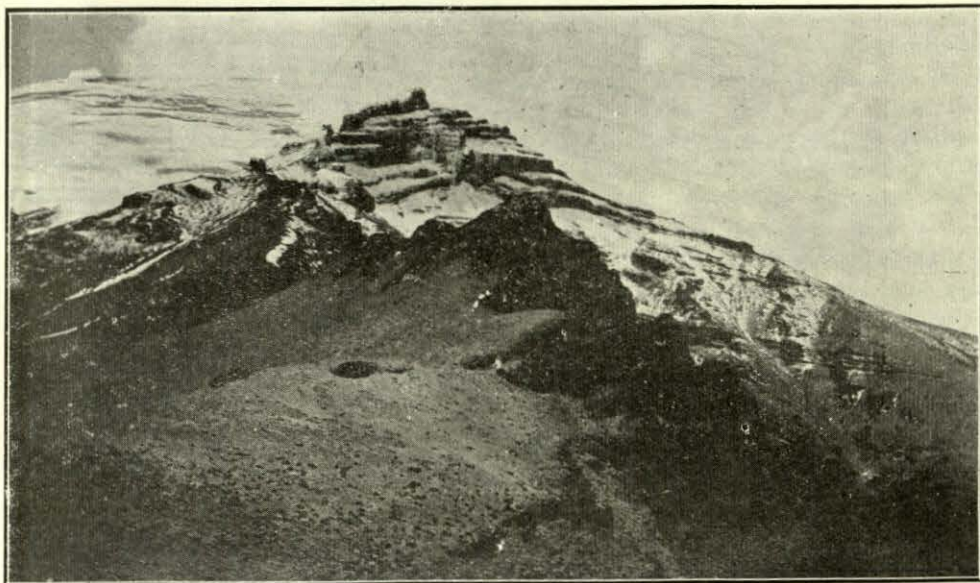






Fotografía número 13. El Pico del Fraile y la Barranca del Ventorrillo.

(Fot. Prof. Imm. Friedlaender.)



Fotografía número 14. El Ventorrillo y la cumbre de Acatitla.

(Fot. Prof. Imm. Friedlaender.)





Fig. 1. The Great Wall of China, showing the wall and the surrounding country. (Photographed from the Great Wall.)

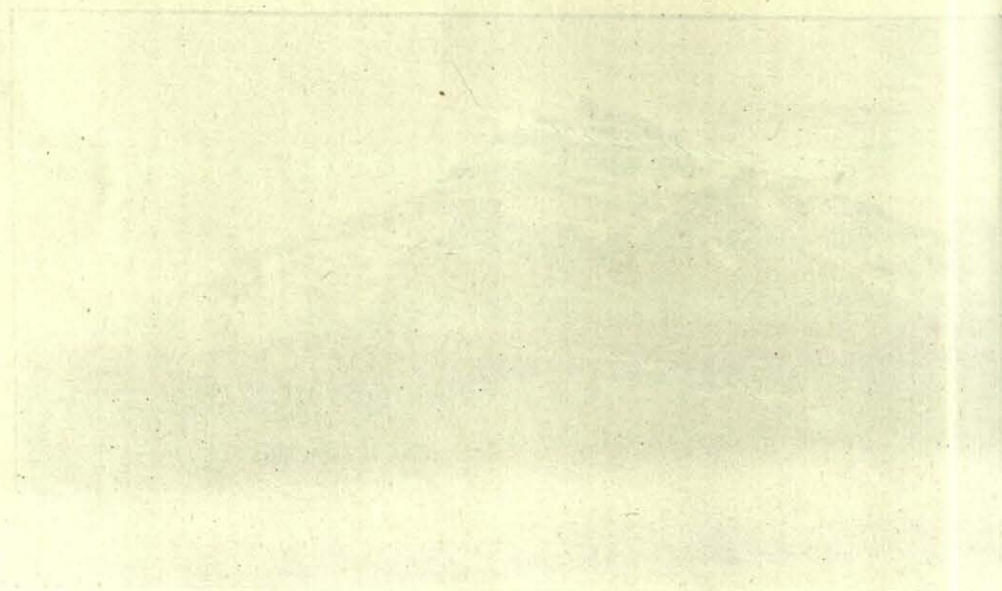


Fig. 2. The Great Wall of China, showing the wall and the surrounding country. (Photographed from the Great Wall.)



tores; pero de ninguna manera uno de los fenómenos que constituyen la explosión múltiple, tomado aisladamente, puede constituir un serio peligro. Casi puede afirmarse que si las manifestaciones volcánicas han sido acompañadas y precedidas de sacudimientos terrestres, sus efectos explosivos no serán peligrosos. La recíproca parece estar confirmada: las catástrofes de origen volcánico no han sido precedidas por un cortejo de temblores de tierra en íntima relación con ellas, sino que se han presentado exabrupto, o entre los sismos y las explosiones han mediado solamente algunas horas. El Popocatépetl en su trabajo interno produjo el 16 de octubre un microsismo que se registró a 300 kilómetros de distancia por un péndulo Wiechert que amplifica 80 veces el movimiento real del suelo; de enero a marzo del año de 1921 se han repetido los choques procedentes de ese foco eruptivo, aunque muy débiles, al grado, como dijimos antes, de que se pierden algunas de las ondas longitudinales en el medio transmisor que nos separa de ese foco, y solamente se llegan a registrar las ondas superficiales. Esto parece indicar que es remota una explosión simple, como la llama el señor profesor Omori, que pudiera poner en peligro la vida de los habitantes de las ciudades y de los poblados cercanos al volcán. No hacemos con esto predicciones ni conclusiones prematuras, sino presentamos un cuadro de nuestras observaciones en el volcán y de las que hemos realizado en la Estación Sismológica de Tacubaya.

*Relación probable con otros fenómenos geodinámicos*

Dijimos antes que el señor profesor Angelo Heilprin en su trabajo "The concurrence and inter-relation of volcanic and seismic phenomena" (1), trata de atraer la atención sobre la relación de causa a efecto entre temblores y erupciones volcánicas y entre ambas clases de actividades y las perturbaciones magnéticas y electromagnéticas que se registran en el

planeta. No nos declaramos partidarios de esta manera de ver tan general, tratándose de fenómenos tan complejos, que deben ser mejor observados. En el caso que nos ocupa, la inter-relación entre fenómenos tectónicos recientes y las manifestaciones volcánicas del Popocatépetl no sólo no es forzada y rebuscada para confirmar una hipótesis, sino que parece natural y lógico pensar en dos fenómenos geodinámicos que ni el tiempo ni el espacio han separado demasiado en su presentación: entre los choques sísmicos que inmediatamente siguieron al terremoto mexicano del 3 de enero de 1920, y que fué estudiado por varias comisiones del Instituto Geológico de México (1), se presentó, entre otros, un temblor simpático o de "relais" que fué registrado por los sismógrafos de la Estación Central de Tacubaya a los 38' 14" después de la llegada de la primera onda del terremoto catastrófico que asoló parte de los Estados de Puebla y Veracruz; la presentación de este temblor se fijó en tiempo en una discontinua de Credner (lámina IV) al igual que las réplicas y choques recurrentes del terremoto principal. En esa ocasión dijimos lo siguiente, refiriéndonos a este temblor simpático: se registró a las 5<sup>h</sup> 3' 04" (T. M. G.) del día 4 de enero, es del tipo doméstico o local y fué sentido como microsismo del grado IV (Cancani) en la ciudad de México, Tacubaya y San Angel, fué de breve duración. Con el intervalo L-P=3 segundos, calculamos 22 kilómetros como distancia epicentral; y el señor don Manuel Muñoz Lumbier fué comisionado por el señor Director del Instituto para hacer exploraciones y obtener datos en San Angel, sin que hubiera encontrado nada que hiciera pensar en que el epicentro estuviera dentro de esa área. Este temblor de "relais" fué perfectamente sentido como trepidatorio por los habitantes del Distrito Federal, tuvo una intensidad mayor que la del microsismo del 16 de octubre del mismo año, y fué registrado por los péndulos Wiechert de 200 kilogramos en Tacubaya y en Oaxaca. La fisonomía del registro nos induce

(1) X. Congreso Geológico Internacional. México, 1906.

(1) Bol. Núm. 38 del Instituto Geológico de México.



a asimilarlo con los choques que emanan del Popocatépetl; en cuanto a la prefase L-P=3 segundos, que está en discordancia con la distancia efectiva que nos separó del cráter, ya hemos visto que ha sido observada también en la gran mayoría de los temblores volcánicos registrádos en 1920, de los cuales sólo llegan a emerger algunas de las ondas (3 ó 4) longitudinales y las ondas superficiales en su totalidad. Entonces no nos hubiéramos atrevido a darle a esa distancia epicentral calculada en un intervalo incompleto, el valor de 72.4 kilómetros que es la verdadera distancia, y hasta le asignamos en nuestro escrito (1) como origen probable el Ajusco. Después, el vulcanólogo y sismólogo doctor P. Waitz (2) con una buena penetración dice: "Muy bien puede ser que los temblores que en el año pasado azotaron los Estados de Veracruz y Puebla hayan sido la causa determinante del nuevo período de actividad del Popocatépetl. Naturalmente no se podrá decir que los temblores aludidos hayan sido la causa eficiente de la nueva actividad. La fuerza eruptiva es innata del foco del volcán, etc., etc." Este párrafo que establece una inter-relación entre ambos fenómenos geodinámicos parece confirmarse en vista de lo expuesto anteriormente. Además, las coordenadas del epifoco de la desastrosa perturbación sísmica del 3 de enero de 1920, fueron: latitud N: 19° 17'; longitud E. de Tacubaya, 2° 03'. Es casi seguro que en abril del propio año se observaron las nuevas manifestaciones del Popocatépetl. Ya se verá por esto que ambas actividades no se presentaron aisladas en el tiempo y en el espacio; pero, de todos modos, la mejor prueba de la inter-relación discutida, es el registro del macrosismo de "relais" que siguió al gran terremoto del 3 de enero de 1920, cuyo epifoco estuvo a menos de 200 kilómetros del Popocatépetl.

A mayor abundamiento, la relación de

(1) Bol. Núm. 38 del Instituto Geológico de México.

(2) Sociedad Científica "Antonio Alzate." "Nubes ardientes" observadas en las erupciones del Jorullo (1759), del Ceboruco (1870), y del Colima (1913). La nueva actividad del Popocatépetl, 1921, pág. 306.

causa a efecto que encontramos entre el terremoto del 3 de enero y el despertar de las actividades volcánicas en el Popocatépetl, puede sostenerse con la opinión de Henuite, citada por Stanislas Meunier (1). "Puede recordarse que Henuite ya había supuesto que el hundimiento progresivo de cuencas sedimentarias podía, como ha dicho Babbage, dar lugar a una elevación de temperatura y dar lugar así a los focos volcánicos, citando como ejemplos el valle del Rhin y la depresión señalada por L. de Buch del NE. al SW. de Islandia." No creemos que el terremoto haya producido una energía transformada en calor, suficiente para elevar la temperatura en el foco eruptivo del Popocatépetl; pero sí es lógico suponer que el movimiento sísmico de la base del Cofre de Perote, que se debió, como lo discutimos en esa ocasión, a una flexión del soporte cretácico del litoral del Golfo de México, determinó el fracturamiento con o sin dislocación en la base del Popocatépetl, y puso en contacto con la atmósfera las lavas internas, facilitando así las erupciones subsiguientes. Esto parece lo más natural.

#### *Funcionamiento de la estación vulcanológica provisional de Tlamacas*

En abril de 1921 fui comisionado por el señor Director del Instituto Geológico para localizar los cimientos de la estación vulcanológica provisional de Tlamacas. El 22 de mayo del mismo año fuimos el señor don Angel Aguilar y yo a Tlamacas, llevando una casa transportable de madera, una estufa para cocinar y los instrumentos que deberíamos instalar en sus postes especiales de mampostería y de cemento. El 1.º de junio quedó concluida la obra de instalación de la casa y de los instrumentos, y la atención de la estación vulcanológica quedó a cargo del personal de la Sección de Sismología: desempeñando el servicio de Tlamacas por turnos, los señores Francisco Patiño Ordaz, Gonzalo de Gortari, Manuel Muñoz Lumbier, Gui-

(1) Evolución de las Teorías Geológicas, por S. Meunier, Madrid, 1911, pág. 190.





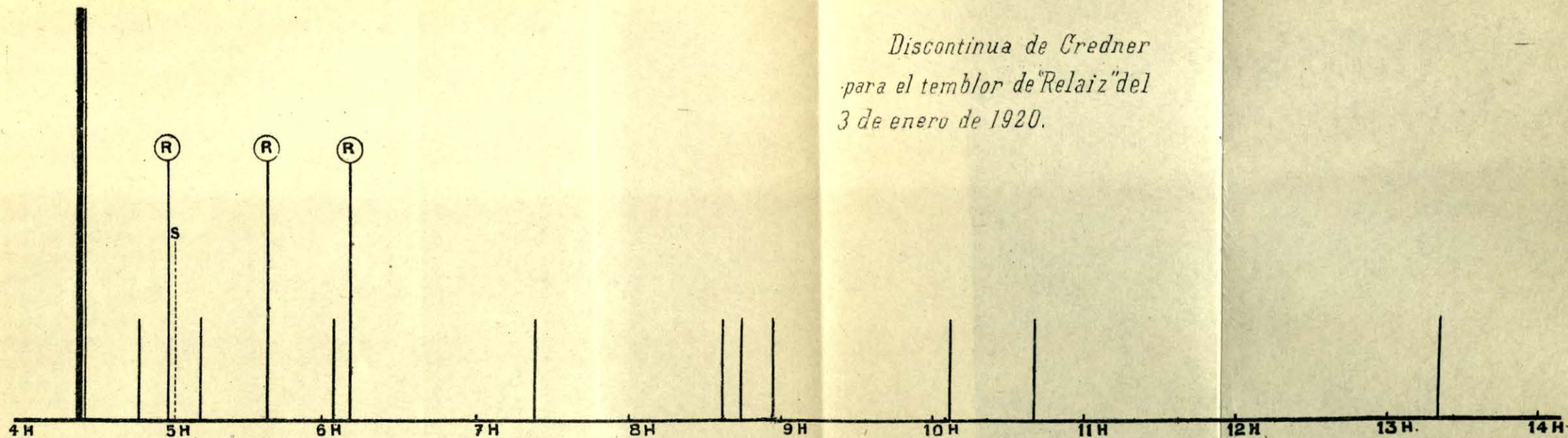
Fotografía número 15. Tobas dislocadas en la base del Pico del Fraile.



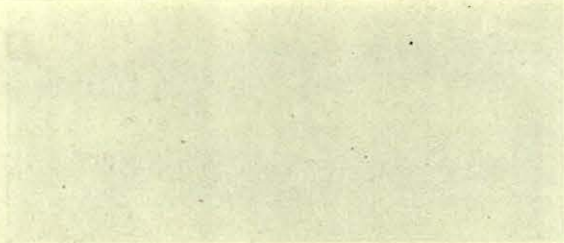
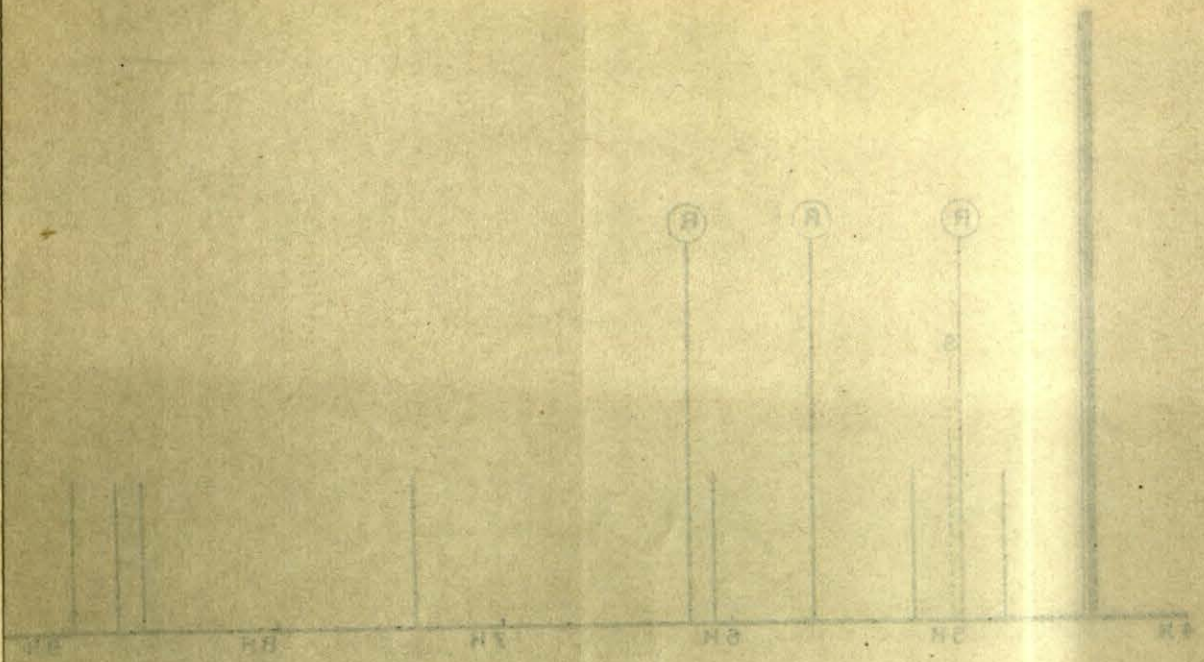




*Discontinua de Credner  
para el temblor de "Relaiz" del  
3 de enero de 1920.*







Faint, illegible text, possibly a title or description, located below the redacted area.

Faint, illegible text, possibly a signature or date, located at the bottom of the page.



Hermo Salazar Viniegra, el ayudante Tobías Navarrete y el suscrito.

El lugar elegido para instalar nuestro pequeño observatorio fué el borde derecho del arroyo de Tlamacas, al pie del cerro del mismo nombre. Constaba la casa de tres departamentos: al S. la sala de los instrumentos; en el centro, el dormitorio y sala de estudio, y al N. la cocina. Nuestro observatorio vulcanológico, a 3,912 metros sobre el nivel del mar, fué el más elevado de su especie en el continente americano, y probablemente el más alto del mundo; una poca de abnegación fué suficiente para atenderlo por más de siete meses; pues en enero del año actual se dieron por terminadas las observaciones sistemáticas en el volcán Popocatépetl; sin embargo, las observaciones realizadas en un lugar tan inclemente fueron poco útiles en la parte de meteorología, porque el observador estaba a veces incapacitado por el rigor del clima para desempeñar su cometido. Dividimos el servicio en tres secciones de diferente índole: Sección de Sismología, a la que concedimos especial atención, de Meteorología y de Magnetismo. Pocas fueron las observaciones magnéticas que hizo exclusivamente el señor ingeniero de Gortari en su último turno; pero de todos modos creemos que fueron nuestros trabajos de buenos resultados.

El equipo de instrumentos era el siguiente:

**Sismología:** Tromómetro Wiechert-Mintrop con adaptación de registro mecánico, orientado con su eje de rotación de E. a W., de manera de recibir normalmente las vibraciones del Sur. Dos péndulos Bosch de 200 gramos, con registro fotográfico. (Componentes N-S y E-W.)

**Meteorología:** Un barómetro de mercurio, un hipsómetro, un psicrómetro de onda, un termómetro de máxima, un termómetro de mínima, un pluviómetro, un anemómetro y una veleta.

**Magnetismo:** Un magnetómetro de Dover para la medida directa de la declinación.

Los instrumentos meteorológicos se situaron en la gran plazoleta arenosa de Tlamacas sobre una pequeña eminencia y lejos de la parte boscosa, para recibir las lluvias y el viento, así como los cambios de temperatura, en las mejores condiciones.

El magnetómetro se instaló en un pequeño pabellón de mampostería como a 200 metros al E. del Observatorio Sismológico y lejos de toda masa magnética. Fué muy reducido el número de observaciones magnéticas que hicimos. Además de las observaciones instrumentales se hicieron constantemente otras de carácter personal en lo que se refiere a las actividades volcánicas del Popocatépetl. Estas pueden clasificarse así, según el objeto de la observación: fumarolas, explosiones con detonaciones, observaciones con el micrófono o geófono, fulgores en el cráter, lluvias de arenas y visitas a la caldera del volcán en distintas ocasiones. Respecto de las últimas, ya se dijo algo al describir las ascensiones al cráter realizadas por miembros del Instituto; y al final de estos apuntes consignaré el informe que rendí al señor Director del Instituto Geológico con motivo de mi última ascensión, realizada con el ayudante Tobías Navarrete el 9 de marzo actual.

**I. Fumarolas:** Fueron observadas constantemente desde abril de 1920 y las presenciábamos nosotros desde el 25 de mayo de 1921, poco antes de instalar nuestro observatorio. Ese mismo día, una fuerte explosión de gases y arenas o cenizas se observó a las 7<sup>h</sup> 50'; siguieron varias explosiones semejantes hasta las 8<sup>h</sup> 08', en que se observó la máxima. Los gases llegaron a la altura de Chalco, porque fueron arrastrados por el viento.

Sería prolijo enumerar todas las explosiones gaseosas observadas hasta el mes de enero de 1922. Haremos mención de las más intensas, siendo todas ellas del mismo carácter y sólo variando en el volumen de la masa proyectada.

La estructura de las emisiones es característica, no se confunde con la de una masa de vapor de agua; la constitución molecular de aquéllas las hace aparecer como formadas de una materia tangible. Uno de los operarios, haciendo uso de una



comparación feliz, me dijo: "parecen algodones o lanas sucias que se mueven."

El movimiento ascensional es violento; su cambio de forma es rápido; cuando cesa la fuerza de propulsión tienen la tendencia a caer, lo que demuestra su densidad con relación al aire rarificado en que se encuentran. Todo esto las distingue de una nube. Si el viento no lo impide, se levantan las fumarolas de color gris o gris azulado y toman la forma de un hongo; en caso contrario ruedan sobre la montaña, generalmente al SE. Otras veces las masas gaseosas son esferoidales, bastante perfectas, aisladas, constituyendo lo que el señor profesor Emilio Oddone llama proyectiles gaseosos; éstos se dilatan ligeramente y permanecen en el espacio por algún tiempo.

Esta forma eruptiva está siempre acompañada de un ruido continuado que varía de intensidad y que desde el campamento de Tlamacas es semejante al que produce un convoy pesado de ferrocarril cuando se acerca a nosotros a gran velocidad. Durante la noche, cuando no sopla el viento ni en el bosque ni en la parte alta del cono, porque están equilibradas las temperaturas en las distintas capas de la atmósfera, el ruido de la erupción es más notable y fuerte en algunos instantes. Al parecer, estos movimientos vibratorios no deberían pasar inadvertidos para los sísmógrafos, pero ya veremos después la forma peculiar de los registros obtenidos.

La erupción más notable fué observada el 18 de septiembre de 1921: a las 9<sup>h</sup> 00' oímos un ruido semejante al que produce el viento al mover con ímpetu las llamas de una gran fogata; el ruido provenía del cráter, de cuya abertura se desprendía con gran fuerza de impulsión una masa enorme de gases y cenizas; esta emisión extraordinaria, era gris, tenía la estructura indicada anteriormente; el penacho llegó a ser tres veces más grande que el cono nevado.

Al W. se empezó a precipitar una lluvia de arena y cenizas que al caer sobre el casquete de hielo lo dejaron de un color pardo que persistió durante el resto del día. La mayor emisión tenía lugar del lado SE. del cráter (lugar de la máxima actividad solfatárica en la caldera). La

consistencia de la masa gaseosa y la pequeñez de los materiales sólidos proyectados hacían que la masa expulsada no se deformara con el viento y se conservó por algunos minutos estacionaria e indeformable. Este fenómeno duró 15 minutos; después el viento arrastró todo hacia el rumbo de Amecameca.

Los días 14, 15 y 16 de septiembre del mismo año fueron también de mucha actividad.

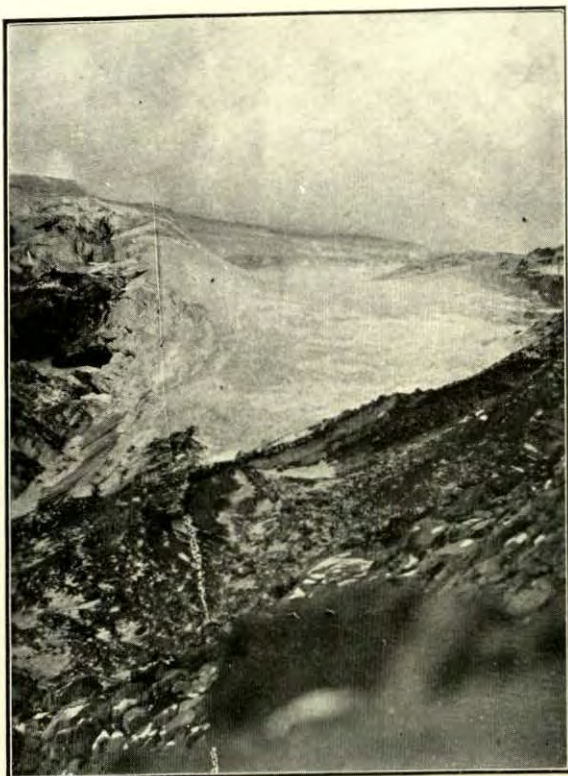
En el mes de noviembre, los días 14, 15 y 16 fueron de mucha actividad, registrándose el 15, diez y ocho explosiones muy semejantes a la del 18 de septiembre ya descrita. (Fots. núms. 18, 19 y 20.)

Finalmente, el 5 de enero del año actual se verificó una explosión gigantesca y de aspecto imponente que vieron los vecinos de Amecameca, Ozumba y Cuautla. El señor ingeniero Gonzalo de Gortari tomó fotografías de ella desde el campamento de Tlamacas.

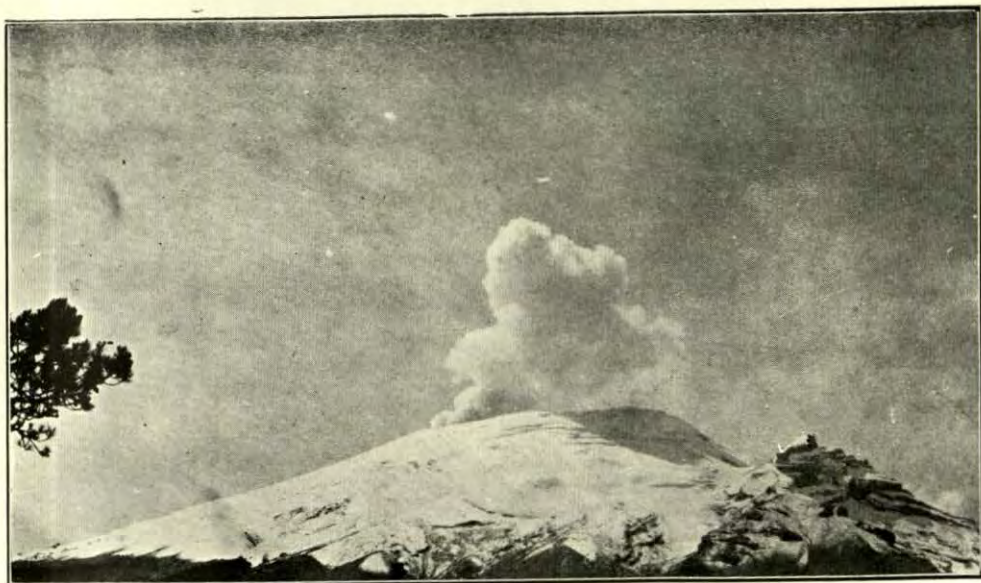
II. Proyecciones de arenas: Estas, raras veces acompañaron a las emisiones gaseosas. Se dice que algunos vecinos de Amecameca, Ozumba, Cuautla y Atlixco presenciaron ligeras lluvias de ceniza. Quizá no se trataba en estas raras ocasiones de cenizas propiamente dichas, sino de arenas volcánicas, según el examen petrográfico hecho por el señor don Rodolfo Martínez Quintero. Estas arenas fueron recogidas en dos ocasiones: la muestra "A," a 10 kilómetros al NW. del cráter, la mañana del 22 de agosto de 1921; este material finamente pulverizado estaba depositado en las hojas anchas de las plantas en la orilla del monte, en el paraje de La Tijera. La muestra "B" fué colectada en mayor cantidad en el campamento de Tlamacas el 10 de diciembre del mismo año. Insertamos a continuación de estas observaciones el estudio del señor Martínez Quintero, que da alguna luz acerca del origen de estas arenas volcánicas y de los fenómenos ocurridos en la chimenea del Popocatepetl, y que da bastante idea acerca de la distancia a que fueron proyectados y recogidos estos materiales sólidos en relación con el grado de trituración en que se encontraban.

III. Detonaciones y empleo del geófono: Las explosiones fueron acompañadas



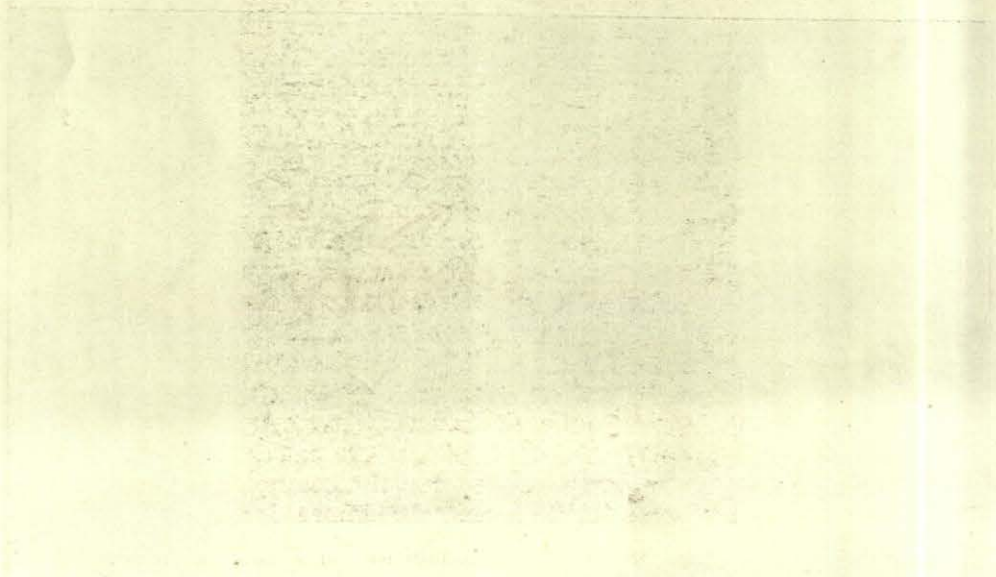
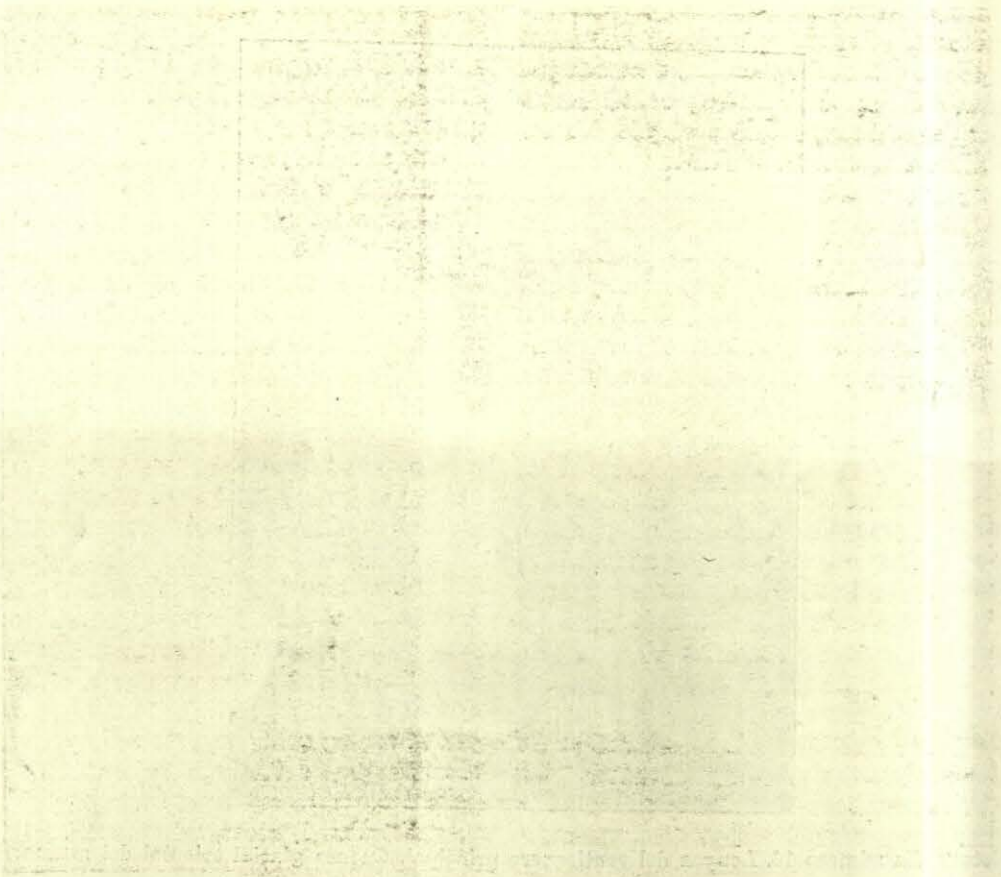


Fotografía número 16. Lengua del ventisquero principal. Cuenca glacial oriental del mismo.  
(Fot. F. Weitzberg.)

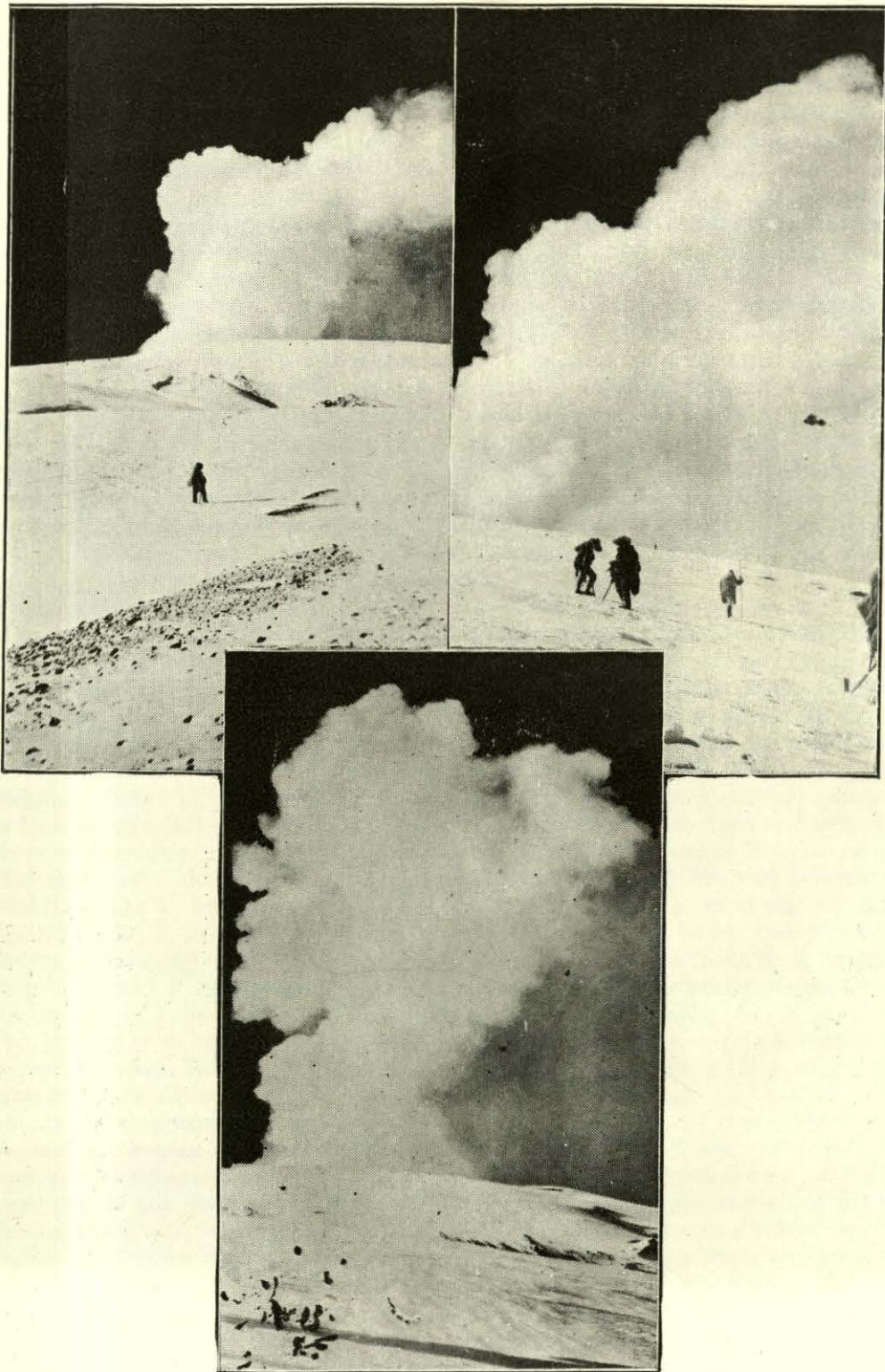


Fotografía número 17. Fumarola vista desde Tlamacas.



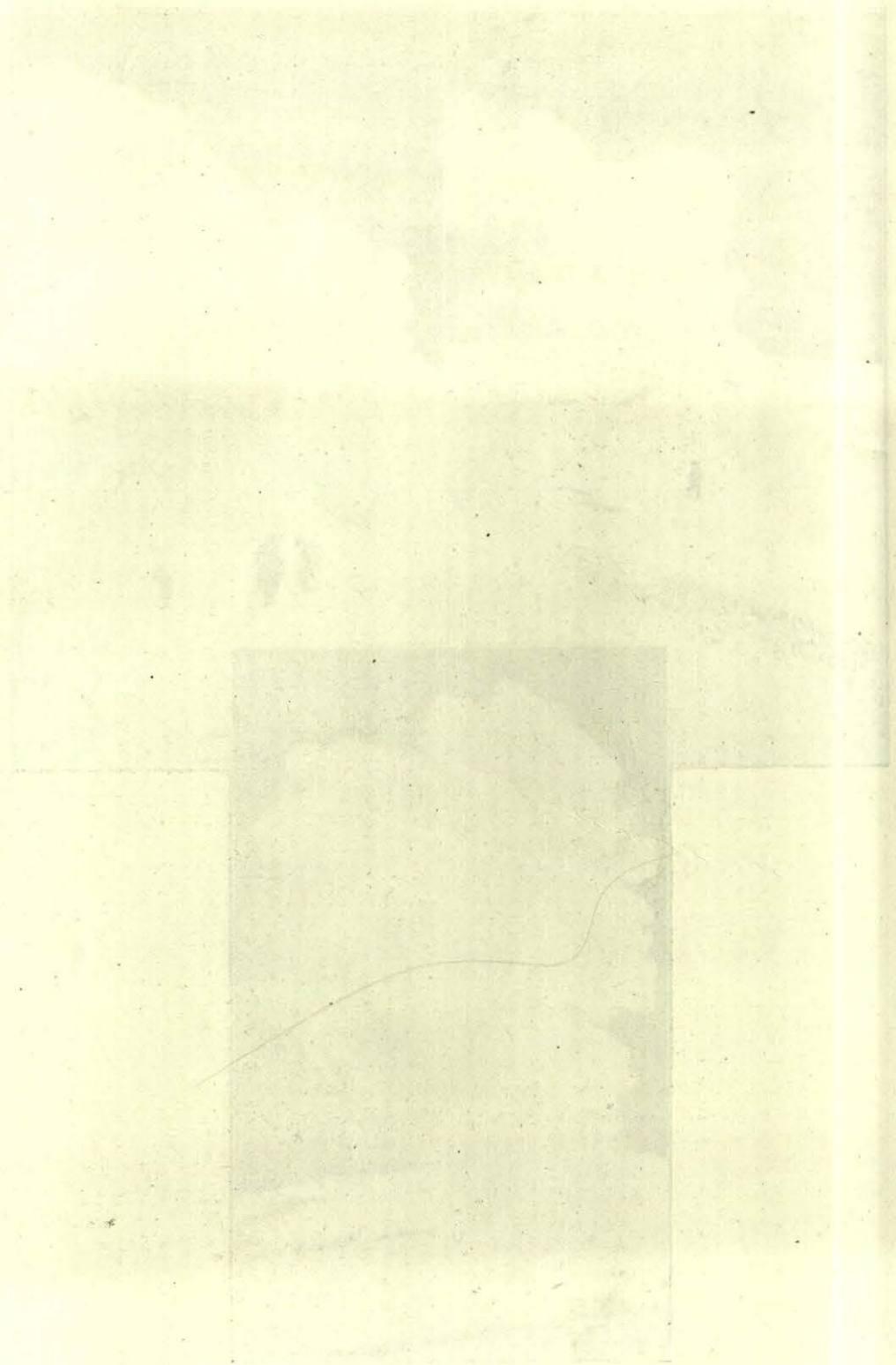






Fotografías números 18, 19 y 20. Explosiones registradas la mañana del 15 de noviembre de 1921.  
(Fots. Prof. Imm. Friedlaender.)





THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILL.



generalmente de fuertes detonaciones cuya área de percepción no se limitaba a los bordes o a las cercanías del cráter, sino que eran claramente distinguidas en el campamento y aun a 10 kilómetros de distancia, como sucedió con la gran explosión del 18 de septiembre ya citada. En otras ocasiones no pudimos comprobar la coincidencia entre las explosiones gaseosas y la presentación de las detonaciones, porque las nubes ocultaban gran parte del volcán. Tal cosa sucedió con las detonaciones que oímos el 15 de agosto entre las 16<sup>h</sup> 00' y las 16<sup>h</sup> 30' en el campamento de Tlamacas: éstas fueron en número de 46, semejantes a disparos lejanos de artillería; procedían del cráter y fueron claramente perceptibles sin necesidad de recurrir a un micrófono. Estas vibraciones acústicas transmitidas por la atmósfera y no por el suelo, como ya se ha demostrado en casos semejantes, producían la sensación de ser transmitidas por el suelo, de una manera parecida a las vibraciones que se perciben en las explosiones dentro de las minas. Esta tarde se presentaron las detonaciones en 8 series, separadas por cortos intervalos como sigue:

Primera serie: 11 detonaciones.

Segunda serie: 11 detonaciones. Algunas de esta serie fueron consecutivas (sin intervalo apreciable).

Tercera serie: 7 detonaciones.

Cuarta serie: 8 detonaciones.

Quinta serie: 2 detonaciones.

Sexta serie: 5 detonaciones.

Séptima serie: 1 detonación.

Octava serie: 1 detonación.

La primera y la tercera series fueron las más intensas. El intervalo entre la penúltima y la última fué muy prolongado. Los sismógrafos no registraron vibraciones ni choques aislados que coincidieran con las detonaciones. En esta fecha se escucharon por primera vez estas manifestaciones. Posteriormente fueron muy notables las detonaciones que acompañaron a las explosiones del 15 de noviembre del mismo año.

El señor Director del Instituto Geológico, en una de sus visitas al campamento y observatorio de Tlamacas, ensayó un geófono de la Globe Phone Manufacturing Co. Se trata de un instrumento que

es inútil describir porque está fundado en el mismo principio acústico que un estetoscopio. Las experiencias que fueron hechas en la cumbre de Acatitla, borde derecho de la barranca del Ventorrillo, en el mismo borde y al pie del Pico del Fraile, hicieron perceptibles las detonaciones que precedían a las erupciones verificadas con mediana intensidad el 19 de diciembre de 1921. Después se siguió empleando el mismo instrumento, casi de continuo, en el poste del magnetómetro en Tlamacas, en Las Cruces y en Cargaderas; en estos dos últimos lugares la intensidad del viento impedía percibir los pequeños ruidos que provenían del cráter. Con ayuda del geófono y en el poste del observatorio magnético, en algunas ocasiones se hicieron bastante perceptibles algunas vibraciones acústicas semejantes a las que produce una caldera en ebullición.

IV. Fulgores en el borde del cráter. Estos fueron observados por primera vez en la noche del 5 de agosto de 1921 por el señor ingeniero F. Patiño Ordaz; después fueron más notables la noche del 20 de septiembre del mismo año por numerosos testigos, a partir de esta fecha se hicieron más frecuentes, pudiendo afirmar que casi no hubo noche que no fueran observados hasta el mes de diciembre. El color de estos fulgores variaba del rojo intenso al ligeramente pálido y su causa era una simple reflexión de la luz que producía la incandescencia del fondo de la caldera sobre las bases de las masas gaseosas emitidas en cada explosión.

V. Observaciones con el tromómetro de Wiechert-Mintrop. Ya dijimos al hablar del carácter general de los temblores volcánicos procedentes del Popocatepetl, las épocas de mayor actividad que coincidieron con manifestaciones dinámicas registradas por el péndulo horizontal de 17 toneladas en la Estación Central de Tacubaya, y cómo se pudieron clasificar estos movimientos en dos grupos: los que prepararon y los que acompañaron a las explosiones gaseosas verificadas en el cráter. Ahora nos parece de interés describir el carácter de los registros proporcionados por el tromómetro en la estación de Tlamacas; este funcionó con toda regula-



ridad desde agosto de 1921 hasta enero de 1922.

En los registros no se presentó el caso de que un movimiento procedente del foco eruptivo se individualizara claramente y apareciera definido por sus fases como un choque de carácter local o doméstico; pero en cambio, durante muchas horas consecutivas, en que me consta que ninguna causa extraña como el viento, golpes cercanos, pasos nuestros en el interior de la casa, etc., produjeran la inquietud del tromómetro, éste registró pulsaciones de cuatro a cinco o menos segundos de período. Estas pulsaciones microsísmicas fueron las únicas manifestaciones mecánicas de la actividad del foco activo, que, como se sabe, se encontraba a 3,882 metros de nuestro instrumento.

Intencionalmente registré la acción del viento, dejando algunas horas la ventana del observatorio abierta, y la fisonomía del diagrama es completamente diferente a la del registro normal, y ambas lo son del que se obtiene dando golpes de mazo sobre un durmiente bien apoyado en la arena y a cinco o seis metros del instrumento. Pero en los casos de movimientos artificiales así provocados, los registros se individualizan, porque el tromómetro estaba siempre bien amortiguado.

La serie de pulsaciones microsísmicas registradas durante la noche y en perfecta calma, demuestran una forma del trabajo desarrollado por los gases del cráter al verificar su salida o en el interior mismo de la chimenea; o bien, que sin que allí se produzca una vibración continuada, sino intermitente y por explosiones aisladas, nuestro aparato las recibía como en serie continuada por la influencia del medio transmisor. Es de suponerse que lo primero constituye la causa de tal tipo de registro, es decir, que el trabajo interno de los gases o de la lava fundida se desarrollaba en medio de una vibración continua y de eso es de lo que nos da cuenta el tromómetro, por las siguientes razones: primera, el instrumento estaba amortiguado; segunda, las citadas pulsaciones no son el registro de las explosiones gaseosas, porque en un día de gran actividad fumarólica pude medir la frecuencia de las explosiones y el intervalo me-

dio fué de medio minuto más o menos entre dos de ellas, y teniendo en cuenta la primera condición, obtendríamos registros aislados que coincidirían en frecuencia con la salida de los proyectiles gaseosos, dada nuestra distancia tan corta al foco de vibración; tercera, queda eliminada la influencia del medio transmisor, desde el momento en que el día 21 de octubre por la noche, el tromómetro registró un telesismo a 6,360 kilómetros de Tlamanca, registrado también en Tacubaya, y cuyo epifoco estuvo en la República de Chile; luego el poste del instrumento no está cimentado sobre una lente de pómez aislada de un medio elástico y suficientemente transmisor de las ondas. Por lo tanto el tromómetro nos indicó que se producía en el foco eruptivo, ya sea en la chimenea o a una profundidad meramente intratelúrica, una vibración continuada; y que no se verificaron movimientos sísmicos en consecuencia con las explosiones gaseosas.

Por las razones expuestas se verá que fué justificada la causa de dejar fuera de servicio los péndulos Bosch-Omorí fotográficos, que ampliaban menos que nuestro delicado instrumento.

VI. Climatología local; observaciones meteorológicas. En términos generales podemos decir que la climatología del valle alto y frío de Tlamanca, que pertenece a la cuenca hidrográfica del valle de Puebla y cuya altura media es de 4,000 metros sobre el nivel del mar, es muy sencilla; en pocos días cualquier observador se da cuenta de que los fenómenos meteorológicos locales obedecen a un ciclo que permite una previsión acertada del tiempo probable, cosa muy útil para los viajeros y exploradores que intentan las ascensiones al cráter del Popocatepetl. Estos fenómenos que se repiten con una periodicidad notable, obedecen a la altura absoluta de la región, a la orientación del valle de Tlamanca y al régimen glacial actual perfectamente bien equilibrado en el casquete nevado del Popocatepetl. Ha sido el observatorio meteorológico de Tlamanca, el más alto en el país; estuvo situado entre dos valles de mucha importancia en la Mesa Central: el de México y el de Puebla.