
TERCERA PARTE

CAPITULO I

Itinerario

El 8 de marzo próximo pasado, obedeciendo instrucciones del señor Director del Instituto Geológico de México, me trasladé a San Andrés Chalchicomula, Pue., acompañado del fotógrafo señor David N. Chávez y del colector de muestras señor David Enríquez R. Desde ese lugar empecé a desarrollar el itinerario prescrito y que marco en el mapa sísmico (Lám. I-B). Hice el regreso por el mismo camino, empleando trece días en el recorrido total; los lugares poblados que visité se sitúan en una línea sinuosa que vuelve su concavidad hacia el Pico de Orizaba (Lám. IV-B, Fot. 1), desde San Andrés hasta Saltillo Lafragua; y después la dirige hacia el Cofre de Perote, de Saltillo Lafragua a Jalapa, lugar que visité en un segundo viaje.

Consignaremos algunas distancias parciales entre los puntos del itinerario:

San Andrés-Tlachichuca.....	28	Kilómetros.
Tlachichuca-La Capilla.....	14	„
La Capilla-Huecapa.....	9	„
Huecapa-Saltillo Lafragua.....	5	„
Saltillo Lafragua-Chilchotla.....	24	„
Chilchotla-Patlanalá.....	12	„

El perfil de este itinerario demuestra (Lám. II-B, Fot. 1), que en un descenso suave se va desde San Andrés a Huecapa y que el perfil apenas se interrumpe por el parte-aguas de poco relieve de Tlachichuca y los cauces de los ríos Valiente y Quetzalapan, corrientes torrenciales que nacen en las estribaciones occidentales del Pico de Orizaba. De Huecapa a Saltillo comienza el ascenso por los lomeríos que se desprenden al occidente del alineamiento orográfico que va del Pico de Orizaba al Cofre de Perote y que se orienta casi de Sur a Norte. El itinerario que seguimos cruza esta cumbre importante en el cuello denominado Puerto del Cerro de Toluca, cuya altura absoluta es de 3,070 metros. Después se inicia el descenso en muy fuerte pendiente por la cuesta del mismo cerro hasta Texcalango, pequeño valle que se forma en las vertientes orientales del alineamiento orográfico mencionado; ese valle queda limitado por los restos de diques andesíticos que el trabajo erosivo ha respetado, dejando también los testigos de un derrame de lava andesítica que cubrió ambos flancos de la cumbre ya citada. Sigue el descenso hacia Acocomotla (Totolintla), valle más amplio que el de Texcalango; y en donde aflora el basalto negro y escoreaceo (Lám. IV-B, Fot. 2). Este valle se ve surcado al Norte y al Sur por los arroyos que inician el nacimiento del río Huitzilapa, que recibiendo arroyos de importancia por su izquierda y conservando el rumbo medio de W. a E. pasa por Calixitla, Ocotene (bis) y Chilchotla. Inútil es decir que el itinerario sigue el cañón del río Huitzilapa o de Los Pescados desde Acocomotla a Patlanalá. La figura 1, Lám. II-B, indica la pendiente de este cañón transversal al alineamiento que denominaremos de hoy en adelante "Perote-Orizaba."

CAPITULO II

Fisiografía

1.—*Orografía*.—Del alineamiento mencionado avanzan al Oriente contrafuertes transversales de flancos abruptos que conservando en buena extensión, el rumbo W.-E., se separan entre sí por ríos de montañas encajonados, en fuerte pendiente y alimentados por manantiales abundantes y de régimen constante. El descenso de la cumbre principal hacia el Este, es acentuado y prolongado; los valles transversales que *dividen* los distintos contrafuertes, son estrechos y profundos y conservan cierto paralelismo. Su perfil transversal acusa dos cosas: su juventud en el ciclo geográfico y que su modelado por la erosión se ha verificado según líneas de mínima resistencia, ocupadas por los thalwegs actuales.

Contrastando con este descenso rápido de las vertientes orientales de la cumbre mencionada, se presentan las occidentales surcadas también por barrancas transversales que dejan entre sí salientes que avanzan hasta Huecapa y van a morir en un valle extenso y arenoso cuya altura media es de 2,500 metros sobre el nivel del mar. Estas vertientes son totalmente diferentes de las orientales por su aspecto fisiográfico, pues son lomeríos desnudos de vegetación arborecente, cubiertos de tobas y arcillas deleznable y pulverulentas; lomeríos arredondados, separados por barrancos secos.

En uno de estos barrancos, que desciende de E. a W., se encuentra el pueblo de Saltillo Lafragua. En estas vertientes escasean los manantiales, la vegetación es casi nula; y el viento persistente y seco que recalentado asciende del valle, por fenómeno de convección, produce depósitos eólicos continuados en estos lugares, en que se cultiva la patata de preferencia a cualquiera otra planta. Las precipitaciones abundantes del Oriente de la cumbre alimentan numerosos manantiales y las corrientes superficiales han diseado y modelado formas abruptas con vegetación abundante y en donde afloran: las andesitas en la parte alta y el basalto en el escalón de Texcalango, mientras que al Occidente, no se descubre la roca viva sino a 4 kilómetros al E. de Saltillo Lafragua y a 360 metros sobre el nivel del pueblo. Allí, en los bordes de una corriente de andesita, surgen de sus diaclasas los manantiales que escasamente surten al pueblo mencionado.

La Morfología de ambas vertientes es completamente distinta: del lado de Saltillo Lafragua, lomas convexas y arredondadas como el carapacho de una tortuga; del lado de Chilchotla, montañas imponentes que se alinean paralelamente de W. a E. y que aparecen como cuchillas triangulares cuyos flancos de fuerte pendiente ha modelado la erosión, quizá favorecida por bruscos movimientos sísmicos verificados en épocas anteriores.

2.—*Hidrografía*.—El thalweg principal de la red hidrográfica al Oriente del alineamiento "Pico de Orizaba-Cofre de Perote," es el río Huitzilapa o de Los Pescados. Su curso medio es transversal al alineamiento citado y se dirige casi de W. a E. Los caracteres de esta red hidrográfica guardan probablemente estrecha relación con el fenómeno sísmico que estudiamos. La ley universal de que los fenómenos naturales se verifican en el tiempo mínimo; y conforme a la cual, los movimientos de cualquiera especie definen trayectorias que siguen siempre líneas de mínima resistencia, tienen en Mecánica, en Geología y en otras ramas de la Ciencia, numerosas comprobaciones. Los hidrólogos admiten esta ley, por la cual las trayectorias de los filetes líquidos siguen en su circulación subterránea líneas braquistocrónicas. De la misma manera se llaman desde el punto de vista mecánico las trayectorias seguidas por los rayos sísmicos.

Es natural suponer que el camino escogido por las aguas superficiales, gobernadas en su movimiento por la gravedad, debe obedecer al mismo principio universal; ahora bien, tratándose de la parte alta del curso de un río, en donde el trabajo erosivo es predominante y nula la deposición, debemos pensar que su thalweg es el lugar geométrico de los puntos que han presentado la mínima resistencia a la erosión; y así puede suceder que las aguas

superficiales sigan la dirección de una fractura o grieta antigua, el contacto de dos formaciones distintas, una línea de falla, el eje longitudinal de un pliegue o de una flexión, etc.

No significa esto que forzosamente los thalwegs de una red hidrográfica se dispongan de tal manera que marquen las líneas de disolución de la corteza terrestre; pero no deja de ser verdad que algunos tramos en el curso de los ríos se alinean y se subordinan a la dirección de distintos accidentes tectónicos, tanto porque los ejes de estos accidentes: fracturas simples, fallas, pliegues, flexiones, fosas, etc., presentan caminos fáciles a la erosión, cuanto porque las regiones dislocadas ofrecen saltos y contrastes de relieve que obligan a las corrientes superficiales a seguir direcciones paralelas a los ejes de disolución. Insistiremos en la estrecha relación que existe entre la tectónica y la forma de drenaje de una región dislocada, de la cual tenemos un excelente ejemplo en la red hidrográfica que vamos a describir.

El río Huitzilapa ha labrado su curso en los basaltos que forman el basamento del Cofre de Perote y que fueron el producto de las primeras erupciones de ese volcán; ocupa el fondo de un cañón profundo y estrecho cuya sección es una V, presenta tramos alineados de W. a E. y guarda su paralelismo con los accidentes orográficos vecinos.

Sus afluentes corren entre cañadas angostas de paredes escarpadas, afluyen al tronco principal y dan al conjunto de la red el mismo aspecto que tomarían las raíces de una planta sumergidas en una corriente de agua y que se flexionaran al impulso de ésta; eso se observa entre Chilchotla y el Puente de Quimixtlán; después, río abajo, el curso del Huitzilapa se dirige al NE. y pasa al S. de Patlanalá. Pero el aspecto fisiográfico de esta barranca grandiosa se conserva y prosigue en aumento, pues, aguas abajo de Patlanalá y antes de llegar a Barranca Grande (cuya población fué arrasada por la inundación de lodo que siguió al terremoto), el Huitzilapa corre entre dos muros gigantescos: por su derecha el muro vertical llamado Ocotene, citado ya en la primera parte de esta Memoria, y que se eleva a cerca de 800 metros sobre el lecho del río, y por su izquierda, el alineamiento denominado Espinazo del Diablo y después La Vigía, cuya cresta o arista, elevándose gradualmente de Barranca Grande hasta algunos kilómetros al E. de Patlanalá, llega a alcanzar cerca de 650 metros de altura sobre el lecho del mismo río, en la cumbre de La Vigía. (Lám. V-B, Fot. 1).

Solamente en Chilchotla y en Patlanalá se observan ensanchamientos en el cañón que ha modelado el Huitzilapa, formándose dos pequeños valles erosivos en que se asientan las poblaciones de esos nombres. En estos mismos sitios se verifica la afluencia de los arroyos que alimentan el caudal normal del Huitzilapa y probablemente a la acción erosiva de los afluentes en los lugares citados se debe la formación de los valles.

El río pasa al N. y Noreste de Chilchotla obteniendo su salida por un cañón estrecho de muros basálticos elevados, recibiendo antes las aguas del arroyo de Temascalapa por su izquierda (Lám. V-B, Fot. 2); y del arroyo de Matlacapa por su derecha, el que a su vez recibe las aguas de Chilchihuapa, que pasa al W. de Chilchotla. Estos arroyos son permanentes, han profundizado su curso en las tobas suaves y delesnables del Valle de Chilchotla, que medirá apenas 180 hectaras; y que queda circunscrito por estas corrientes permanentes que se deslizan al pie de las abruptas montañas que con altura media de 250 metros sobre Chilchotla, circundan el valle en anfiteatro. El Matlacapa y el Chilchihuapa al descubrir en sus lechos el derrame de basalto columnar que sirve de asiento al valle, antes de precipitar sus aguas en la corriente principal, producen caídas utilizables para la industria al Oriente y muy cerca de Chilchotla.

Los suelos arcillo-arenosos del Valle de Chilchotla son fértiles y de buen espesor, provienen de la desintegración de las tobas basálticas y de la corteza de tierra vegetal que recubre los flancos de las montañas circunvecinas.

El río no vuelve a recibir otros afluentes importantes sino hasta llegar a la entrada del Valle de Patlanalá. Antes de recibir estos nuevos afluentes, su gasto normal es de 3.36 metros cúbicos por segundo, en el punto denomi-

nado "La Chorrera," entre Patlanalá y el Puente de Quimixtlán (según aforo del señor ingeniero Rafael Nájera y del suscrito).

Al SW. de Patlanalá recibe el Huitzilapa por la derecha los arroyos de Aguacapa o Cuahumelcuac, de Huitzilacone u Ocoxochil y de Pilapa; y por la izquierda, el arroyo de Cuixapa.

Repitiéndose el mismo fenómeno, volvemos a observar que el río sólo recibe el contingente de los arroyos permanentes al ensanchar su cañón en el valle de lo que fué Barranca Grande; en este sitio afluyen por la izquierda el Chululapa y el Ixhuacán y por la derecha el Tenexapa. Desde este punto el río se llama de Los Pescados.

En resumen: el Huitzilapa es el tronco principal de la red hidrográfica que nace en la vertiente oriental del alineamiento "Orizaba-Perote" y el tramo de su curso ya descrito acusa la juventud de la red hidrográfica en su ciclo geográfico, tanto por la topografía montañosa de su cuenca, como por la altura de su nacimiento en relación con su desarrollo lineal contado hasta su desembocadura, lo que le da el carácter de río de montaña. Los afluentes de esa red nacen en las rinconadas que forman entre sí los desprendimientos de los núcleos volcánicos ya citados. La acción erosiva de los arroyos afluentes ha determinado la formación de tres valles pequeños que rompen la monotonía del cañón labrado por el río. La morfología de este cañón hace suponer que el Huitzilapa profundizó su thalweg *en una línea de fractura periférica en torno del Cofre de Perote*; las formas bizarras de los muros que limitan este cañón hacen pensar en lo que el célebre sismólogo F. Montesus de Ballore llama "topografía sísmica."

CAPITULO III

Cortes geológicos

En vista de haber sido muy corto el tiempo que dediqué a mis observaciones en el campo, de la inseguridad que reinaba en aquella región por el bandidaje y de mi reconocida insuficiencia para hacer la historia geológica de la zona pleistocénica, me veo precisado a dar a conocer solamente algunos cortes geológicos hechos transversalmente al curso del Huitzilapa, además del longitudinal que corresponde al itinerario desarrollado. (Lám. II-B, Fot. 1).

En los llanos extensos de Tlalchichuca, La Capilla y Huecapa, se encuentran las tobas volcánicas en un espesor como de 45 metros, descansando en los basaltos y cubiertas por la tierra vegetal y por los depósitos eólicos de que ya hablamos. De Huecapa a Saltillo se recubren las laderas de los lomeríos, de tobas incoherentes y pulverulentas. El basalto negro y escoriáceo se descubre en el fondo del arroyo de Saltillo Lafragua.

A 220 metros sobre Saltillo y al Oriente de esta población, afloran corrientes de andesita; en Agua de la Mina y en el cerro de Toluca, poderosas corrientes acantiladas de andesita coronan el parte-aguas; después, hacia el Oriente, aflora la misma roca en diques en la cuesta del Toluca y en Texcalango a 2,760 metros sobre el nivel del mar. Esas corrientes andesíticas son los restos de un derrame de lavas que cubrió ambos flancos del parte-aguas y que fué producto de una de las erupciones del Píco de Orizaba. Siguiendo el descenso hacia el Oriente, el basalto se aflora en Acocomotla, segundo escalón de la vertiente Oriental de la sierra.

El Huitzilapa ha descubierto la estructura columnar basáltica entre Chilchotla y Patlanalá. Sobre este basamento basáltico descansan las andesitas, descubriéndose un derrame de 200 metros de espesor, como puede observarse en el flanco izquierdo del profundo y acantilado cañón del Huitzilapa.

Las andesitas se presentan fracturadas por numerosas diaclasas que se disponen en forma de abanicos de ejes verticales. Este derrame abundante de lavas andesíticas se observa en las cercanías de Patlanalá, recubierto por

tobas pomosas y cenizas volcánicas que sufrieron considerables derrumbes a causa del terremoto.

Al Noreste de Patlanalá sobre el flanco izquierdo del río, se levantan crestas acantiladas que se conocen de Poniente a Oriente con los nombres de Cerro Colorado o Tlatlahuictepetl, Tepehican ("atrás del cerro"), Tlachichilpa y Acantiopa (Lám. VI-B, Fots. 1 y 2), se observan de abajo hacia arriba las siguientes formaciones (Lám. II-B, Fot. 2, Figs. a y b.) andesitas con diaclasas verticales, calizas metamórficas plegadas, siendo los ejes de los pliegues transversales al curso del río; andesitas, tobas andesíticas y tierra vegetal. Al pie del Cerro Colorado surgen manantiales de agua freática que alimentan la pequeña laguna de Patlanalá, que tiene una superficie aproximada de 16 hectaras; al Sur de la laguna se levanta a pocos metros de altura el Cerrito de Patlanalá, coronado por una mesa plana. Hacia el Sur del cerrito se encuentra el flanco acantilado del río Huitzilapa, cuyo lecho muy profundo deja a la derecha un muro casi vertical, de una altura parecida a la del Tepehican. El sabio profesor don Emilio Oddone piensa que la laguna de Patlanalá es el vestigio de un antiguo cráter andesítico; que las andesitas inferiores del Cerro Colorado, cuya estructura es columnar, son los restos de las paredes de la chimenea; y el Cerrito, fué formado por un derrame de lava andesítica. El señor ingeniero don Leopoldo Salazar Salinas, cree que las lavas andesíticas inferiores y superiores en el corte cuyo croquis presentamos, fueron un mismo derrame de un foco volcánico más lejano; y que la erosión ayudada por los desprendimientos y derrumbes del flanco de la montaña, producidos por movimientos sísmicos, ha bastado para poner en descubierta las capas de calizas cretácicas que en un principio estuvieron cubiertas por las lavas andesíticas.

Es posible que en este lugar, ya por el cráter que supone el señor Oddone o por grietas eruptivas se haya verificado la eyaculación de las lavas andesíticas que rompieron, dislocaron y metamorfosearon las calizas cretácicas. Efectivamente, la fractura *a b*, representada en el croquis, tiene un echado al W. y parece marcar el *contacto entre las formaciones eruptivas terciarias y las cretácicas sedimentarias*. Siguiendo el curso del río hacia abajo, y sobre el camino que conduce de Patlanalá a Barranca Grande, se descubren en el flanco izquierdo las calizas cretácicas que contienen numerosos fósiles y coronadas por corrientes eruptivas. Desde Barranca Grande, el camino que conduce a Cosautlán, Ver., se separa del curso del río Huitzilapa, corta sus afluentes, cuyas direcciones casi paralelas son de W. a E.; éstos nacen entre los contrafuertes orientales del Cofre de Perote. De Barranca Grande a Cosautlán el terreno es accidentado, ocupado por tobas volcánicas y en los arroyos se descubren las corrientes de basalto, derrames del mismo cono volcánico que mencionamos.

Ya que dimos a conocer el corte longitudinal del río Huitzilapa de su nacimiento a Barranca Grande y el corte transversal hecho en Patlanalá, que probablemente define la zona de contacto de las rocas eruptivas terciarias con las sedimentarias de la vertiente del Golfo de México, retrocedamos un poco hacia el W. para presentar un corte transversal al curso del Huitzilapa, entre Chilchotla y el Puente de Quimixtlán (Lám. II-B, Fot. 3.)

Entre Chilchotla y Quimixtlán y sobre la margen izquierda del Huitzilapa, se localiza Chichicahuas, barrio de Chilchotla. Al Norte de este sitio estaba la ranchería de Chicalotla, que fué totalmente destruída por un alud de lodo que siguió al terremoto del 3 de enero. El flanco derecho del cañón o sea el del Sur, es más abrupto y escarpado que el izquierdo o del Norte; en el primero, se asienta el pueblo de Quimixtlán, antiguo centro comercial de importancia, destruído por el terremoto y guarida de bandidos cuando visitamos la región. Por esta última causa no pudimos prolongar nuestro corte transversal hacia el Sur, aunque, como se verá después, la visita a Quimixtlán no era del todo indispensable.

Por el examen del croquis se verá que los basaltos forman el lecho y paredes del cañón del Huitzilapa y soportan las andesitas que fueron el producto de un derrame grueso de lava. Las andesitas se apoyan hacia el Norte

en una roca intrusiva, granitoide, de color muy oscuro por la abundancia de los elementos ferro-magnesianos, muy cristalina y que no contiene cuarzo libre. Contiene feldespato, ortoclasa y cristales muy desarrollados de hornblenda que se dispone en forma radial. Parece ser una *syenita* (clasificación de campo). Las andesitas han sufrido una erosión profunda y han dejado al descubierto la roca intrusiva subyacente.

Desde la angosta y alargada mesa de Xaltepec puede apreciarse la forma en V de la barranca de Atlipixtla, que se orienta de W. a E.

El flanco N. de la barranca, que en este lugar se llama Ocochoacan, forma parte del macizo syenítico que antes cubrieron las lavas andesíticas; este flanco ofrece una pendiente cercana a la vertical. Las "cicatrices" producidas por el terremoto del 3 de enero de 1920, son profundas en esta roca compacta y cristalina, son visibles en una extensión como de 10 kilómetros desde la meseta de Xaltepec. Los derrumbes a que han dado lugar esas cicatrices son muy considerables y comparados con los que hemos examinado en esta región, desde Calixtla, Pue., hasta Barranca Grande, Ver., son los mayores. Actualmente es inaccesible el flanco N. de la Barranca de Atlipixtla o de Ocochoacan, que al Oriente se conoce con el nombre de Ocochochitl, al tributar su caudal de aguas temporales cerca de Patlanalá. El relieve de Ocochoacan, la naturaleza distinta y la edad de las rocas puestas en contacto, el paralelismo que guardan con el thalweg principal de la red hidrográfica y el hecho de observarse en ese sitio los efectos máximos del terremoto sobre el terreno, son circunstancias que nos obligan a asegurar la existencia de una falla en Ocochoacan, que propiamente será *el segmento de una falla periférica con relación al macizo volcánico que forma el Cofre de Perote.*

Por creerlo de utilidad y oportuno, diremos que el señor ingeniero don Ezequiel Ordóñez, clasifica las rocas intrusivas en que descansa la superestructura volcánica del Cofre de Perote como granitos, monzonitas y gabbros.

Si el corte transversal que presentamos en la figura 2 de la Lám. II-B, corresponde a un punto de la zona de contacto de las rocas eruptivas con las sedimentarias, el último tiene la ventaja de haber alcanzado al N. el afloramiento del zócalo de rocas cristalinas en que descansan las corrientes andesíticas, cortando transversalmente la falla de Ocochoacan, en donde la intensidad sísmica del 3 de enero fué máxima. Estamos en condiciones de asegurar que la falla de Ocochoacan ocupa el centro de gravedad de la área pleistósica, tanto por las observaciones hechas en el campo como por los datos sismográficos que dimos a conocer en la segunda parte de esta memoria. Desde este momento debemos conceder a la falla citada un papel sismogénico.

CAPITULO IV

Efectos del temblor en los lugares habitados

Siguiendo en mi descripción el orden del itinerario, principiaremos por San Andrés Chalchicomula, para terminar por Patlanalá. Agregaré después una que otra observación hecha durante un segundo viaje en que tuve el honor de acompañar al distinguido profesor de geofísica de Roma, señor don Emilio Oddone y al señor director del Instituto Geológico de México, ingeniero don Leopoldo Salazar Salinas; este segundo viaje tuvo de duración nueve días, y el recorrido fué de Jalapa, Veracruz, a San Andrés Chalchicomula, Puebla.

1.—SAN ANDRES CHALCHICOMULA, PUE.

Altura sobre el nivel del mar, 2,629 metros. Población, 10,000 habitantes.

Topografía.—La población de San Andrés se encuentra en las últimas estribaciones occidentales del Pico de Orizaba y de la Sierra Negra, en terreno casi horizontal con excepción de la parte oriental de la ciudad, que

es ligeramente accidentado, en el barrio de Cosamaloapan. (Lám. VII-B, Fot. 1.)

Subsuelo.—Arenas volcánicas, tobas basálticas de algún espesor y depósitos eólicos. Las tobas alcanzan en la parte baja del Valle de San Andrés un espesor de 110 metros y descansan sobre el basalto. El subsuelo es poco elástico, deleznable y poco coherente.

Construcciones.—De mampostería de piedra y la mayoría de adobe; antiguas, del tiempo colonial, de un solo piso casi todas. La ciudad cuenta con 8 ó 9 iglesias.

Desperfectos en los edificios.—Fueron de alguna importancia en los templos, se produjeron cuarteaduras en las claves de las bóvedas y en las torres; muchas cuarteaduras en las casas de habitación. No hubo heridos ni pérdidas de vidas a causa de los derrumbes.

La iglesia de Guadalupe, cuya fachada ve al W. presenta una ligera cuarteadura que parte de la clave de la puerta. La torre Sur tuvo cuarteaduras en sus costados N. y S., siguiendo las líneas cruzadas en la clave del segundo cuerpo y la cornisa. La torre del N. presenta la cruz desplomada al E. Las cuarteaduras de la bóveda estaban ya reparadas cuando visité la iglesia; y debo hacer notar, para no repetirlo en lo que sigue, que muchos detalles importantes acerca del efecto del terremoto en los edificios no los pude observar porque se habían emprendido ya las reparaciones o se habían removido de su posición primitiva los escombros y objetos caídos. La iglesia de Guadalupe está cimentada en un cono de deyección de las montañas cercanas al Oriente de la ciudad. (Lám. VII-B, Fot. 2.)

La iglesia de Cosamaloapan, alejada al E. de la ciudad, se asienta sobre tobas, cenizas y arenas volcánicas en una pequeña meseta cortada al N. y al S. por arroyos profundos que descienden al W. del cerro de los Filtros. La fachada ve al W. La cruz central está desviada al SE.; una cuarteadura separa el cuerpo de la torre de la fachada y termina en los cimientos. La cimentación se hizo en terreno incoherente y la construcción se movió durante el temblor como la masa de un péndulo invertido en esa meseta aislada. (Lám. VIII-B, Fot. 1.)

La iglesia de Dolores, cerca del cementerio, demuestra por sus pequeñas cuarteaduras y el desplome de sus cruces, que el movimiento más intenso fué de E. a W. La caída de algunos monumentos en el cementerio no dejaron pruebas claras de la dirección del movimiento; los monumentos son de poca altura y los desperfectos no fueron de importancia.

Un portal del costado S. de la plaza principal fué desplomado y arruinado, cayendo al N.

Carácter del movimiento.—La alarma que produjo fué general. Los habitantes de la ciudad dan detalles acerca de sus impresiones, pero no arrojan luz sobre el verdadero carácter del temblor, están casi de acuerdo en darle una dirección EW., lo que está de conformidad con las observaciones hechas en los edificios. Al proponernos resolver si esta dirección corresponde al primer impulso (onda longitudinal) o a la más impetuosa de las ondas superficiales, nos inclinamos a creer lo segundo; y tendremos oportunidad de fundar nuestro aserto en el capítulo VI.

La duración del movimiento fué sensible para las personas durante 20 segundos. Por lo anterior juzgamos que a esta localidad le corresponde el grado VIII en las escalas de Cancani y de Mercalli, y que equivale al grado IX de la de Rossi-Forel. En otros términos, para San Andrés el movimiento sísmico alcanzó el límite superior de los macrosismos, sin llegar a ser un megasismo. La aceleración que correspondió a la onda máxima, pudo variar entre 250 y 500 milímetros por segundo cuadrado.

En lo sucesivo emplearemos la escala de Cancani, por ser absoluta y perfectamente relacionada con las convencionales de otros autores. Tenemos necesidad de recurrir a una escala absoluta para que esto nos permita calcular la energía del terremoto como lo haremos en lo que sigue.

Los lugares situados en el camino para Saltillo Lafragua: Tlachichuca, Quetzalapan y la Capilla, poco sufrieron con el movimiento: cuarteaduras de poca importancia en las casas de un piso y de antigua construcción. En la hacienda de Huecapa, la construcción sufrió un poco más. Puede asignarse a estos lugares el grado VI de la escala de Cancani.

2.—SALTILLO LAFRAGUA, PUE.

Altura sobre el nivel del mar, 2,775 metros. Población, 2,000 habitantes.

Topografía.—El pueblo actual tuvo por origen una pastoría que fué fundada hace 40 años al Oriente del lugar que hoy ocupa, que es una cañada orientada de E. a W., que desciende del espolón montañoso y se desprende del Pico de Orizaba hacia el Norte. Esta cañada desciende hasta Huecapa, futuro asiento del pueblo de Saltillo, pues en vista de la ruina que guarda han decidido sus laboriosos vecinos edificar sus moradas en la llanura, en donde el pueblo se levantará sobre un suelo compacto, coherente; haciendo uso de construcciones asísmicas, según los proyectos presentados por la comisión de ingenieros de Puebla, y se acercará a las vías de comunicación. (Lám. VIII-B, Fot. 2.)

Subsuelo.—Tobas volcánicas, arcillosas, poco elásticas para transmitir el choque sísmico y con la pendiente propia de los terrenos que cubren las laderas.

Construcciones.—La calle principal que se orienta de E. a W. contaba con edificios de mampostería de piedra (buena construcción). La mayoría está formada de casas de "tapia" o de adobe, cercanas a la ladera pendiente del cerro de Enmedio; del lado opuesto la topografía del poblado es la misma. Al Oriente existe el barrio pobre de la población con sus modestas casas de madera, "jacales," y fué el que menos sufrió.

Ruinas de los edificios.—Las casas arruinadas del centro se mantienen en pie, presentando sus fachadas el engañoso aspecto de haber sufrido poco, pero sus interiores están en completa ruina, quedaron inutilizadas. El corte de la figura 4, Lám. II-B., da una idea de la topografía de Saltillo Lafragua, de la distribución de sus construcciones y de los desperfectos que sufrieron. Las casas de la línea fueron destruidas, el material cayó al Norte. El cuerpo 2, caído al Norte y al Sur. Los 3 y 4 con desplomes al Norte. El bloque de casas número 5, bastante bien conservado, dada la intensidad del terremoto, aunque con cuarteaduras peligrosas. Número 6, con desplomes y derrumbes de las partes altas hacia el Sur, y convertidas en ruinas del lado Norte, es decir, del lado del arroyo, cuyos bordes sufrieron agrietamientos y despedazamientos de las tobas y aun de las rocas de basalto. (Fotografía 1. Lám. IX-B.)

Las modestas habitaciones del grupo 7, corrieron la misma suerte que las del 1. Estos hechos son instructivos y los habíamos observado con motivo del terremoto de Acambay: primero, la topografía local, facilitando el desplazamiento en los terrenos blandos y el subsuelo poco elástico, contribuyeron a aumentar la magnitud de la catástrofe; segundo, las construcciones en retaje o en escalera están en condiciones de resistir favorablemente un terremoto; y tercero, las construcciones en las cercanías de los arroyos son arruinadas. La casa del señor Perfecto Rojí, (Lám. IX-B, Fot. 2) pertenecía al grupo 6. La esquina SW. de la casa fué destruída, la fachada muy desplomada al Sur y hacia el mismo rumbo, cayeron la cornisa y el viento de la fachada. (Lám. X-B, Fots. 1 y 2). La parte posterior y el interior se convirtieron en ruinas y allí encontraron la muerte siete personas.

Se observaron desplomes en que los techos cayeron dentro de las habitaciones y los muros fueron derruidos en la parte más alta, como si los muros se hubiesen separado durante el movimiento oscilando con distintos períodos.

La iglesia de Saltillo quedó destruída, la fachada y frente del atrio

miran al W. y cayeron parcialmente en esta dirección. La bóveda de ladrillo cayó en su totalidad; la torre de nueva y magnífica mampostería de piedra, cayó al NW. (Lám. XI-B, Fots. 1 y 2). El acueducto tiene un rumbo medio de EW., construido de mampostería de piedra en casi toda su longitud, sufrió fracturas en distintos lugares.

Antes del terremoto existían 375 casas, habitadas por 400 familias; después del desastre quedaron habitables 51 casas, de las cuales 4 son de mampostería, 19 son de "tapia" o de adobe (arcilla comprimida dentro de moldes de madera) y 28 "jacales" de madera. Estos últimos se conservaron bastante bien. (Lám. XII-B, Fot. 1). El número de heridos fué de 89 y muertos, también de 80. Las pérdidas materiales se estiman en 420,000 pesos, de los cuales 328,000 corresponden a las construcciones y 38,000 a muebles y mercancías.

Carácter del movimiento.—La dirección fué claramente de Norte a Sur. La duración muy corta (no encontré personas que fijaran la duración sensible). La intensidad puede estimarse dentro del grado X de la escala de Cancani, a que corresponde una aceleración de 1,000 a 2,500 milímetros por segundo cuadrado, es decir, la que produce la ruina casi total de los edificios, grietas en el suelo, pequeños deslizamientos en las pendientes, víctimas numerosas y ruidos subterráneos acompañando al terremoto.

3.—RANCHERIA DE AGUA DE LA MINA

Altura sobre el nivel del mar, 2,960 metros. *Población*, 200 habitantes.

Topografía.—Vertiente W. del Cerro de Toluca, que a 3 km. al E. de Agua de la Mina se eleva a 3,070 metros, este poblado de indígenas ocupa la parte alta del lomerío que desciende a Saltillo.

Subsuelo.—Tobas volcánicas arcillosas y poco coherentes.

Construcciones.—Existían una capilla y dos casas de mampostería; además, 58 jacales de madera.

Destrucciones.—Estas se limitaron a las construcciones de mampostería. Solamente hubo un herido por el derrumbe de un muro.

Carácter del movimiento.—La dirección del choque destructor fué de E. a W.; precedido de fuertes ruidos subterráneos; su duración de 5 seg. y los testigos presenciales dicen que sintieron varias sacudidas violentas de abajo hacia arriba; no es posible asignar los límites de la aceleración en este lugar, porque las destrucciones no nos proporcionaron datos, pero por lo que se ha dicho y aun sin conocer la zona pleistocénica, podemos afirmar que esta ranchería está muy próxima al foco del choque más violento. Le asignaremos el grado IX de la escala de Cancani, en el que la aceleración varía de 500 a 1,000 milímetros por segundo cuadrado.

En el mismo caso de formas de construcción, escasa población y carácter del movimiento, se encontraron las rancherías de Texcalango, Acocomotla y Calixitla. Esas pertenecen a la vertiente oriental del macizo orográfico que ya describimos. La dirección del movimiento en Calixitla fué de E. a W.

4.—CHILCHOTLA, PUE.

Altura sobre el nivel del mar, 2,170 metros. *Población*, 2,163 habitantes.

Topografía.—Un valle erosivo de 180 a 200 hectaras de extensión, ligeramente inclinado al SE., ocupado por tierras fértiles, circundado por los afluentes del Huitzilapa. Las montañas que forman el valle son escarpadas y se disponen en anfiteatro, alcanzando una altura media de 250 metros sobre Chilchotla; las más altas son El Campamento o Cerro de Cacama y El Infernillo, situadas al E. de Chilchotla; y entre los cuales se forma el cañón de Huitzilapa. (Lám. 12-B, Fot. 2.)

Subsuelo.—Tobas volcánicas con un espesor de 10 metros descansando sobre el basalto columnar.

Construcciones.—Una iglesia con muros de mampostería y techo de madera. Algunas casas de madera y muy pocas de mampostería, bajas y con techos ligeros.

Ruinas.—Excepción hecha de los jacales de madera, las construcciones sufrieron demasiado: la iglesia fué destruída, la fachada ve al W. y sufrió un fracturamiento completo. El segundo cuerpo de la torre cayó al NE. (Lám. XIII-B, Fot. 2). Los muros N. y S. en que se apoya el techo tienen una altura de 8 metros y un espesor de 90 centímetros, están desplomados y fracturados horizontalmente en el tercio superior de su altura. Los muros de la sacristía fueron fracturados, desplomados y parcialmente caídos al N. y al E. (Lám. XIV-B, Fot. 2). Las bardas N. y S. del atrio cayeron casi en su totalidad al N. y la del frente al E. (Lám. XIV-B, Fot. 1). Una de las calles orientada de N. a S. presentaba el aspecto de un hacinamiento de ruinas, (Lám. XV-B, Fot. 1). Algunos jacales fueron deshechos por fuertes sacudidas horizontales. El desastre alcanzó aquí su máximo de intensidad, afortunadamente predominaba el número de habitaciones de madera, existían más de 200 casas y quedaron habitables 110. El puente de mampostería sobre el río Huitzilapa, al W. de Chilchotla, no sufrió nada, el eje de las claves tiene el rumbo NW. 70° SE., es decir, casi NS. (Lám. XV-B, Fot. 2.)

Incluyendo el casco de la población, los barrios y las congregaciones de Chilchotla, se contaron 800 personas muertas. La mayoría de las desgracias personales fueron ocasionadas por los derrumbes en los flancos de las montañas y las avalanchas de lodo, bajo las cuales desaparecieron algunos barrios como los de El Calvario y Guadalupe al W. de Chilchotla, y el de Chicalotla, un poco alejado al E. y en las abruptas paredes septentrionales del Cañón de Huitzilapa. Fueron de consecuencias más desastrosas para la vida de los habitantes los efectos geológicos y los cambios operados en el relieve, que la destrucción propia de sus moradas.

Carácter del movimiento.—El fenómeno fué mal descrito por los supervivientes; sin embargo, la dirección de los desplomes y derrumbes en la iglesia y algunas otras construcciones, así como la conservación del puente de Chilchotla, hacen presumir que el choque destructor provino de una dirección cercana al N. NE., y en tal concepto, la onda destructora fué *longitudinal de compresión*, puesto que hemos asignado un papel sismogénico a las fallas periféricas de la margen izquierda del Huitzilapa, y en particular a la *falla de Ocochoacan*. Asimismo, en virtud de haber sido observada la influencia de la longitudinal de compresión en las destrucciones de Chilchotla, podemos afirmar que el hipocentro del terremoto fué poco profundo, casi superficial, carácter que después confirmaremos en el capítulo VI.

Los supervivientes afirman que existieron durante el movimiento breves y violentas sacudidas susultorias. La duración fué muy corta. El fenómeno fué precedido y acompañado de ruidos subterráneos. La intensidad puede estimarse dentro del grado XI de la escala absoluta de Cancani, siendo los límites de la aceleración de 2,500 a 5,000 milímetros por segundo cuadrado.

En el camino entre Chilchotla y Patlanalá, las rancherías de Ahuaxtla, Netquexca y Tototzinque, sufrieron los derrumbes de las montañas o la invasión de la corriente de lodo, según sus posiciones dentro de la gran barranca de Huitzilapa.

Quimixtlán debe haber sufrido los mismos desperfectos observados en Chilchotla a juzgar por su situación dentro del cañón del Huitzilapa, sobre una meseta bastante alta y a 3 km. al S. de la falla de Ocochoacan, aumentadas un tanto las destrucciones por ser numerosas las casas edificadas con mampostería de piedra.

5.—PATLANALA, PUE.

Altura sobre el nivel del mar, 1,610 metros. *Población*, 1,500 habitantes, inclusive las rancherías, congregaciones y barrios de Patlanalá, que pertenecen al Municipio de Quimixtlán.

Topografía.—Valle erosivo en la margen N. del Huitzilapa, cuyo lecho está muy bajo con respecto al poblado, este valle es menos extenso que el de Chilchotla. (Lám. XVI-B, Fot. 1.)

Subsuelo.—Andesita.

Construcciones.—Una iglesia, una casa municipal, algunas casas de mampostería y de adobe, en el centro de la población, y el resto, casas de madera.

Ruinas.—La iglesia quedó destruída, la fachada que miraba al W. cayó en esa dirección; el ciprés cayó al E., los muros laterales están desplomados al N. y al S., amenazaban caer de un momento a otro. El curato, cuyas dependencias se apoyaban en el muro S. de la iglesia, fué totalmente destruído. (Lám. XVI-B, Fot. 2). La barda N. del atrio fué derribada totalmente al S. y la del W. hacia el E. Una caseta de madera que se encontraba al N. del atrio, construcción ligera, cuyas armaduras se orientan de N. a S., fué desviada notablemente al W. en conjunto; safándose las espigas de los pies derechos de las cajas de las soleras sobre las que descansaba la caseta. (Lám. XXI-B, Fot. 1). Este sismoscopio ocasional acusa un movimiento impetuoso del suelo hacia el E. La casa municipal, cuya fachada daba al E. fué derribada en esa dirección, desplomándose el muro N. hacia afuera. Los muros divisorios libres de carga fueron destruídos. (Lám. XVII-B, Fot. 1). La casa comercial "El Progreso," al W. del templo, presenta la conservación de los muros cargados, que son los del E. y del W., aunque completamente fracturados; los no cargados, destruídos en el tercio superior de su altura por fracturas horizontales. (Lám. XVII-B, Fot. 2). Una pequeña construcción de mampostería de piedra, baja y con techo poco pesado de madera, acusó la existencia de una o varias sacudidas susultorias que produjeron el desmoronamiento de los muros, cayendo el techo en su conjunto al W. del lugar que ocupaba. (Lám. XVIII-B, Fot. 1.)

El casco de la población estaba ocupado por 500 habitantes, de los cuales murieron 40. En las rancherías de Aguacapa, Teapa, Tepectipa, Analco y Tecpatzin, murieron, respectivamente: 90, 100, 10, 14 y 5 personas. De manera es que en una comarca que contaba con 1,500 pobladores murieron 259. Aguacapa quedó reducida a la mitad de su población. En Teapa, de 107 personas, sobrevivieron 7.

Como en Chilchotla, las desgracias personales se debieron en su mayor parte a los derrumbes en las montañas y a la inundación de lodo del Huitzilapa y de sus afluentes en las cercanías de Patlanalá.

Carácter del movimiento.—Es muy confusa la descripción del fenómeno hecha por los vecinos. Parece lo más probable que hubo una sacudida de N. a S. seguida de otra más violenta de E. a W. y después varias sacudidas susultorias. Las destrucciones se debieron esencialmente a una onda longitudinal de compresión que no podemos asegurar si fué la primera que emergió del hipocentro.

El terremoto fué acompañado de fuertes ruidos subterráneos. La duración no fué mayor de 4 seg., según el decir de los testigos. La intensidad puede clasificarse dentro del grado XI de la escala absoluta de Cancani.

En los poblados de Tocigüi y Huaxcaleca, al E. de Patlanalá, los desastres producidos por el terremoto fueron considerables y las pérdidas de vida fueron ocasionadas por los derrumbes en las montañas. Tocigüi contaba con 740 habitantes, murieron 21 y hubo 9 lesionados; en Huaxcaleca vivían 1,000 personas y murieron 12.

6.—AYAHUALULCO, VER.

Consignaré aquí algunos datos referentes a este pueblo, por creerlos de interés, advirtiendo, desde luego, que no visité Ayahualulco, que esta información que merece crédito, se la debo al señor ingeniero F. López, a quien conocí en Cosautlán, y que venía de Ayahualulco. La fotografía rela-

tiva. (Lám. XVIII-B, Fot. 2), la debo a la bondad del señor don Carlos Zahn, de San Andrés Chalchicomula, y representa la calle principal de Ayahualulco.

La iglesia tiene su fachada al W., fué fracturada y desplomada; el ciprés cayó al W. y el muro posterior al E. El sagrario, construído a espaldas de la iglesia, tuvo derrumbes al E. Las torres sufrieron desperfectos considerables en las claves de los costados N. y S. y se desplomaron. Fueron derribadas 20 casas de mampostería de piedra. La dirección de la onda destructora parece haber sido cercana de EW. La duración del movimiento nos es desconocida. La intensidad puede estimarse dentro del grado X de la escala de Cancani, dado el aspecto general de la calle principal.

7.—CAMUXAPA, VER.

Este pequeño rancho está al N. del Río Huitzilapa, a 1,410 metros sobre el nivel del mar, en la cuesta del mismo nombre y en el camino de Patlanalá a Barranca Grande. No pude adquirir informaciones en este lugar de tránsito; pero la inspección de una casa semidestruída proporcionó algunos datos: los muros cayeron al SE. Un techo que apoyaba libremente sobre una columna baja de mampostería, se deslizó hacia el S. 60° E., lo que demuestra que el coronamiento de la columna fué desalojado al N. 60° W. y por eso el movimiento más enérgico del suelo fué al NW., puesto que la altura de la columna, 1.80 M., hace pensar que fué transportada paralelamente a su posición primitiva sin oscilar sobre su base.

8.—BARRANCA GRANDE, VER.

El poblado de este nombre fué arrasado por la inundación de lodo que siguió al terremoto. Ocupaba un ensanchamiento del cauce del Huitzilapa, esto es, uno de los pequeños valles erosivos que ya describimos, a 1,035 M. sobre el nivel del mar.

Al ampliarse la sección del canal en que se movía la gigantesca masa de lodo que ocupaba el Cañón del Huitzilapa, bajó la altura de la corriente y disminuyó su velocidad, pero no en tal medida que se conjurara la catástrofe: el pueblo fué arrancado de su asiento y sepultado por el lodo. El río fijó posteriormente su cauce al Sur de su antiguo canal. En el cauce actual se pueden ver las lozas y ladrillos que formaban los pavimentos de las habitaciones destruídas. En este lugar, aguas abajo de la confluencia del arroyo de Ixhuacán, se recogieron 600 cadáveres; es de creerse que no todos estos eran de vecinos de Barranca Grande, sino que muchos fueron traídos por la gran corriente del Huitzilapa y de sus afluentes de muy distintos lugares y que al disminuir la velocidad por el aumento de la sección transversal, fueron depositados. Solamente se salvó la parte alta de la población, que está construída al Norte, sobre la margen izquierda del río y 40 metros sobre el cauce actual. Por el estado de las construcciones puede asegurarse que la intensidad del terremoto, en sí mismo, no pudo haber causado el desastre tan lamentable para este poblado; éste se debió a la inundación de lodo. La dirección y duración del movimiento no nos son desconocidas. Puede dárseles la intensidad que corresponde al grado X de la escala de Cancani.

CUADRO GENERAL DEL CARACTER DEL TERREMOTO

Localidad	Dirección	Intensidad	Duración	OBSERVACIONES
San Andrés Chalchicomula.....	E. W.....	VIII	20 seg.....	Cuartheaduras.
Huecapa.....	.....	VI	.....	Cuartheaduras.
Saltillo Lafragua.....	N. S.....	X	Muy corta.	Ruinas, muertos, heridos y ruidos subterráneos.
Agua de la Mina.....	E. W.....	IX	5 seg.....	Ruinas, precedido de ruidos subterráneos.
Calixtitla.....	E. W.....	IX-X	.....	Derrumbes en las montañas.
Chilchotla.....	N. NE. - S. S. W.	XI	Muy corta.	Ruinas, derrumbes en las montañas, aparición de manantiales, muertos y heridos, ruidos subterráneos.
Patlanalá.....	E. W.....	XI	Muy corta.	Ruinas, derrumbes en las montañas, inundación de lodo, ruidos subterráneos, muertos y heridos.
Ayahualulco, E. de Ver.....	E. W.....	X	.....	Ruinas.
Camuxapa, Ver.....	N. 60 W.....	X-XI	.....	Ruinas.
Barranca Grande.....	.....	X	.....	Inundación de lodo y destrucción parcial de la parte alta.

CAPITULO V

Efectos del temblor sobre el terreno

La circunstancia de ser poco poblada la comarca más conmovida, la superficie relativamente pequeña que alcanza la isoseista X; y la costumbre de los pobladores de construir sus habitaciones de madera, contribuyeron a que los efectos del terremoto sobre los poblados no hayan alcanzado la magnitud que era de esperarse, dada la energía cinética desarrollada por el terremoto. Los efectos en el terreno son los mejores testigos de la violencia del sacudimiento, fueron considerables y superan en mucho a los del mismo carácter observados en ocasión del terremoto de Acambay, Estado de México en 1912. El relieve contrastado de la región pleistocénica del 3 de enero de 1920 basta por sí mismo para aumentar los efectos geológicos del terremoto; ya se ha visto que en países semejantes no es necesaria la presentación de un movimiento sísmico para que se produzcan las denudaciones de los flancos de las montañas, es suficiente a veces una precipitación pluvial intensa para producir el fenómeno.

Los efectos geológicos ocurridos los clasificaremos en cinco grupos: grietas, derrumbes en las montañas, alumbramientos de aguas subterráneas, inundación de lodo en los thalwegs y hundimientos locales posteriores al terremoto.

1.—GRIETAS

Se produjeron de preferencia en las fuertes pendientes, siguiendo la dirección de una cresta o arista montañosa o las márgenes de un arroyo. No fueron numerosas, sino en la zona entre Patlanalá y Barranca Grande, sea porque muchas de ellas abiertas en terreno blando (tobas y coraza vegetal) hayan

cedido y desaparecido proporcionando desde luego el material que se deslizó al fondo de los arroyos, sea porque fueron cubiertas con la inundación de lodo. Las grietas más notables fueron: la del cerro de "Enmedio" al S. de Saltillo Lafragua. (Lám. XIX-B, Fot. 1.) Su rumbo medio es de EW. su abertura variable entre 8 y 30 centímetros, el desnivel de sus bordes 30 centímetros, ocupa la parte alta del cerro y no se prolonga más de 300 metros.

En el cerro del Campamento o de Cacama, al NE. de Chilchotla, en la mesa que corona el cerro, se produjo otra grieta de los mismos caracteres que la descrita en primer lugar. Otras grietas paralelas a la principal ocasionaron derrumbes en los flancos del cerro de Cacama, que determinaron una disminución considerable en la anchura de la meseta.

En el camino de Patlanalá a Camuxapa, se observaron agrietamientos semejantes, así como en el Espinazo del Diablo y en La Vigía.

Las grietas no se manifestaron en los valles, sino en la parte alta de las montañas. La constancia de su rumbo (EW.) obedece a condiciones topográficas locales, pero no acusa un accidente tectónico que se haya revelado en la superficie, es decir, se trata de simples agrietamientos y no de dislocaciones sismo-tectónicas.

2.—DESLIZAMIENTOS Y DERRUMBES DE LAS MONTAÑAS

Estos fueron los efectos más notables del terremoto, formaron su característica y seguramente en este sentido sea el primero que registra la historia sísmica de México. Esto nos induce a compararlo a este respecto, con el temblor de Assam, ocurrido el 12 de junio de 1897.

Se produjeron los derrumbes siguiendo el curso del río Huitzilapa, en una región que tiene por límite occidental el W. de Chilchotla y por límite oriental Acantiopa al NE. de Patlanalá, es decir, dentro del territorio político del Estado de Puebla. En su gran mayoría se presentaron en la margen izquierda del Huitzilapa y en los arroyos afluentes que recibe el río por su izquierda. La región de los derrumbes quedó comprendida principalmente dentro de la isoseista XI (Lám. I-B). El material que constituyó los derrumbes fué proporcionado por el despedazamiento del borde o labio inferior de las grietas producidas en los flancos de las montañas y el deslizamiento fué favorecido por la topografía particular de la sierra. No es tarea fácil cubicar el terreno que deslizó y ocupó las depresiones y los thalwegs, es un tonelaje muy considerable; y no hay montaña entre Chilchotla y Patlanalá que no presente las huellas o cicatrices de los deslizamientos.

Con la coraza vegetal que arrastró consigo la vegetación boscosa, fueron deslizadas las rocas que afloraban en las crestas. Estas rocas, conmovidas y fracturadas por el movimiento, se encontraron sin base de sustentación y cayeron a los valles en grandes bloques, como en el Cerro Colorado de Patlanalá. (Lám. VI-B, Fots. 1 y 2) y en Acantiopa, al NE. de Patlanalá.

El derrumbe de Acantiopa es uno de los más considerables y se caracteriza por el gran tamaño de los bloques rocallosos, diseminados en el lodo seco. (Algunos de esos bloques tenían un volumen de 7 metros cúbicos.)

En Ahuautla, al pie del cerro de Acatonal, al N. de Quimixtlán, y sobre la margen izquierda de Huitzilapa, se presentó un deslizamiento de mayores proporciones que el de Acantiopa, los materiales pétreos estaban muy triturados y reducidos a pequeños fragmentos y englobados por el lodo arcilloso endurecido. Hagamos notar que las rocas fragmentadas no eran frescas sino bastante alteradas por el intemperismo, lo que prueba su origen superficial. El trituramiento del material rocalloso se explica por el proceso más fácil: fracturamiento ocasionado por las oscilaciones del suelo que obraban sobre las montañas como sobre edificios aislados y de grande altura, caída de los fragmentos sometidos a fuertes choques de unos contra otros hasta llegar al lugar de su depósito, en donde aún se mueven, de tiempo en

tiempo, hasta definir su ángulo de equilibrio estable. Este fenómeno ocasionaba polvaredas que se levantaban en columnas cuando la atmósfera estaba quieta y que hicieron creer a los habitantes en erupciones y desprendimientos de gases.⁵

No hay que suponer que todo el material triturado sea resultado del trabajo mecánico desarrollado por una falla en acción, aunque sí es de admitirse que la zona fallada abarca una extensión considerable; habiéndose facilitado la trituración de las rocas por la alteración que los agentes atmosféricos han producido sobre ellas.

En el cerro de Teteltitla, al N. de Ocotepc, la inundación de lodo relleno el valle preexistente, gracias al terreno deslizado al S., quedando en lugar de la antigua depresión un montículo de lodo. Siguiendo nuestro camino al N. llegamos a la meseta de Xaltepec, desde donde se observan en una extensión como de 10 km. de E. a W. las cicatrices en el plano de la falla de Ocochoacan, que son las que produjeron la denudación más considerable que puede observarse en toda la región pleistocénica; aquí, además de la corteza vegetal, el esqueleto syenítico del macizo montañoso fué fracturado por el terremoto y el material despedazado fué precipitado a la barranca de Atlipixtla, que al W. se conoce con el nombre de Xelihua y al E. con el de Ocochochitl. (Lám. XXI-B, Fot. 2.)

Debemos hacer notar que los derrumbes y deslizamientos ocurridos dentro de la isoseista XI coinciden más o menos con el eje mayor de esta curva y se presentaron en los flancos meridionales de las montañas, de preferencia a los flancos septentrionales, es decir, los flancos meridionales fueron considerablemente más denudados que los del N.; y sobre la margen derecha del Huitzilapa, del lado de Quimixtlán, apenas se presentaron; esto es lo que se indica en las flechas en la Fig. 3 de la Lám. II—B.

En Calixitla el derrumbe de la parte cortical del cerro de la Fundición (Lámina. XIX, B—2) descubrió las rocas basálticas y provocó el alumbramiento del agua subterránea que circulaba en sus diaclasas. Esta última se observó con suma frecuencia en toda la área que circunscribe la isoseista XI. A la denudación de las laderas siguió el alumbramiento inmediato de manantiales temporales, pero de gasto extraordinario, aun para agotar el contenido de muchos de los receptáculos acuíferos subterráneos. No hay necesidad de recurrir a la hipótesis de una eyección de agua subterránea en cada sitio para explicarse la presencia de lodo en las laderas de las montañas, pues si por *eyección* se entiende la salida del agua subterránea bajo presión, producida por esfuerzos interiores desarrollados en un espacio limitado por paredes impermeables (sinónimo de eyaculación) no puede comprobarse el aserto; y mucho menos generalizar este hecho en una extensión de 70 km. cuadrados, si existieron eyecciones de agua subterránea, es decir, si ésta fué expulsada bajo presión interna, fueron casos aislados locales y no hay manera de señalar en dónde existió una verdadera eyección. El hecho fué que los receptáculos acuíferos, abundantes en las diaclasas de las rocas terciarias de la región (andesitas y basaltos) fueron descubiertos por el terremoto, el agua se precipitó hacia afuera, sin necesidad de suponerle presión hidrostática generada por el trabajo mecánico del terremoto; el agua se mezcló con el material rocalloso desalojado y formó enormes masas de lodo, cuya viscosidad permitió que la mezcla alcanzara la velocidad suficiente para llegar a los arroyos afluentes y al thalweg general del Huitzilapa, sepultando y arrastrando a su paso las habitaciones y los sembrados. (Lám. XIX, B—3). En algunos sitios el trabajo mecánico realizado por las masas de lodo desprendidas en alud hasta alcanzar las partes más bajas, ha dejado huellas especiales que dan al lugar en donde se ha verificado el depósito de la masa lodosa la falsa apariencia de un cráter: las tobas arcillosas, mezcladas con el agua bruscamente puesta en libertad, descubrían en su caída el esqueleto rocalloso de la montaña; y al pie de ésta

quedaba una denudación semicircular que imitaba los restos de las paredes de una chimenea volcánica, el lodo excavaba en virtud de su fuerza viva una extensión de algunos metros cuadrados y se levantaba hacia adelante, por su propia viscosidad, en forma de ola, produciendo un reborde alto y semicircular que al secarse y endurecerse, completaba con la denudación del pie de la montaña la ilusión de un cráter en el espacio que circunscribía. (Lám. XX—B.)

Si no pudimos comprobar las eyecciones de agua subterráneas, menos podemos asegurar si existieron eyecciones de arena en grande escala, pues sólo en el valle de Patlanalá vimos pequeñas grietas, al N. de la laguna, por las que brotó una pequeña cantidad de fina arena. Tampoco tuvimos oportunidad de observar los craterillos de arena que se citan en las obras clásicas, advirtiendo que éstos últimos han sido observados en los valles y no en las regiones montañosas como la que nos ocupa.

3.—MANANTIALES.

Por lo que se ha dicho puede verse que el régimen de circulación de las aguas subterráneas fué alterado profundamente en la área pleistocénica. Esta es una región rica en aguas subterráneas que alimentan las fuentes del río Huitzilapa. Los afluentes de éste son permanentes y el gasto normal del río después del terremoto era de 3.36 metros cúbicos por seg. La precipitación anual en la vertiente oriental de la cumbre "Pico de Orizaba, Cofre de Perote," puede estimarse en 1,000 milímetros de altura. Es seguro que muchos de los receptáculos acuíferos subterráneos fueron agotados bruscamente.

Puede decirse que dentro de la isoseísta IX se observó el enturbamiento de las aguas subterráneas (de Jalapa a Saltillo Lafragua). No hubo manera de comprobar si hubo variaciones en la temperatura de los manantiales. No existían ni existen manantiales termo-minerales en la zona pleistocénica.

Entre el puente de Chilchotla y el paraje de Ocoteme (bis), corre el arroyo de La Fundición, afluente del Huitzilapa, su gasto aumentó después del terremoto según el decir de los habitantes de Chilchotla. Actualmente lleva 200 litros por segundo.

4.—INUNDACION DE LODO.

La consecuencia de los deslizamientos del terreno, de la aparición brusca de manantiales y del relieve topográfico fué el aumento considerable del caudal normal del Huitzilapa, produciéndose una corriente de lodo que todo lo arrasó a su paso. Los derrumbes secos o lodosos formaban diques temporales que detenían el curso del río; pero al fin cedían al impulso de la corriente o bien se movían animados por su propia velocidad si así lo permitía la viscosidad del lodo. La invasión del lodo no fué de una sola vez; hubo inundaciones intermitentes y en distintos tiempos creció su intensidad; esto sucedía cuando eran arrastrados los obstáculos interpuestos.

No puede hacerse el estudio mecánico de esta corriente extraordinaria porque se desconocen los coeficientes prácticos de viscosidad y rozamiento de esa masa en movimiento; y los demás datos del problema son tan burdamente aproximados que no puede obtenerse por el cálculo el conocimiento del gasto, impulso y energía de la corriente.

Esta masa pastosa se movió sin obedecer a las leyes de la hidráulica: formó oleajes debidos a su viscosidad y al aumento de caudal que recibía de los diques arrastrados o de nuevas avalanchas laterales que se precipitaban por los flancos del cañón. En los codos de éste, la masa lodosa no presentaba una superficie libre horizontal, alcanzaba mayor altura del lado externo del codo que del interno (diez metros más o menos); y frecuentemente se levantaba en aquél bajo la forma de ola, dejando sus huellas sobre

la vegetación arborescente a más de 60 metros sobre el nivel propio de la inundación. Esto significa que la fuerza centrífuga tenía una marcada influencia y que el lodo era bastante fluido para obedecer a la trayectoria tangencial. No sería difícil demostrar por el cálculo que la energía empleada por la corriente, en la unidad de superficie, para destruir las habitaciones de Barranca Grande fué una mínima parte de la que necesitó la misma corriente para vencer los obstáculos que interceptaban su paso en los tramos estrechos del cañón del Huitzilapa.

Aguas abajo del puente de Quimixtlán la sección transversal ocupada por el lodo fué un trapecio cuyas dimensiones aproximadas son: base inferior, 10 metros; base superior, 80 metros; altura, 65 metros. Después de algunos días del terremoto, el río de Los Pescados llevaba aguas turbias hasta su desembocadura en La Antigua, Golfo de México.

5.—HUNDIMIENTOS LOCALES.

(Lám. 1—B.) Posteriormente al temblor se han verificado hundimientos locales en Ayahualulco y en Ixhuacán. No podemos decir si estos cambios en la topografía de la región fueron ocasionados o coincidieron con algún choque sísmico o si ocurrieron sin que éste se presentara. Lo cierto es que son de gran significación para fundar algunas de nuestras conclusiones.

El primer hundimiento ocurrió en la última decena del mes de marzo de este año. Los trabajadores del campo en las cercanías de Ayahualulco se dieron cuenta de él mientras se entregaban a sus labores. No se precisa la forma ni las dimensiones del hundimiento. Solamente se dice que fué seguido de ruidos subterráneos, probablemente ocasionados por derrumbes parciales en las paredes del hundimiento.

El señor ingeniero don Rubén Bouchez, encargado de la Estación Sismológica Provisional de Jalapa, Ver., tuvo la bondad de comunicarme que del 4 al 10 del mes de julio de este año, ocurrió un hundimiento a 2 km. de Ixhuacán; el señor Bouchez gestionó ante el Gobernador del Estado de Veracruz que se hiciera una visita de inspección al lugar señalado, y el resultado lo transcribo en seguida:“me trasladé al lugar donde ocurrió el hundimiento, el cual se encuentra a 20 km. de Cosautlán, y a 2 de Ixhuacán, a 60 metros al S. del camino, en un sembrado de maíz por el que atraviesa un arroyo que interrumpió su curso por el hundimiento, haciendo que las aguas de aquél caigan a una profundidad de 18 metros; su forma interior es cónica y sus paredes están constituidas por rocas; parece que su asiento está falso y el agua que constantemente cae dentro, tiene corriente interior; su diámetro mide 30 metros y su abertura es casi circular; fué levantado con brújula y cinta.”.El ayudante de ingeniero, Othoniel Aquirre (Firmado). Cosautlán, Ver. 24 de julio de 1920. (Acompaña el señor Bouchez su carta del plano levantado por el señor Aquirre.)

La aparición de estos fenómenos es muy instructiva para dar mejor idea de la región conmovida y confirman la relación que, según nosotros, guardan entre sí los accidentes sismo-tectónicos que se disponen en torno del Cofre de Perote.

Estos hundimientos son netamente tectónicos y han ocurrido en terrenos volcánicos terciarios, son inconfundibles con los hundimientos que corresponden a las cavernas en los países calizos o “kársticos,” (usamos esta denominación porque pertenece a la terminología físico-geográfica y está aceptada por las autoridades en la materia.

Estos fenómenos geológicos observados en Ayahualulco y en Ixhuacán, acusan el afallamiento característico de un *campo de asentamiento normal*.

El sabio geólogo Ed. Suess, refiriéndose al sistema de fallas que se presentan en un campo de esa naturaleza, dice:“Las fallas radiales cortan a las periféricas separando dovelas trapezoidales que se mueven independientemente; hacia el centro se forman cuñas triangulares que dan na-

cimiento a hundimientos particulares, localizados, circulares, angulosos o irregulares."... Los hundimientos mencionados se han presentado en la proximidad de la isoseísta X, al N. de la área circunscrita por la isoseísta XI y ocupando un lugar intermedio entre el epicentro del terremoto y el centro geométrico del campo de afallamiento o sea el vértice del Cofre de Perote.

CAPITULO VI

Resultados de las observaciones macrosísmicas

Hasta ahora nuestro trabajo ha sido puramente descriptivo, hemos procurado presentar los diversos fenómenos ocurridos en la zona pleistóséistica del 3 de enero tales como fueron observados; una que otra vez hemos hecho razonamientos para definir las causas de algunos de ellos; o bien se ha insistido en algunos detalles importantes para que al final de nuestro estudio no nos sea difícil el paso de nuestras propias observaciones al establecimiento definitivo de nuestras conclusiones.

Con el material de datos que ya conocemos se pueden plantear los problemas que debe resolver el sismologista, a saber: construcción de las isoseístas en el mapa sísmico de la región, cálculo de la profundidad del foco o hipocentro, cálculo de la energía cinética desarrollada por el terremoto, e interpretación de la dirección de las ondas destructoras en cada localidad.

I.—ISOSEISTAS

El trazo de las isoseístas es una de las condiciones principales de un mapa sísmico. Siendo este último el resultado de las observaciones macrosísmicas en la zona pleistóséistica, se notará en nuestra exposición anterior un desorden aparente de ideas al citar a cada momento, cuando lo hemos creído necesario, el mapa sísmico de la Lám. I—B y las propias isoseístas; esto se debe a que no hemos querido desligar la presentación de ciertos fenómenos y la extensión que abarcaron de las posiciones y dimensiones de estas curvas; y de esta manera justificamos que el trazo de ellas no es arbitrario.

Como siempre sucede en casos semejantes, la construcción de las isoseístas está sujeta a un coeficiente de incertidumbre por los medios defectuosos de observación en el campo y por la falta absoluta de observaciones sismométricas instrumentales dentro de la área megasísmica. Se procuró, sin embargo, que su construcción no fuese arbitraria, así hemos obtenido (Lám. 1—B) curvas que se separan mucho de los círculos y de las elipses teóricas tan comunes en los trabajos sismológicos antiguos en que se carecía de observaciones macrosísmicas suficientes. La observación fué el fundamento exclusivo de la construcción de las curvas y ya veremos que satisfacen perfectamente a la ley mecánica de la conservación de la energía.

Su forma tiene semejanza con la huella de un pie humano, especialmente la IX y la X; y recuerdan la forma de las isoseístas del temblor del Valle Imperial de California del 22 de junio de 1915, estudiado por Carl. H. Beal, en cuyo mapa sísmico, la falla de San Jacinto es una línea axial de las isoseístas. El profesor F. Omori encuentra una curva semejante al trazar el área de percepción de los ruidos y detonaciones producidos en las erupciones del Asama-Yama (Erupción del 31 de mayo de 1909). Dentro de esta área acústica marca con puntos los sitios en que se percibieron con mayor claridad las detonaciones. El mayor número de puntos está en la parte ensanchada de la curva; lo que para nosotros significa, y así lo interpretamos,

que: ya se trate de vibraciones que provengan de un accidente tectónico o de un aparato volcánico en actividad, las isoseístas y las iso-acústicas se separan de la forma elíptica, si entran en acción simultánea o sucesiva varios segmentos de falla, en el primer caso, o varios focos de explosión, en el segundo.

Las isoseístas del temblor del 3 de enero se alargan de E. SE. a W NW., y son ligeramente cóncavas hacia el Cofre de Perote. Las IX, X y XI, fueron trazadas con los mejores datos; en cuanto a la VIII, nos parece un tanto arbitraria, aunque liga puntos de donde se recibieron noticias y próximamente marca el límite del fenómeno sentido como fuerte macrosismo sin llegar a ser megasismo; para la construcción de las curvas exteriores no tenemos datos, hasta llegar a la III. (No figura en el mapa sísmico I—B.) Por los telegramas recibidos en la Estación Central de Tacubaya, pasa por Veracruz, Tecamachalco, Tehuacán, Teotitlán, Cuicatlán, S. Jerónimo, Otumba, México, Tacubaya, Calpulalpan, Huamantla, Tlaxco, Chignahuapan, Tetela, Zacatlán, Huauchinango y Tuxpan. Esto significa que fué débilmente sentido en los Estados de Veracruz, Puebla, Oaxaca, Tlaxcala, México y Distrito Federal, señalándose así el límite externo de la área macrosísmica. El cuadro siguiente da idea de la extensión de estas curvas y de sus constantes, que en lo que sigue nos van a ser de utilidad. La columna 5.^a del cuadro contiene las relaciones del cuadrado de la longitud de la curva a su área efectiva; y se verá que de la III a la X, esta relación es casi constante, siendo su promedio 19.4 veces, lo que es indicio de proporcionalidad entre las magnitudes comparadas, cualquiera que sea la isoseísta que se considere. Las superficies fueron determinadas por medio de un planímetro polar de Amsler, repitiendo las medidas y promediando los resultados. Los desarrollos fueron medidos con curvómetro.

CURVA	Area en Km. ²	Longitud Km.	Cuadrado de la longitud	Relación $\frac{L^2}{S}$
XI.	70.8	41.2	1697.4	26.8 veces.
X.	433.6	96.0	9216.0	21.2 „
IX.	955.2	140.0	19600.0	20.5 „
III.	77200.0	1130.0	1276900.0	16.5 „

Del examen de este cuadro se deducen estas otras relaciones:

Sup. III, \geq 1090 veces Sup. XI. Sup. IX, \geq 2 veces Sup. X. Sup. X, \geq 6 veces Sup. XI.

El área epicentral, circunscrita por la isoseísta XI, es pequeña si se compara con sus similares en ocasión de otros sacudimientos terrestres; desde este punto de vista el terremoto que nos ocupa es comparable con el de Kangra, ocurrido el 4 de abril de 1905, y estudiado por Middlemiss. Después encontraremos otro punto de contacto entre los mismos fenómenos sísmicos, por lo que se refiere a su sismogenia.

El área macrosísmica es apenas $\frac{1}{2,574}$ de la superficie territorial de nuestro país. Es fácil convencerse de que las isoseístas se aproximan unas a otras al N., NW. y W., es decir, hacia el macizo montañoso y se separan entre sí al S., SE. y E. Por lo cual, asimilando las isoseístas con las isohipsas de un relieve topográfico cualquiera, diríamos que la "pendiente sísmica" es mayor hacia el Cofre de Perote que al S. del curso del río Huitzilapa, esto es, al N. decreció rápidamente la intensidad del movimiento hasta su extinción no lejos del epicentro, mientras al S. y al E. decreció con lentitud; como si las ondas se propagaran mejor en estas últimas direccio-

nes. Estas condiciones particulares de la propagación de las ondas gravitacionales sirven al sismólogo para definir la parte del accidente tectónico que se movió durante el terremoto, según veremos después.

2.—PROFUNDIDAD DEL HIPOCENTRO

La construcción de las isoseistas es de grande utilidad para resolver con su auxilio los otros problemas que hemos mencionado al principio de este capítulo.

La profundidad del hipocentro puede ser determinada por el método de Dutton. Si construimos "la indicatriz," es decir, la curva cuyas abscisas son las distancias de las isoseistas al epicentro (Falla de Ocochocan) y por ordenadas las intensidades correspondientes a cada curva, expresadas en milímetros por segundo cuadrado, encontraremos dos cosas: 1.^a, que la indicatriz no sería la misma en todas direcciones al rededor del epicentro; obtendríamos tantas curvas distintas, aunque todas de la misma familia, cuantos planos secantes verticales hiciéramos pasar por el epicentro. 2.^a, que todas estas curvas presentarían como característica común la de tener su punto de inflexión en la ordenada que correspondiera a la intensidad de la isoseista IX, por ser en ella en donde comienza a decrecer la "pendiente sísmica" con verdadera lentitud. Conocida ya el área de esta curva, buscaremos el radio del círculo equivalente; y substituyendo su valor en la ecuación del Mayor Dutton:

$$q = r\sqrt{3} \dots \dots \dots (A);$$

en la que q es la profundidad del foco y r el radio del círculo equivalente, ambas expresadas en km., resultará:

$$\text{Area} = 955.2 = \pi r^2,$$

de donde:

$$\begin{aligned} r &= 17.4 \text{ y substituyendo en (A):} \\ q &= 30.1 \text{ km.} \end{aligned}$$

Esta distancia vertical la atravesarían las ondas longitudinales en un tiempo máximo de 5 segundos. Aunque esta profundidad no es exagerada si se compara con las de su misma especie, calculadas para otros terremotos, no nos satisface, porque siendo el área epicentral pequeña, la profundidad focal correspondiente debe ser también pequeña, conforme a los principios axiomáticos de Von Lasaulx. Además, la estructura interna que consideramos como causa sismotectónica de este terremoto es poco profunda. Dutton considera que de 20 a 25 millas en adelante, o sea 40 kilómetros como máximo, deben rechazarse los resultados que se refieren a profundidades focales. Pero algunos autores sostienen la tesis de que abajo de 10 kilómetros las condiciones físicas de la corteza terrestre no permiten la existencia de fracturas; y por tanto, no descienden a esa profundidad las dislocaciones sismogénicas que afectan la superficie de la tierra.

3.—ENERGIA DEL MOVIMIENTO

Desde que la sismología entró en el campo de la observación y de la experimentación, hubo de adquirir el carácter de cuantitativa; pero siendo de orden tan complejo los fenómenos que estudia, el análisis matemático es insuficiente muchas veces para darnos idea de ciertas magnitudes sísmicas, si queremos que éstas sean absolutas y se expresen en términos de una unidad escogida de antemano. Uno de los problemas más escabrosos, por la incertidumbre de sus resultados, es la medida de la energía radiante en el caso de un temblor de tierra. La intensidad de un temblor se considera

proporcional a la aceleración máxima de la partícula terrestre, en un lugar determinado, considerado aisladamente; y esta es la base de las escalas de intensidad ya conocidas; pero la energía cinética total o radiante, desarrollada por un terremoto es el trabajo que consume la masa puesta en movimiento para generar ondas de tipo armónico. Un mismo terremoto puede ser altamente destructor en la zona epicentral y aun en la megasísmica y a la vez poner en libertad una pequeña cantidad de energía cinética total; o inversamente, en una extensión en donde los efectos del terremoto no sean desastrosos, puede haberse librado una energía muy considerable. Entre la intensidad de un terremoto y la energía sísmica existe la misma diferencia que entre la iluminación o alumbramiento y la energía total que emite un foco luminoso, tales como se interpretan estas magnitudes en fotometría.

El examen de las ecuaciones del movimiento armónico simple nos vencerá de la imposibilidad de calcular, la mayoría de las veces, la energía cinética, de una manera directa; efectivamente:

$$v = \frac{2\pi a}{t} \dots\dots\dots (1);$$

$$f = \frac{v^2}{a} = \frac{4\pi^2 a}{t^2} \dots\dots\dots (2);$$

$$\text{y } W = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{2\pi a^2 V \cdot m}{t^2} \dots\dots\dots (3).$$

Las (1) y (2) dan la velocidad y la aceleración del movimiento vibratorio en un lugar en que se han medido la amplitud *a* y el período *t* de la onda máxima (medidas hechas sobre el sismograma). En el área macrosísmica ya hemos dicho que no se obtuvo la medida de estas magnitudes. La ecuación (3) da la energía cinética que pasa por el plano paralelo al frente de la onda por unidad de superficie y en la unidad de tiempo, en un medio elástico cuya densidad o masa específica es *m*, siendo *V* la velocidad de transmisión de la onda. Suponiendo que conociéramos *a* y *t*, no podríamos calcular a *W* sino cometiendo errores muy grandes, porque asignaríamos a *V* y a *m* valores arbitrarios. Tenemos que recurrir a métodos indirectos para estimar la energía relativa del terremoto del 3 de enero.

La primera tentativa para medir la energía radiante en un medio elástico, fué de Lord Kelvin. Después, T. C. Mendenhall, J. Milne, R. de Kövesligethy y Harry Fielding Reid se han ocupado de la energía sísmica. Milne considera que las áreas de las isoseístas, son proporcionales a la energía librada por el terremoto.

Debemos decir que conforme a la ley de la conservación de la energía, la que atraviesa todas y cada una de las isoseístas, es la misma, en otros términos: las áreas son inversamente proporcionales a las intensidades, y por tanto, a las aceleraciones. En efecto, si en la ecuación (3) reconocemos que interviene la aceleración y sustituimos su valor que da la (2), resultará:

$$W = \frac{1}{2} f \cdot a \cdot V \cdot m \dots\dots\dots (4).$$

Es decir, la energía es proporcional a la aceleración y a la amplitud. Para nuestro caso particular hemos llegado a la misma conclusión después de la construcción de nuestro mapa sísmico, sin prejuicio de ninguna especie; en efecto, hemos interpretado estos resultados construyendo las gráficas 1 y 2 de la Lám. III—B en la primera, las abscisas son las aceleraciones en milímetros por segundo cuadrado y las ordenadas, los desarrollos lineales de las isoseístas en kilómetros. En la segunda, las ordenadas son

las áreas de las isoseístas en kilómetros cuadrados. Refiriéndonos a la última, podemos comprobar que sensiblemente, las áreas son inversamente proporcionales a las intensidades; es decir:

$$\text{Area} \times \text{Intensidad} = \text{Constante} \dots \dots \dots (5).$$

Por lo cual la gráfica es, dentro de los límites de las isoseístas III y X, aproximadamente una hipérbola equilátera. Lo que está de acuerdo con las leyes de la física, pues haciendo uso del lenguaje que se emplea en la Teoría del Potencial, diríamos que *el flujo sísmico que parte de un foco de vibraciones es constante*. Pero si por nuestras observaciones macrosísmicas y por su interpretación geométrica hemos llegado a esta ley general, que comprueba la construcción de nuestras isoseístas como la más probable, no por eso hemos resuelto el problema que nos propusimos. Para ello hay que recurrir a un método indirecto, éste es el de H. Fielding Reid. Para calcular la energía sísmica determina el cuadrado de la longitud de la isoseísta III, escogiendo esta curva porque marca el límite de percepción del movimiento para el hombre, y por tanto, su trazo es más fácil que el de las otras, su forma menos irregular, y en ella han emergido las ondas mejor diferenciadas que en las curvas interiores. Después, fundándose en que los cuadrados de las longitudes de la isoseísta III para dos terremotos son directamente proporcionales a sus respectivas energías, escoge el terremoto de California del 15 de abril de 1906, cuya energía fué cuidadosamente determinada (1.75×10^{24} ergs), habiendo sido 10,800,000 kilómetros cuadrados, el cuadrado de la longitud de la isoseísta III; y con estos valores calcula la energía relativa de cualquier terremoto, haciendo uso de la proporción:

$$\frac{L_1^2}{L_2^2} = \frac{\text{Energía}_1}{\text{Energía}_2} \dots \dots \dots (B)$$

Por lo demás, el método de H. F. Reid está de acuerdo con las conclusiones de Milne, que compara las áreas de la misma isoseísta en dos terremotos. En el caso del 3 de enero, la columna 5.ª de la página 94 indica que ambos métodos son semejantes.

La isoseísta III del terremoto del 3 de enero no tuvo una forma regular que siquiera se aproximara a la de una elipse, el cuadrado de su longitud es 1,276,900 kilómetros cuadrados. Haciendo uso de la (B), encontramos para el terremoto del 3 de enero de 1920:

$$\text{Energía} = 0.21 \times 10^{24} \text{ ergs} \dots \dots (6).$$

Este resultado coloca al terremoto mexicano en la lista de las catástrofes sísmicas más recientes, como superior a los de la isla de Ischia del 4 de marzo de 1881 y del 28 de julio de 1883 y al de Costa Rica del 4 de mayo de 1910 e inferior al de Messina del 28 de diciembre de 1908 y a los de San Francisco California de 1906, de Mino-Owari, de Charleston, de Lisboa y otros. Sin embargo, fué catastrófico en la área epicentral.

La energía del terremoto de Messina fué 2.7 veces mayor que la que libró el terremoto de Puebla y Veracruz.

4.—DIRECCION DEL MOVIMIENTO

Las direcciones observadas en cada localidad de la área megasísmica constan en la Lám. I—B; si por un momento nos imaginamos que desaparecen las isoseístas trazadas en el mapa sísmico, la divergencia de las direcciones marcadas por las flechas, produciría a primera vista la confusión más completa, tan cerca se encuentran una de otra dos direcciones que difieren entre sí más o menos 90°. Pero si relacionamos las flechas con el

trazo de las isoseístas, esa confusión momentánea desaparecerá y concluiremos algo útil. (No olvidando la influencia que tienen en la dirección observada la elasticidad del subsuelo, la topografía local, y principalmente, la mezcla de ondas sólidas de naturaleza distinta que emergieron dentro del área megasísmica.)

En las cercanías del epifoco se mezclan las ondas longitudinales, transversales y superficiales, pero dada la velocidad mayor de las primeras, emergerán en primer término y serán las más violentas dentro de la isoseísta XI. Las direcciones del movimiento en Chilchotla y Patlanalá correspondieron a las ondas longitudinales, son *casi normales a la isoseísta XI*; por la caída de edificios (torre de Chilchotla); la conservación de construcciones en orientación favorable (puente de Chilchotla); y la deformación permanente de algunas estructuras (caseta de madera en Patlanalá), puede asegurarse que el movimiento del suelo dentro de la isoseísta XI fué *desde el epifoco*, es decir, *externo* (onda de compresión). Esto significa que el foco principal del sacudimiento fué muy superficial, según las conclusiones del profesor F. Omori. En los intervalos X—XI y IX—X, y al N., NW., W. y SW., esto es, en donde las curvas se aproximan entre sí, encontramos que las direcciones son aproximadamente paralelas a la tangente a la isoseísta en cada localidad: Ayahualulco, Agua de la Mina, Saltillo Lafragua y Camuxapa. Podemos decir que en estos lugares emergieron las ondas transversales como más enérgicas que las longitudinales. Hacia el Oriente de la zona megasísmica, en donde las curvas se separan por un decrecimiento lento de la intensidad, como si hubiera sido más fácil la propagación del movimiento vibratorio en ese sentido, las direcciones se aproximan más a la normal que a la tangente de las isoseístas en cada lugar, es decir, las ondas longitudinales llegaron a la superficie con gran violencia para dejar huellas de su dirección: Teocelo y Jalapa. En Cosautlán influyó la accidentada topografía de sus contornos. En San Andrés Chalchicomula las ondas que afectaron la estabilidad de las construcciones fueron superficiales o gravitacionales.

Se desprende de lo expuesto, que con datos más abundantes y observaciones cuidadosas en el intermedio de las curvas IX y III, que no exploremos, se hubiera podido fijar de una manera más completa el carácter del terremoto en lo que se refiere a la propagación de las ondas y definir la longitud de onda que correspondió a las vibraciones de las 3 fases; porque acerca de esto sólo contamos con el dato sismométrico de la Estación Central de Tacubaya que da la longitud de las ondas de la primera fase, como vimos en la segunda parte de esta memoria.

CAPITULO VII

Consideraciones dinámicas acerca del terremoto. Sismogenia.

“Conviene ser particularmente prudente al tratar de razonar sobre la naturaleza de los temblores de tierra.”
Ed. Suess.

Solamente con el fin de presentar un conjunto más o menos completo del fenómeno sísmico del 3 de enero, nos vemos en la necesidad de entrar en el terreno de las conjeturas acerca de la causa que lo produjo. No intentaremos relacionar este fenómeno con la tectónica general del país, pues estos trabajos sintéticos son peligrosos y demandan de parte del que los ejecuta muy profundos conocimientos. Creemos que sujetándonos a nuestras observaciones macro y microsísmicas y al rápido reconocimiento que pudimos hacer en el terreno, nos será fácil llegar a inferir las causas del terremoto, explicando el mecanismo del movimiento en una forma demasiado simple y concreta.

El aspecto fisiográfico de la región dijimos que revela un caso típico de topografía sísmica: los alineamientos orográficos se suceden paralelamente de Norte a Sur entre el Cofre de Perote y el Cañón de Huitzilapa, desde Chilchotla a Patlanalá, formando un conjunto que si se secciona verticalmente por un plano que pase por el Cofre de Perote, cualquiera que sea el azimut del plano, su intersección con el terreno será el zig-zag vertical de los dientes de una sierra y en los senos de este perfil dentado se alojan el Huitzilapa y sus afluentes.

La red hidrográfica se localiza en antiguas fracturas de las andesitas, hoy profundizadas hasta descubrir el basalto columnar que forma el basamento del Cofre de Perote. Los derrames de lavas terciarias cubrieron los sedimentos cretácicos plegados que descubrimos en Patlanalá, en donde el cañón del Huitzilapa es más profundo.

Todo este edificio descansa sobre la infra-estructura de syenitas, gabros y granitos que afloran en donde la erosión de las aguas corrientes ha profundizado demasiado las fracturas de las andesitas. (Barranca de Atlixpíxtla, Lám. II—B, 3). Entre estas fracturas que se orientan de E. a W. y de NE. a SW., en torno del Cofre de Perote, existen fallas como la de Ocochochocan (Lám. XXI—B, 2); el bajo de esta falla normal está constituido por las rocas intrusivas cristalinas (syenitas); su echado es casi al S.; y el alto lo forman las andesitas que ocupan una grande área en la región pleistocénica.

Los cambios del relieve ocasionados por el terremoto fueron profundos en Ocochochocan, los de más importancia entre todos los observados; tanto que por su magnitud nos vimos imposibilitados para calcular la profundidad del foco por el método del señor ingeniero Loperfido; porque este método supone que los cambios en las coordenadas absolutas de un punto del relieve topográfico sean diferenciales, cosa que no sucedió ni en el accidente sísmico-tectónico ni en sus cercanías. La línea de falla de Ocochochocan coincide con el eje mayor de la isoseísta XI (Lám. I—B).

El movimiento vibratorio que se originó en el plano de falla de Ocochochocan se propagó con libertad, decreciendo lentamente al S. de la falla y se extinguió rápidamente al N., lo que significa que el bloque de la corteza puesto en movimiento pertenece al alto de la falla de Ocochochocan.

Las observaciones sismográficas han revelado que no hubo del primero de noviembre de 1919 al cinco de enero de 1920, migración del foco; esto individualiza la dovela que se movió en dos períodos de inquietud sísmica, correspondiendo al terremoto del día 3 de enero iniciar el segundo período.

La dovela no es de grandes dimensiones lineales, porque la proyección horizontal de la línea de falla que entró en actividad, mide 45 km. (más o menos la mitad de la que correspondió a la falla de Acambay-Tixmadejé del Estado de México, descubierta en 1912). Esta dimensión ha sido deducida de los intervalos L—P de los choques anteriores y posteriores al terremoto, según los registros de la Estación Central; los intervalos oscilan entre 22 y 28 segundos y los choques provienen del E. de Tacubaya.

Las dimensiones verticales del accidente tectónico son pequeñas:

- 1.º, por las áreas relativamente reducidas de las isoseístas centrales;
- 2.º, por las huellas que dejó el terremoto dentro de la isoseísta XI de que el primer impulso fué compresional externo;
- 3.º, por su rápida extinción macrosísmica, no dejándose sentir el movimiento sino en la parte oriental de nuestro país;
- 4.º, por no haber accionado los sismógrafos de las estaciones extranjeras a más de 4,000 km. del epifoco.

La falla de Ocochochocan pertenece a un segmento de falla periférica de las que bordean el flanco N. del Cañón de Huitzilapa, formando poligonales cóncavas hacia el Cofre de Perote, centro común de estas poligonales más o menos irregulares. La existencia de estas fallas periféricas se revela: 1.º, por la fisiografía de la región, y 2.º, porque la línea axial de las isoseístas es curva y vuelve su concavidad hacia ese centro. La presencia de fallas

periféricas con respecto a un centro común supone necesariamente el sistema conjugado radial:

1.º Por la experimentación, que nos ha demostrado que si una masa sufre la contracción molecular hasta perder su cohesión en torno de un núcleo que sea más resistente o más tardío para sufrir el fracturamiento, aparecerán ambos sistemas de fracturas periférico y radial en torno de ese punto. Estos resultados pueden conseguirse por la desecación de una masa pastosa, por hundimiento lento del núcleo en una masa más o menos plástica o por hundimiento gradual de la periferia al centro.

2.º Los hundimientos locales de Ayahualulco e Ixhuacán, citados en el Capítulo V, atestiguan que la región está francamente dividida en dovelas que aisladas del conjunto se mueven con independencia en ese campo reticular de fracturas.

Es, por tanto, la región que visitamos un campo de dislocación que ha producido períodos de sismicidad como el del 3 de enero y que producirá nuevos sacudimientos.

El sabio geólogo. Ed. Suess llama a estas regiones "*campos de dislocación por asentamiento o hundimiento*" y dice: "No hay en este grupo de dislocaciones de que voy a tratar ninguna huella de impulso activo dirigido de *arriba hacia abajo*. Cuando faltan los movimientos tangenciales, las dislocaciones existentes se explican fácilmente por *una flexión del soporte y por la gravedad*: todo lo que se observa se reduce a formas diversas de asentamientos y hundimientos pasivos; se conserva la impresión de que *la componente vertical obra en la profundidad como si llegara a crear abajo de una cubierta superficial vacíos* que permitieran a las dovelas de esta corteza el hundimiento. Se distinguen en un campo normal de asentamiento: fallas periféricas, radiales, diagonales y transversales."

Es decir, que el asentamiento no implica la existencia de vacíos interiores que vienen a ser ocupados por las capas superiores, esta idea es demasiado vulgar, pero ya se ve que es suficiente la *flexión del soporte* para que la super-estructura se disloque y fraccione en dovelas limitadas por fracturas radiales y periféricas.

Hemos observado muy recientemente en pequeña escala, que no se necesita del *vacío inferior* para que un macizo superior se disloque y fracture. Habiendo cedido el soporte, el fenómeno se ha producido: un muro de adobe sin cimientos y cargado, descansaba sobre una capa de arcilla, que las lluvias humedecieron hasta ponerla plástica, el soporte cedió porque la capa inferior no era compresible y el muro fué arruinado bruscamente.

En vista de las ideas anteriormente expuestas y concretando nuestra conclusión podemos decir que: *una flexión del soporte cretácico en que descansan los derrames volcánicos terciarios de la base del Cofre de Perote, ha producido un campo de afallamiento radial y periférico, dentro del cual se encuentra la zona epicentral del 3 de enero de 1920.*

El accidente sismo-tectónico es visible en la superficie del terreno (falla de Ocochococan) y coincide como en el terremoto de Kangra con el contacto de las rocas eruptivas terciarias y las intrusivas cristalinas.

El terremoto del 3 de enero fué de dislocación o estructural, independiente de toda acción volcánica.

La zona epicentral pertenece a la vertiente oriental de la Sierra Madre Oriental, muy cerca de los límites de la Mesa Central Mexicana, y ocurrió en un terreno ocupado por rocas eruptivas terciarias y pleistocenas. No guarda relación aparente con ninguno de los sistemas de fallas que han sido considerados como sismogénicos en ocasión de otros temblores mexicanos de epifoco continental.

La presentación del fenómeno que estudiamos, se agrega a la lista de temblores mexicanos, cuyos epifocos se han localizado en la parte central de nuestro país sin pertenecer al geo-synclinal circumpacífico. La zona de frecuencia sísmica tan elevada que bordea el litoral de los Estados de Mi-

choacán, Guerrero y Oaxaca, ha cedido en los últimos diez años su importancia sísmica a una faja continental que parece estar comprendida entre los paralelos 19° y 20° y está jaloneada afortunadamente por puntos escasos. Efectivamente, el 7 de junio de 1911 un megasismo conmovió el país, su epifoco estuvo situado en Jalisco y sus coordenadas $= 19^{\circ}$ N. y $\lambda = 103^{\circ}$ W. de Greenwich fueron determinadas por los métodos de Klotz y de B. Galitzin. Vinieron en seguida los temblores de Guadalajara en 1912, y al final de ese año los terremotos de Acambay, Estado de México, producidos por una falla normal de rumbo EW., que coincide, aproximadamente, con el paralelo 20° .

Los ríos de Lerma y de las Balsas, que pertenecen a la vertiente del Pacífico, parecen limitar por el Norte y por el Sur esta zona transversal de sismicidad. Dentro de esta zona están las fallas en escalera del valle de Morelia. Ya hemos indicado en otro estudio el origen probablemente tectónico de los lagos de Pátzcuaro y de Cuitzeo, en el Estado de Michoacán. Las fallas de Tlalpujahua, Mich., quedan dentro de la zona que burdamente delineamos por falta de datos más precisos.

Advertimos que no pretendemos relacionar entre sí las manifestaciones sísmicas citadas ni atribuir las a un mismo accidente tectónico, solamente hacemos resaltar la sismicidad en el centro de nuestro territorio a través de la Mesa Central Mexicana.

Tacubaya, D. F., 15 de agosto de 1920.

Heriberto Camacho.