

GEOFISICA INTERNACIONAL

REVISTA DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, AUSPICIADA POR EL INSTITUTO DE GEOFÍSICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Director: Julián Adem

Subdirector: Manuel Maldonado-Koerdell

Vol. 1

México, D. F., 1º de Enero de 1961

Núm. 1

INTRODUCCION

Al crear esta nueva Revista, destinada a publicar artículos y notas originales de Geofísica, se intenta incrementar el uso del idioma español como medio de expresión en esta rama de la Ciencia. El carácter bilingüe de GEOFISICA INTERNACIONAL, además, servirá para acrecentar el intercambio de ideas entre países de habla española y el resto del mundo, aumentando, por lo tanto, las posibilidades de difusión del material publicado.

Esperamos, pues, que GEOFISICA INTERNACIONAL rinda servicio a los geofísicos de países de habla española interesados en que sus trabajos lleguen a una gran cantidad de investigadores que no leen esa lengua. Asimismo, trabajos de geofísicos de países no hispanos podrán ser más accesibles al ya numeroso grupo de investigadores de habla española.

INTRODUCTION

In creating this new journal, dedicated to the publication of original articles and notes in Geophysics, an attempt is made to increase the use of Spanish as means of expression in this branch of science. The bilingual character of GEOFISICA INTERNACIONAL will also help to augment the exchange of ideas between Spanish-speaking countries and other parts of the world.

We hope, then, that GEOFISICA INTERNACIONAL will be of service to Spanish-speaking scientists who wish to reach a wider range of readers, who do not use that language. Conversely, works of non Spanish-speaking geophysicists will be more accessible to the increasing number of research workers of Spanish language.

LA UNION GEOFISICA MEXICANA

El 15 de Noviembre de 1960, en la sala de conferencias del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, con asistencia de unos 50 especialistas en diversas ramas geofísicas fue creada la UNION GEOFISICA MEXICANA. Esta nueva organización dedicará sus esfuerzos a la coordinación y estímulo de las investigaciones geofísicas en México y colaborará con organizaciones extranjeras e internacionales que tengan los mismos fines. Entre otras actividades, la Unión Geofísica Mexicana publicará GEOFISICA INTERNACIONAL, así como un Boletín de Información como órganos propios.

La Mesa Directiva de la Unión Geofísica Mexicana está formada por las siguientes personas, que durarán en funciones hasta 1963:

<i>Presidente:</i>	Julián Adem, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Primer Vice-Presidente:</i>	Antonio García Rojas, Petróleos Mexicanos, S. A.
<i>Segundo Vice-Presidente:</i>	Ernesto Domínguez, Instituto de Meteorología Náutica.
<i>Secretario General:</i>	Manuel Maldonado-Koerdell, Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
<i>Tesorero:</i>	Hermínio Cepeda, Instituto de Geofísica, UNAM.

Vocales:

<i>Geodesia:</i>	Manuel Medina Peralta, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Geomagnetismo y Aeronomía:</i>	Anselmo Chargoy, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Sismología:</i>	Jesús Figueroa Abarca, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Oceanografía Física:</i>	Gordon Groves, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Hidrología:</i>	Alfonso de la O. Carreño, Secretaría de Recursos Hidráulicos.
<i>Meteorología:</i>	Pedro Mosiño, Instituto de Ciencia Aplicada.
<i>Vulcanología:</i>	Federico Mooser, Instituto de Geología, UNAM.
<i>Geoquímica y Geocronología:</i>	Rafael Molina Berbeyer, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Espacio Exterior</i>	Ricardo Monges López, Instituto de Geofísica, UNAM.

También se acordó nombrar *Presidente Honorario de la Unión Geofísica Mexicana* al Ing. Ricardo Monges López.

THE MEXICAN GEOPHYSICAL UNION

The MEXICAN GEOPHYSICAL UNION was created on November 15, 1960, in the Lecture Room of the Institute of Geophysics of the National Autonomous University of Mexico, before some 50 specialists in diverse geophysical sciences. This new organization will devote its efforts to the coordination and stimulation of geophysical studies in Mexico, and will collaborate with foreign and international organizations pursuing similar aims. Among other activities, the Mexican Geophysical Union will publish *GEOFÍSICA INTERNACIONAL* as well as a *Bulletin of Information* as means of diffusion.

The Directive Board of the Mexican Geophysical Union, whose term will expire in 1963, is formed by:

<i>President:</i>	Julián Adem, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>First Vice-President:</i>	Antonio García Rojas, Petróleos Mexicanos, S. A.
<i>Second Vice-President:</i>	Ernesto Domínguez, Instituto de Meteorología Náutica.
<i>Secretary General:</i>	Manuel Maldonado-Koerdell, Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
<i>Treasurer:</i>	Herminio Cepeda, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Members:</i>	
<i>Geodesy:</i>	Manuel Medina Peralta, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Geomagnetism and Aeronomy:</i>	Anselmo Chargoy, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Seismology:</i>	Jesús Figueroa Abarca, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Physical Oceanography:</i>	Gordon Groves, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Hydrology:</i>	Alfonso de la O. Carreño, Secretaría de Recursos Hidráulicos.
<i>Meteorology:</i>	Pedro Mosiño, Instituto de Ciencia Aplicada.
<i>Vulcanology:</i>	Federico Mooser, Instituto de Geología, UNAM.
<i>Geochemistry and Geochronology:</i>	Rafael Molina Berbeyer, Instituto de Geofísica, UNAM.
<i>Outer Space:</i>	Ricardo Monges López, Instituto de Geofísica, UNAM.

It was also approved that Ing. Ricardo Monges López be named *Honorary President of the Mexican Geophysical Union*.

*TECTONICA PENECONTEMPORANEA A LO
LARGO DE LA COSTA MEXICANA DEL
OCEANO PACIFICO **

F. MOOSER ** y M. MALDONADO-KOERDELL ***

A mediados del siglo pasado, Alejandro von Humboldt (1867) expresó la idea de que la gran concentración de volcanes a lo largo del paralelo 19° lat N, a través de México, se debía a una fractura mayor de la corteza terrestre. Unos cien años más tarde, las investigaciones hechas en el Océano Pacífico por geólogos de la Institución Scripps de Oceanografía probaron concluyentemente la existencia de tal fractura que continúa fuera del continente en el Océano Pacífico por la Zona de Fracturamiento Clarión. A la luz de esos resultados, las Islas Revillagigedo representan los picos salientes de enormes complejos volcánicos que se elevan abruptamente desde profundidades de 4,000 metros dentro de la zona mencionada y que son comparables a los gigantes volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl en el territorio mexicano.

En el curso de esas investigaciones oceanográficas de la Scripps se descubrió que la Zona de Fracturamiento Clarión no es una zona única de debilidad en el fondo del océano, sino que existen varias zonas paralelas, más o menos equidistantes unas de otras, hacia el norte y el sur de la Zona de Fracturamiento Clarión. Con este conocimiento, los científicos postularon la idea de que el origen de esas zonas paralelas de debilidad a lo largo del fondo del Océano Pacífico está directamente relacionado con la bien conocida Falla de San Andrés, la cual se extiende a lo largo de la costa norte-americana del Pacífico.

El presente trabajo tratará de establecer lo siguiente:

1) que la Zona de Fracturamiento Clarión, en su prolongación continental, muestra características tectónicas que

* Trabajo presentado al Congreso Oceanográfico Internacional, Nueva York, 1959. Recibido el 10. de Agosto de 1960.

** Investigador Científico, Instituto de Geología, Universidad Nacional de México, D. F.

*** Investigador Científico, Instituto Nacional para la Investigación Científica, México, D. F.

*PENE-CONTEMPORANEOUS TECTONICS
ALONG THE MEXICAN PACIFIC
OCEAN COAST **

F. MOOSER ** y M. MALDONADO-KOERDELL ***

Toward the middle of the last century, Alexander von Humboldt (1867) expressed the idea that the great concentration of volcanoes ou parallel 19° across Mexico was due to a major fracture in the earth's crust. A hundred years later investigation made in the Pacific Ocean by geologists of the Scripps Institution of Oceanography proved conclusively the existence of such a fracture, which continues far out into the Pacific Ocean in the Clarion Fracture Zone. In the light of these results, the Revillagigedo Islands represent the jutting peaks of enormous volcanic complexes which rise abruptly from depths of 4,000 meters over the mentioned zone, and are comparable to the volcanic giants Popocatepetl and Iztaccihuatl on the Mexican land-mass.

In the course of these oceanographic investigations by Scripps, it was discovered that the Clarion Fracture Zone is not a unique zone of weakness in the ocean bottom, but that several parallel zones exist at more or less equal distances from each other to the north and south of the Clarion Fracture Zone. With this knowledge, scientists postulated the idea that these parallel zones of weakness along the Pacific Ocean bed are directly linked in origin to the well-known San Andreas Fault, which extends along the North American Pacific Coast.

The present paper will attempt to establish the following:

1) That the Clarion Fracture Zone, in its continental prolongation, displays tectonic characteristics which indi-

* A paper presented to the International Oceanographic Congress, New York, 1959. Received on August 1, 1960.

** Scientific Investigator, Institute of Geology, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F.

*** Scientific Investigator, National Institute for Scientific Research, México, D. F.

indican su mecanismo de formación original y revelan sus movimientos horizontales actuales.

2) que el sistema de la Falla de San Andrés, que hasta hoy se suponía que terminaba en algún lugar del Golfo de California, en realidad se divide y extiende hacia el sur por varias prolongaciones geológicas y morfológicas bien marcadas mucho más allá de los límites anteriormente definidos.

3) que esas dos fracturas mayores se formaron por la misma presión endogénica terrestre, difiriendo solamente en el grado de desarrollo y edad.

4) que ambas, la Zona de Fracturamiento Clarión y la Falla de San Andrés, así como la Trinchera de Acapulco en la costa sur de México están sujetas a una fuerza tectónica común que determina los rasgos de su comportamiento en el territorio mexicano.

A. DISTRIBUCION DE VOLCANES

Los volcanes cuaternarios de México están distribuidos, en gran parte, a lo largo de dos alineamientos principales (Fig. 1): 1) la Faja Volcánica Transmexicana, la cual se extiende aproximadamente a lo largo del paralelo 19° lat N de oeste a este y que contiene, entre otros, los gigantescos volcanes de Colima, Tancítaro, Ajusco, Popocatepetl, Iztaccihuatl, la Malinche y el Pico de Orizaba; 2) un alineamiento con manifestaciones volcánicas prolíficas (a la que se llamará Línea San Andrés-Chapala), empezando en Baja California y extendiéndose hacia el sur a lo largo del Golfo de California para derivar hacia el interior de la costa occidental de México, a la altura del Estado de Nayarit, al norte de la Faja Volcánica Transmexicana. A partir de esta intersección, dicha fractura continúa hacia el sureste, donde sus principales elementos incluyen, entre otros miles de manifestaciones volcánicas, los volcanes de Tequila, Sangangüey y Ceboruco, el Lago de Chapala formado por un *graben*, los conos cineríticos de la parte norte del Valle de México y el Cofre de Perote. La fractura, finalmente, corta la costa del Golfo de México, al norte del puerto de Veracruz, desapareciendo hacia el mar aproximadamente a 70 Km al norte de la Zona de Fracturamiento Clarión.

B. CARACTERISTICAS DE LA FAJA VOLCANICA TRANSMEXICANA

La Faja Volcánica Transmexicana tiene una anchura promedio de 25 Km, dentro de la cual se han desarrollado continuamente manifestaciones volcánicas a través del Cuaternario. Se ha llevado a cabo un estudio minucioso de esa Faja, combinado con un levantamiento geológico de detalle, en dos lugares específicos: primero, en la región del Volcán Parícutín, por Howel Williams (1950) y segundo, en la

cate its original formation and reveal its present horizontal movements.

2) That the San Andreas Fault system, thought up to the present to end somewhere in the Gulf of California, in reality splits and extends southward with several marked geological and morphological prolongations far beyond its defined limits.

3) That these two major fractures were formed by the same endogenic terrestrial pressure, differing only in degree of development and age.

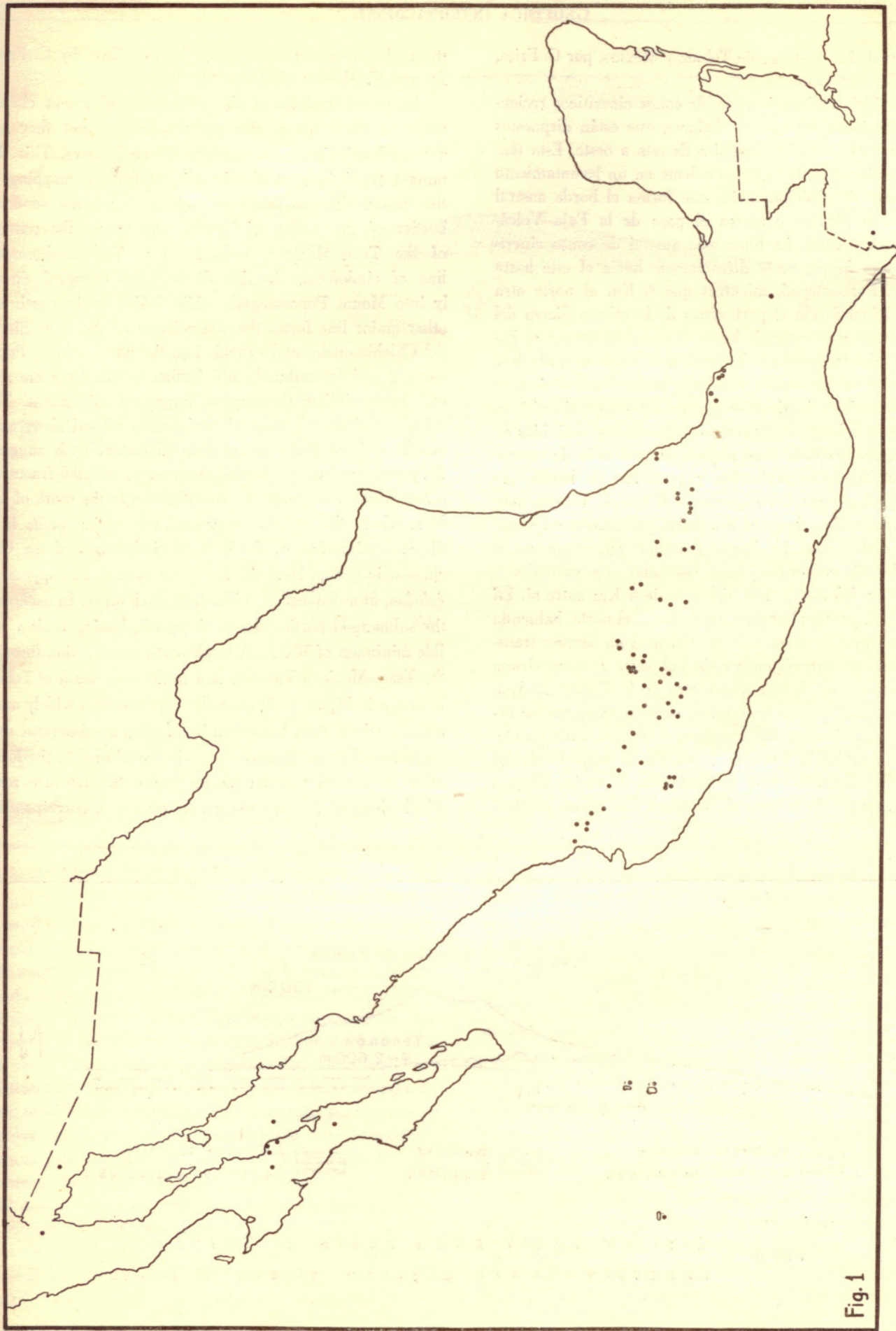
4) That both the Clarion Fracture Zone and the San Andreas Fault, as well as the Acapulco Trench off Mexico's southern coast, are subject to a common tectonic force which determines their patterns of behavior in Mexican territory.

A. DISTRIBUTION OF VOLCANOES.

Mexico's Quaternary volcanoes are distributed for the most part along two major alignments (Fig. 1): 1) the Trans-Mexican Volcanic Belt, which extends roughly along the 19° parallel from west to east and which, contains, among others, the volcanic giants of Colima, Tancitaro, Ajusco, Popocatepetl, Iztaccihuatl, La Malinche, and Pico de Orizaba. 2) an alignment with prolific volcanic manifestations (to be referred to as the San Andreas-Chapala Line) beginning in Lower California and extending southward through the Gulf of California to swing into Mexico's western coast at the height of the State of Nayarit, north of the Trans-Mexican Volcanic Belt. At this juncture the fracture continues southeast, where among thousands of volcanic manifestations its chief features include the volcanoes of Tequila, Sangangüey, and Ceboruco, the *graben* lake of Chapala, the cindercones of the northern Valley of Mexico, and the Cofre de Perote. The fracture finally cuts into the Gulf Coast north of the port of Veracruz, disappearing into the ocean approximately 70 Km north of the Clarion Fracture Zone.

B. TECTONIC CHARACTERISTICS OF THE TRANSMEXICAN VOLCANIC BELT.

The Trans-Mexican Volcanic Belt has an average width of 25 Km, within which volcanic outcrops have continuously appeared throughout Quaternary times. Concentrated study of the Belt combined with detailed geological mapping has been carried out at two specific points: first in the Parícutin region by Howel Williams (1950) and second in



Alignments of Mexican Quaternary volcanoes.

Alineamientos de volcanes cuaternarios mexicanos.

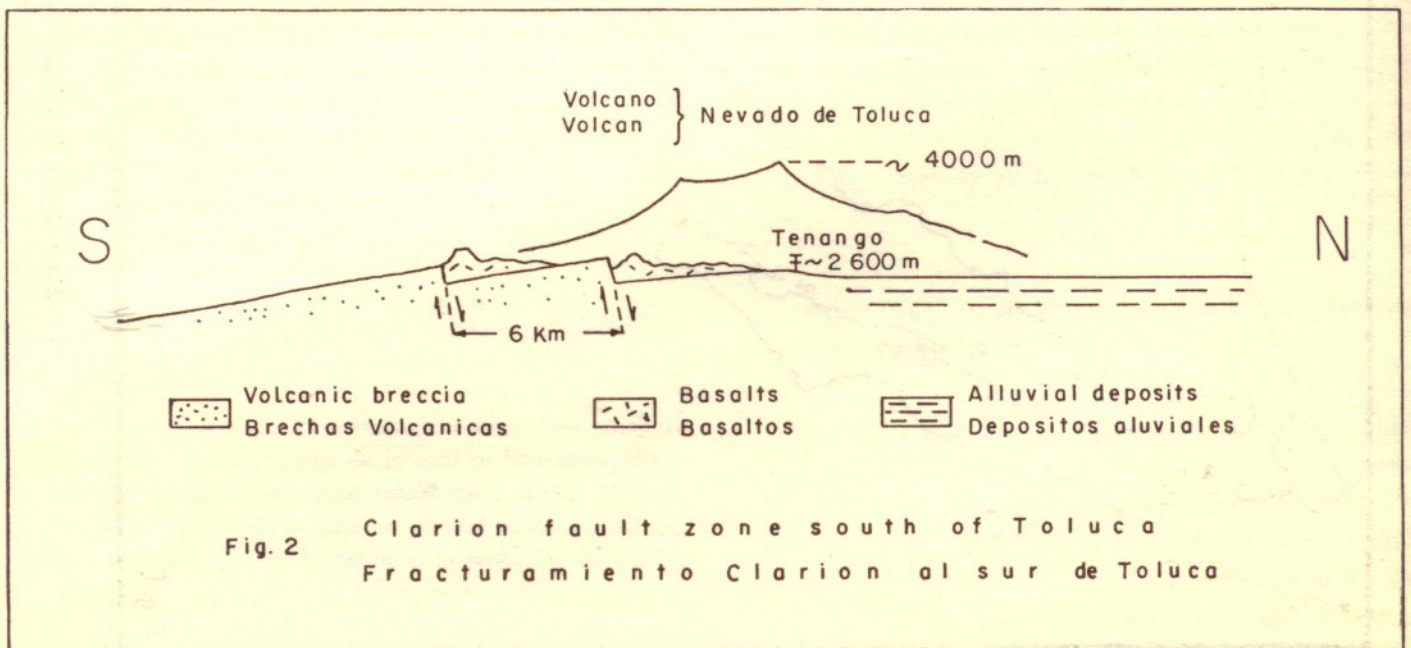
Fig. 1

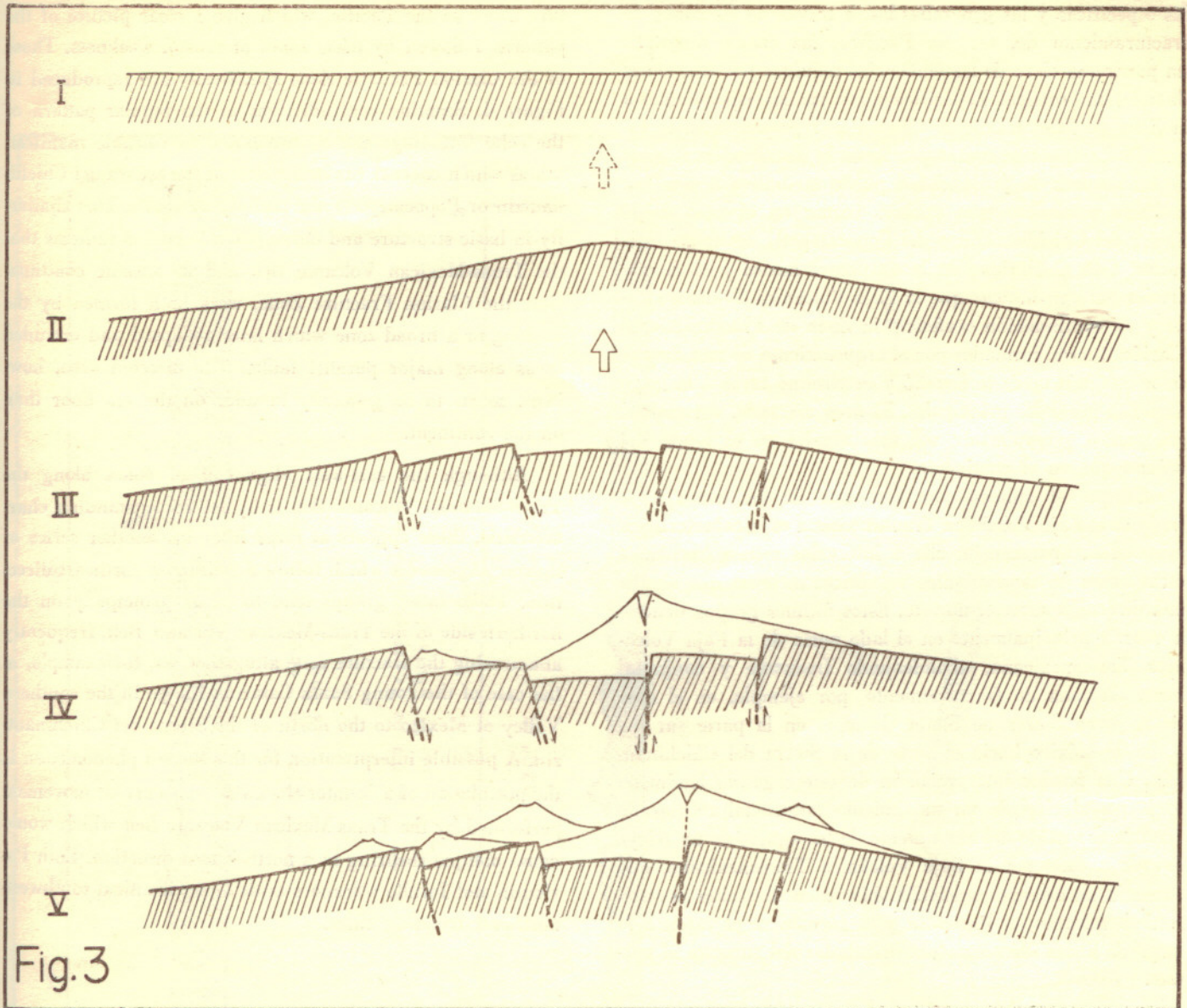
región sur de las ciudades de Toluca y México, por C. Fries, Jr. y F. Mooser (1956).

Del análisis de la existencia de conos cineríticos recientes en esas áreas, los autores deducen que están dispuestos principalmente en series dirigidas de este a oeste. Esta tendencia dominante resulta más evidente en un levantamiento de la Sierra del Chichinautzin, que forma el borde austral del Valle de México y marca el paso de la Faja Volcánica Transmexicana. La línea más austral de conos cineríticos en esta Sierra corre directamente hacia el este hasta el Volcán Popocatepetl, mientras que 6 Km al norte otra línea principal forma el parteaguas de la misma Sierra del Chichinautzin y se extiende hasta el paso que separa el Popocatepetl del Iztaccihuatl. Todavía más hacia el norte hay otros varios alineamientos similares aunque menos importantes. La existencia de esos grupos de conos cineríticos, dispuestos a lo largo de trayectorias claramente definidas de varios kilómetros cada una, sugiere la presencia de correspondientes fracturas profundas y paralelas, un hecho que ha sido probado por investigaciones al sur de Toluca, donde los autores descubrieron dos fallas principales en continuación directa con las líneas de conos cineríticos de la Sierra del Chichinautzin. Aquí las fallas son normales y aparecen *en échelon*, a una distancia de 6 Km entre sí. En cada caso, la porción hundida queda hacia el norte, habiendo bajado un mínimo observable de 100 m. Una sección transversal sur-norte a través de la Faja Volcánica Transmexicana en la zona sur de Toluca se muestra en la Figura 2. Apparently esta sección representa un área ampliamente arqueada cuya cima se ha hundido, causando subsecuentemente una extrusión lenta de lavas. En la mayoría de los casos el hundimiento causó la formación de varios bloques paralelos dentro de la zona de fractura, los cuales descien-

the region south of Toluca and Mexico City, by C. Fries, Jr. and F. Mooser (1956).

From an analysis of the occurrence of recent cindercones in these areas, the authors deduce that they are arranged principally in east-west-directed series. This dominant trend is most clearly evident from a mapping of the Sierra del Chichinautzin, which forms the southern border of the Valley of Mexico and marks the passage of the Trans-Mexican Volcanic Belt. The southernmost line of cindercones in this Sierra runs eastward directly into Mount Popocatepetl; while 6 Km to the north another major line forms the water-divide of the same Sierra del Chichinautzin, and extends into the pass dividing Popocatepetl and Iztaccihuatl. Still further north, there are several other similar though less important alignments. The existence of these groups of cindercones ranged along such clearly defined paths of several kilometers each suggests the presence of corresponding deep-seated parallel fractures, a fact which was proven by investigation to the south of Toluca, where the writers discovered two major faults in a direct continuation of the lines of cindercones of the Chichinautzin group. Here the faults are normal and appear *en échelon*, at a distance of 6 Km from each other. In each case the submerged portion lies to the north, having sunk a visible minimum of 100 m. A south-north cross-section through the Trans-Mexican Volcanic Belt in the zone south of Toluca is shown in Figure 2. Apparently it represents a widely arched area whose apex has caved in, causing a subsequent slow extrusion of lavas. In most cases the cave-in led to the formation of several parallel blocks within the fracture zone, which descend in steps toward its center. A corresponding





Proceso de fracturamiento y vulcanismo.

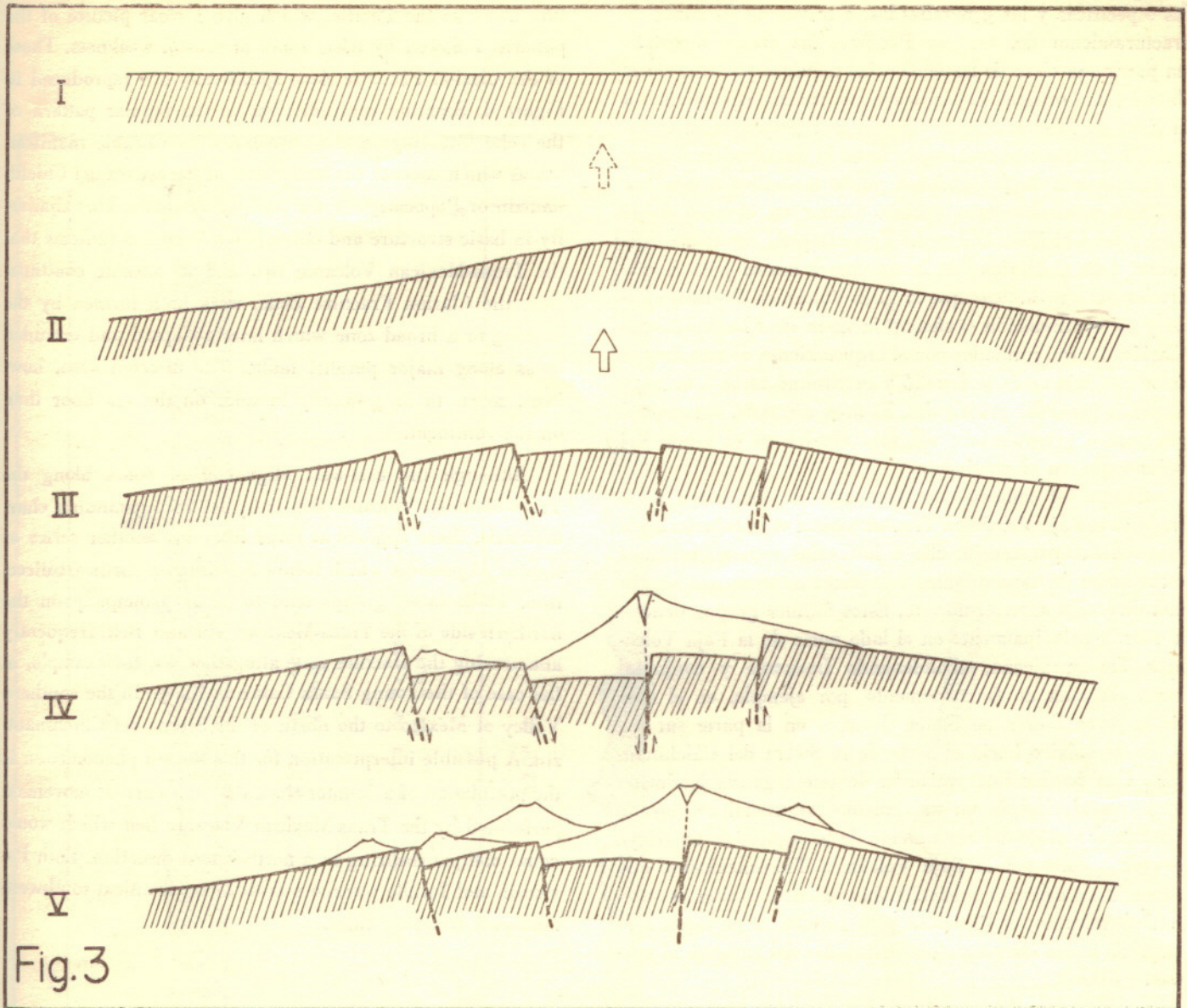
Process of fracturing and volcanism.

den escalonadamente hacia su centro. Puede atribuirse lógicamente una estructura simétrica correspondiente a la parte norte de la zona, no obstante que la evidencia directa ha sido cubierta por las efusiones volcánicas y los rellenos aluviales del Valle de Toluca. Las etapas sucesivas en este proceso —desde un arco a un arco fracturado hasta una zona de fractura cubierta por materiales volcánicos— se muestran en la Figura 3. Por regla general, la ocurrencia de *nuées ardentes*, extrusionadas violentamente en amplias y delgadas capas, parece estar relacionada casi invariablemente al principio del ciclo volcánico, al iniciarse el fracturamiento de la zona arqueada (Tepozteco).

El mismo fenómeno geológico, con su detallado desarrollo subsecuente, se repite con notable similaridad en los ecogramas del fondo del Océano Pacífico, en los lugares correspondientes de la Zona de Fracturamiento Clarión. H. Menard (1955) ha publicado ambas secciones transversales,

symmetrical structure can be logically attributed to the northern part of the zone, although direct evidence has been covered by volcanic effusions, and the alluvial fill of the Valley of Toluca. The successive steps in this process —from an arch to a broken arch to a fracture zone covered by volcanics— are shown in Figure 3. As a general rule, the occurrence of *nuées ardentes*, violently extruded in vast sheet-like layers, seems to be linked almost invariably to the beginning of the volcanic cycle, at the initial breakdown of the arched zone (Tepozteco).

This same geological phenomenon with its subsequent detailed development is repeated with striking similarity in the echograms of the Pacific Ocean bed, where they touch the Clarion Fracture Zone. H. Menard (1955) has published both specific and generalized cross-sections through the frac-



Proceso de fracturamiento y vulcanismo.

Process of fracturing and volcanism.

den escalonadamente hacia su centro. Puede atribuirse lógicamente una estructura simétrica correspondiente a la parte norte de la zona, no obstante que la evidencia directa ha sido cubierta por las efusiones volcánicas y los rellenos aluviales del Valle de Toluca. Las etapas sucesivas en este proceso —desde un arco a un arco fracturado hasta una zona de fractura cubierta por materiales volcánicos— se muestran en la Figura 3. Por regla general, la ocurrencia de *nuées ardentes*, extrusionadas violentamente en amplias y delgadas capas, parece estar relacionada casi invariablemente al principio del ciclo volcánico, al iniciarse el fracturamiento de la zona arqueada (Tepozteco).

El mismo fenómeno geológico, con su detallado desarrollo subsecuente, se repite con notable similaridad en los ecogramas del fondo del Océano Pacífico, en los lugares correspondientes de la Zona de Fracturamiento Clarión. H. Menard (1955) ha publicado ambas secciones transversales,

symmetrical structure can be logically attributed to the northern part of the zone, although direct evidence has been covered by volcanic effusions, and the alluvial fill of the Valley of Toluca. The successive steps in this process —from an arch to a broken arch to a fracture zone covered by volcanics— are shown in Figure 3. As a general rule, the occurrence of *nuées ardentes*, violently extruded in vast sheet-like layers, seems to be linked almost invariably to the beginning of the volcanic cycle, at the initial breakdown of the arched zone (Tepozteco).

This same geological phenomenon with its subsequent detailed development is repeated with striking similarity in the echograms of the Pacific Ocean bed, where they touch the Clarion Fracture Zone. H. Menard (1955) has published both specific and generalized cross-sections through the frac-

las específicas y las generalizadas, a través de las zonas de fracturamiento del Océano Pacífico, las cuales muestran un panorama claro de las tendencias seguidas por esas zonas de debilidad cortical. Específicamente, las correspondientes a la Zona de Fracturamiento Clarión se reproducen en la Figura 4. La aparente contradicción en la distribución regular de los sondeos de profundidad puede atribuirse a manifestaciones volcánicas que ocultan (como en el caso de la Sierra del Chichinautzin o del Popocatepetl) las fallas inferiores. Esta similitud en la estructura básica y en el desarrollo parecen indicar que la Faja Volcánica Transmexicana y su continuación oceánica, la Zona de Fracturamiento Clarión, fueron formadas por el arqueamiento de una amplia zona que más tarde se hundió y extrusionó lavas a lo largo de fallas paralelas principales. El área afectada, sin embargo, parece generalmente ser más amplia en el fondo del océano que en el continente.

Aunque el alineamiento este-oeste de los conos a lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana es la característica primordial, aparecen en ella a intervalos menos frecuentes otras series de alineamientos volcánicos menores que siguen una dirección suroeste-noreste. Estos últimos grupos tienden a ocurrir principalmente en el lado norte de la Faja Volcánica Transmexicana, abandonando frecuente y conjuntamente la zona de fracturamiento, por ejemplo, en el caso de la joven Sierra de Santa Catarina en la parte sur del Valle de México hacia el norte de la Sierra del Chichinautzin. Una posible interpretación de este segundo fenómeno es la postulación de un movimiento tangencial retrógrado (contra el sentido del movimiento de las agujas de un reloj) llevado a cabo por la Faja Volcánica Transmexicana, que causaría un esfuerzo tensional oblicuo en dirección noreste. Ambos volcanes, el Parícutín y el Jorullo, se elevaron a lo largo de líneas idénticamente orientadas del suroeste al noreste.

C. CARACTERÍSTICAS TECTONICAS DE LA LINEA SAN ANDRES-CHAPALA

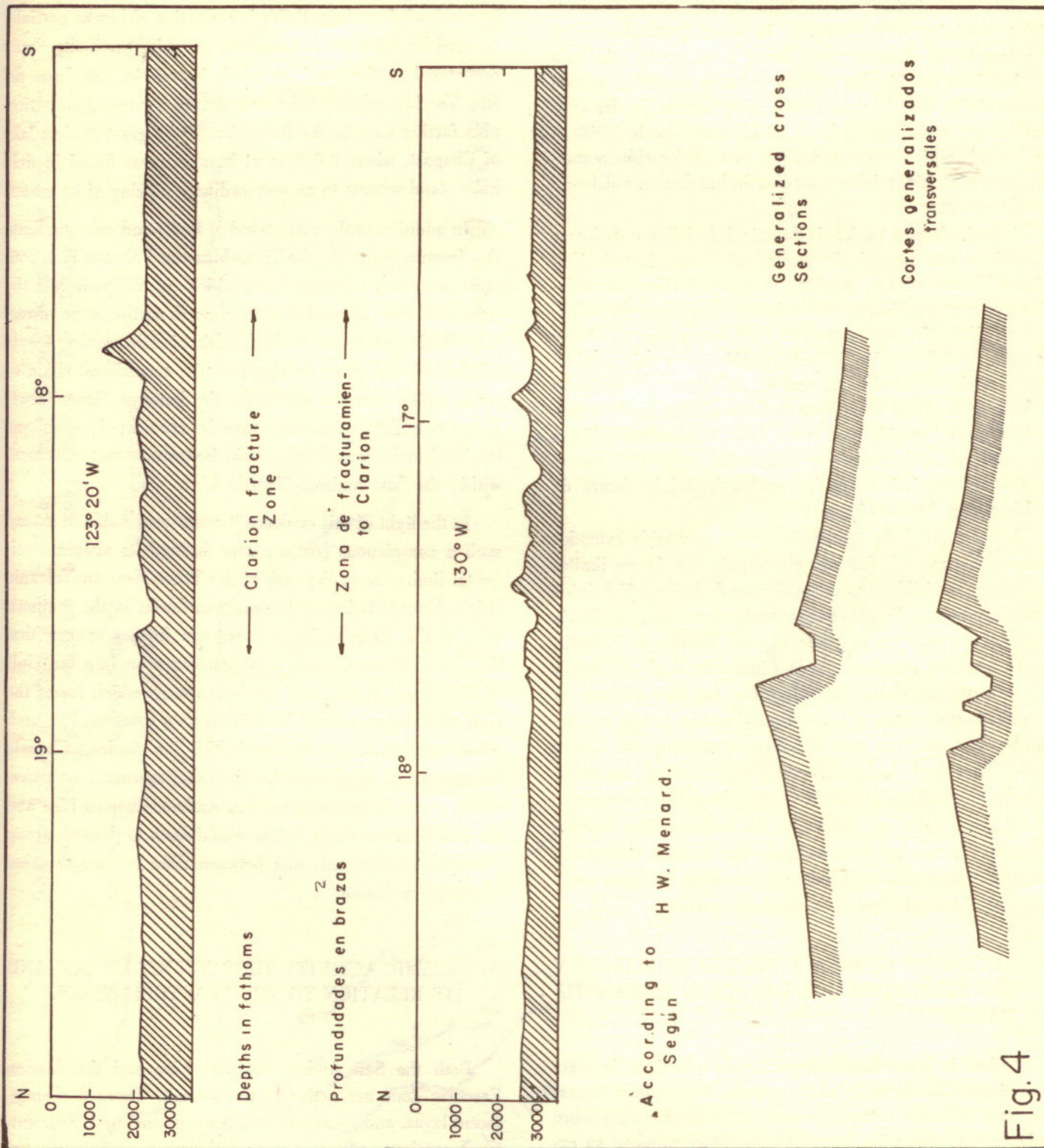
Las investigaciones geológicas a lo largo de la Línea, San Andrés-Chapala son escasas. La existencia de una faja amplia (70 Km), completamente separada de la Faja Volcánica Transmexicana, con numerosas manifestaciones volcánicas propias formadas a través del Cenozoico Medio y Superior, ha sido establecida claramente. Geomorfológicamente, esta zona de fracturamiento despliega las mismas características básicas que la Faja Volcánica Transmexicana, pues constituye una amplia área arqueada en cuyo centro docenas de fallas paralelas se orientan de norte-noroeste a este-sureste. Donde esas fallas desaparecen bajo los depósitos volcánicos, sus prolongaciones están indicadas por alineamientos de los conos cineríticos, como en el norte del Valle de México entre Chiconautla y Apam. Hacia el norte de Toluca y ligeramente hacia el sur de las villas de Acambay y Temascalzingo, una conspicua falla normal marca la

ture zones of the Pacific, which give a clear picture of the patterns followed by these zones of crustal weakness. Those of the Clarion Fracture Zone specifically are reproduced in Figure 4. Seeming contradictions in the regular pattern of the echo soundings can be attributed to volcanic manifestations which conceal (as in the case of the Sierra del Chichinautzin or Popocatepetl) the underlying faults. This similarity in basic structure and development seems to indicate that the Trans-Mexican Volcanic Belt and its oceanic continuation, the Clarion Fracture Zone, were both formed by the arching of a broad zone which later collapsed and extruded lavas along major parallel faults. The affected area, however, seems to be generally broader on the sea floor than on the continent.

Although the east-west alignment of cones along the Trans-Mexican Volcanic Belt is by far its outstanding characteristic, there appears at rarer intervals another series of shorter alignments which follow a southwest-northeast direction. These latter groups tend to occur principally on the northern side of the Trans-Mexican Volcanic Belt, frequently abandoning the fracture zone altogether, as, for example, in the case of the young Santa Catarina Range in the southern Valley of Mexico to the north of the Sierra del Chichinautzin. A possible interpretation for this second phenomenon is the postulation of a counter-clockwise transcurrent movement performed by the Trans-Mexican Volcanic Belt which would cause oblique shearing in a northeastern direction. Both Parícutin and Jorullo volcanoes arose along identical southwest-northeast trending lines.

C. TECTONIC CHARACTERISTICS OF THE SAN ANDREAS-CHAPALA LINE.

Geological investigations along the San Andreas-Chapala Line are scanty. The existence of a broad (70 Km) belt entirely separate from the Trans-Mexican Volcanic Belt, with numerous volcanic manifestations of its own formed throughout Middle and Upper Cenozoic time, has now been clearly established. Geomorphologically, this fracture zone displays the same basic features as the Trans-Mexican Volcanic Belt, since it constitutes a broad arched area in whose center dozens of parallel faults trend from the north-northwest to the east-southeast. Where these faults disappear under volcanic deposits, their continuations are suggested by alignments of cindercones, as in the northern Valley of Mexico between Chiconautla and Apam. To the north of Toluca and slightly south of the villages of Acambay and



According to H W. Menard.
Según

Fig. 4

primera iniciación visible del hundimiento de la zona originalmente arqueada, con su parte opuesta simétrica elevándose inmediatamente al norte de Acambay. Continuada por una serie de bloques parcialmente cubiertos por materiales volcánicos más recientes, la sierra gradualmente se deprime hacia el norte para llegar a su parte más baja en San Juan del Río. La ruptura del arco central es nuevamente visible más hacia el oeste en la formación del gran *graben* que constituye el Lago de Chapala, donde 2,000 m de lavas basálticas atravesadas por una perforación permanecen como testigos del extraordinario hundimiento del centro de este arco.

Además de esta tendencia principal de fallas y de líneas volcánicas, esta zona de fracturamiento, como la Faja Volcánica Transmexicana, contiene grupos volcánicos secundarios que cortan oblicuamente a la zona principal de debilidad en dirección norte-noroeste. Esta disposición es visible al norte de Atacomulco (Estado de México) y más notablemente en la extraordinaria cadena de conos que compone el Valle de Santiago (Querétaro). Estos alineamientos secundarios pueden considerarse como fallas tensionales oblicuas causadas por un movimiento tangencial progresivo (en el sentido del movimiento de las agujas del reloj) dentro de la Línea San Andrés-Chapala.

A la luz de dicha evidencia parece razonable extender esta notable zona de fracturamiento más allá de sus límites continentales visibles (como en el caso de la Faja Volcánica Transmexicana). Puesto que se conoce ya que se desvía hacia el noroeste en la parte sur del Estado de Nayarit, puede también asumirse que la Línea San Andrés-Chapala continúa por el Golfo de California. De esta manera la larga fosa que forma el Golfo de California podría ser definida como un gran arco hundido, cuya extensión sureste es la Línea San Andrés-Chapala. Similarmente, los movimientos tangenciales progresivos (en sentido del movimiento de las agujas del reloj) realizados por la Línea San Andrés-Chapala y el sistema de la Falla de San Andrés, parecerían presentar una fuerte evidencia para un nexo tectónico entre esas dos zonas principales de debilidad cortical.

D. ACTIVIDAD SISMICA A TRAVES DE MEXICO Y SUS RELACIONES CON LAS ZONAS DE FRACTURAMIENTO.

Ambas, la Línea San Andrés-Chapala y la Zona de Fracturamiento Clarion están ahora activas. Manantiales termales, lavas recientes y conos jóvenes están diseminados sobre toda su extensión y los frecuentes temblores prueban su excepcional inestabilidad cortical.

Los focos de temblores (Figs. 5 y 6), a lo largo del Golfo de California y de la Línea San Andrés-Chapala son prolíficos y coinciden sorprendentemente en su somera profundidad común (de 10 a 20 Km y a menudo menor), estando estrictamente limitados a la parte superior de la cor-

Temascalzingo a conspicuous normal fault marks the first visible beginning of the cave-in of the originally arched zone, with its symmetrical counterpart towering immediately north of Acambay. Following a series of blocks partially covered by more recent volcanics, the ridge gradually slopes downward to the north to reach bottom in San Juan del Río. The breakdown of the central arch is once again noticeable farther west in the formation of the great *graben* lake of Chapala, where 2,000 m of basaltic lavas found in drill holes stand witness to an extraordinary sinking of its center.

In addition to the main trend of faults and volcanic lines, this fracture zone, like the Trans-Mexican Volcanic Belt, contains secondary volcanic trends which cut obliquely into the principal zone of weakness in a north-northwestern direction. Such pattern are visible north of Atacomulco (State of Mexico) and more strikingly in the magnificent chain of cones which compose the Valle de Santiago (Querétaro). These secondary alignments may be considered as oblique tensional faults caused by a clockwise transcurrent movement within the San Andreas-Chapala Line.

In the light of this evidence it seems reasonable to extend such a conspicuous fracture zone beyond its visible continental limits (as in the case of the Trans-Mexican Volcanic Belt). Since it is known to swing northwest in the southern part of the State of Nayarit, we can further assume that the San Andreas-Chapala Line continues on into the Gulf of California. In this way the long trough which forms the Gulf of California could be defined as a great sunken arch whose southeastern extension is the San Andreas-Chapala fracture zone. Similarly, the clockwise transcurrent movements performed both by the San Andreas-Chapala Line and the San Andreas Fault system would seem to present strong evidence for a tectonic link between these two major zones of crustal weakness.

D. SEISMIC ACTIVITY THROUGHOUT MEXICO AND ITS RELATION TO THE FRACTURE ZONES.

Both the San Andreas-Chapala Line and the Clarion Fracture Zone are active at the present. Thermal springs, recent lavas, and youthful cones are scattered over their entire extensions, and frequent earthquakes prove their unusual crustal instability.

The foci of earthquakes (Figures 5 and 6) along the Gulf of California and the San Andreas-Chapala Line are prolific and coincide surprisingly in their common shallow depth of 10-20 Km and often less, being strictly limited to

teza terrestre. Este origen somero explica su frecuente fuerza desastrosa manifestada a menudo vivamente en los famosos temblores de las Islas Marías, Zapopan, Acambay y Oxo-

the upper part of the earth crust. The shallow origin accounts for their often disastrous strength, as vividly manifested in the famous earthquakes of the Islas Marías, Za-

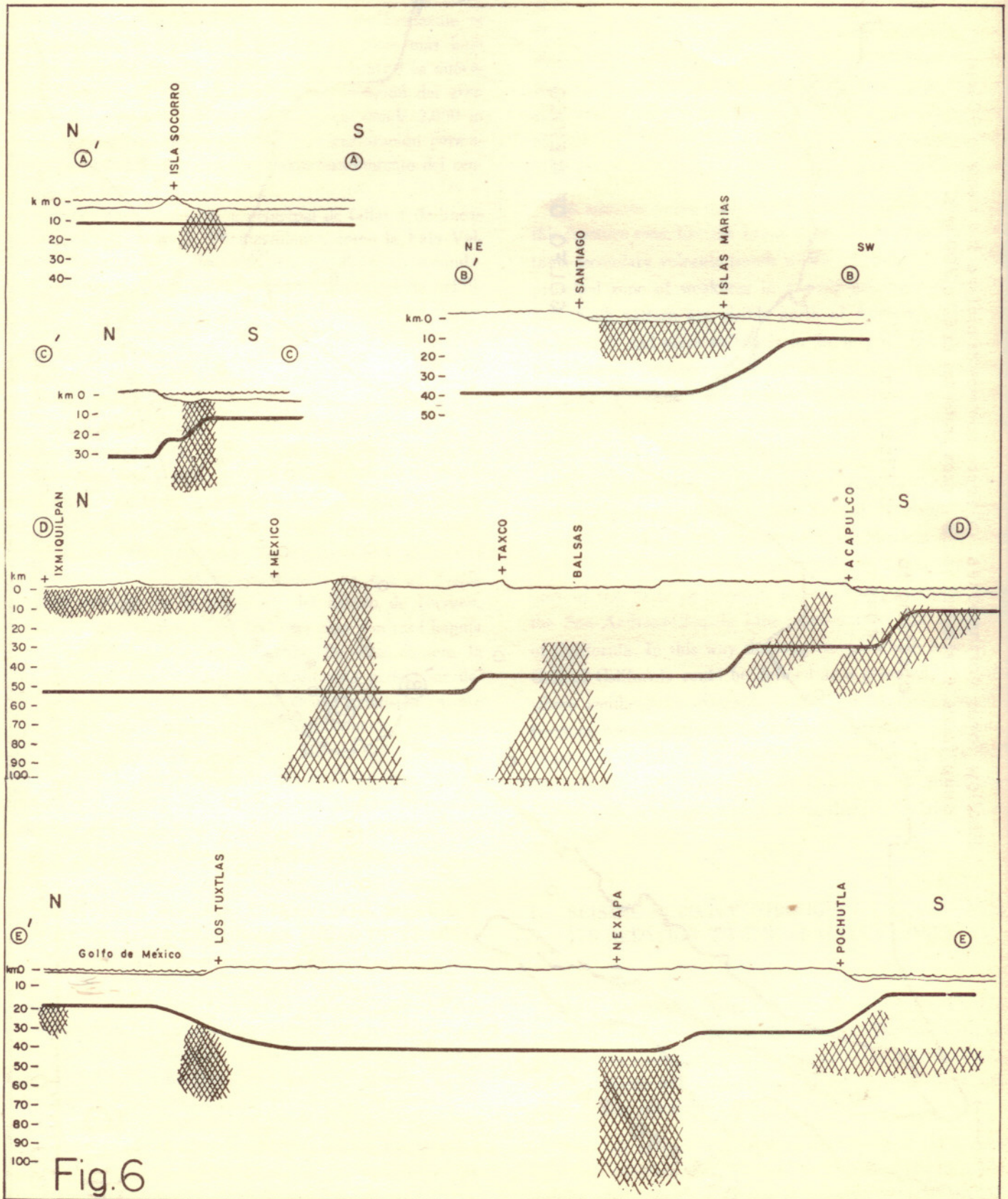


Fig. 6

Focos de temblores.

Earthquake foci

choacan, todos comparables por la magnitud de destrucción y violencia con el temblor de San Francisco a principios del Siglo XX.

A lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana y de la Zona de Fracturamiento Clarión hay gran variedad en la profundidad de los focos. En esa zona varían hasta profundidades del orden de los 100 Km o bien abajo de la línea M, que se profundiza hasta un nivel aproximado de 50 Km bajo la masa continental mexicana. A medida que la línea M se eleva en el área del Océano Pacífico hacia su profundidad normal de 12 Km, los focos correspondientemente se hacen más someros. Rara vez han ocurrido temblores catastróficos a lo largo de esta zona, ya que las vibraciones superficiales son raras y la tremenda fuerza de los temblores profundos es disipada mayormente en la corteza terrestre antes de que pueda llegar a la superficie.

Además de la mencionada concentración de focos a lo largo de estas zonas geológicamente bien definidas, se sabe que existen otros dos significativos alineamientos de centros de temblores en el sur de México a lo largo de la costa del Océano Pacífico. Sorprendentemente estos comienzan como una línea común que se extiende hacia el sureste desde las Islas Marías, encontrando a la masa continental en la Bahía de Banderas, donde cruza la extremidad occidental de la Faja Volcánica Transmexicana y finalmente se divide en dos segmentos sísmicos separados al sureste del puerto de Manzanillo. El segmento norte corta a través del continente mientras que el segmento sur continúa por el Océano Pacífico paralelamente a la Trinchera de Acapulco. Los temblores a lo largo de esas líneas son los más frecuentes en México y sus focos, tanto someros como profundos, despliegan una significativa característica mutua, pues están universalmente distribuidos a lo largo de dos grandes escarpes de fallas inversas que se inclinan hacia el norte bajo la masa continental mexicana. Tanto la existencia de la profunda Trinchera de Acapulco (5,000 m) como la distribución regular de los focos de los temblores han sido interpretadas como evidencia de un cabalgamiento del continente sobre el fondo del Océano Pacífico (Fig. 7).

La inestabilidad cortical en México predomina al sur de la Línea San Andrés-Chapala y en el área del Golfo de California. La distribución de focos sugiere que el complejo de la Falla de San Andrés, que no se extingue en algún lugar del Golfo, continúa hacia el sureste más allá de las Islas Marías y después se divide en varias ramas que son igualmente activas al presente en su sismicidad. Si prolongamos el sistema de la Falla de San Andrés más abajo del paralelo 21° lat N puede asumirse sin temor que su extensión sur no es más que una porción inclinada de la misma zona, con la sola diferencia estructural en la profundidad de sus focos (la cual ha sido correspondientemente incrementada debido a una presión adicional más reciente). Entonces, la Trinchera de Acapulco pudiera haber representado en el Terciario Inferior o Medio una zona arqueada apoyada dentro de los límites de un Continente Mexicano más grande y

popan, Acambay, and Oxochoacan, all comparable in range of destruction and violence to the San Francisco earthquake early in the century.

Along the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Clarion Fracture Zone there is a greater variety in the depth of foci. Here they range as far down as 100 Km, or well below the M-Line, which sinks to a depth of approximately 50 Km under the Mexican land mass. As the M-Line rises in the Pacific area toward the surface of the earth to its normal depth of 12 Km the foci correspondingly become more shallow. Catastrophic earthquakes along this zone have seldom occurred, since surface tremors are rare and the tremendous force of the deep-seated quakes is largely dissipated in the earth crust before it can reach the actual surface.

In addition to the mentioned concentration of foci along these geologically well-defined zones, two other significant alignments of earthquake centers are known to exist in southern Mexico, along its Pacific Coast. Surprisingly enough, these start as a common line that extends southeastward from the Islas Marías, reaching the continent at the Bahía de Banderas, where it crosses the western extremity of the Trans-Mexican Volcanic Belt and finally splits into two separate seismic segments southeast of the port of Manzanillo. The northern segment slices through the continent, while the southern one cuts into the ocean parallel to the Acapulco Trench. Earthquakes along these lines are by far the most frequent in Mexico, and their foci, shallow as well as deep, display one significant mutual characteristic: they are universally distributed along two great inverted fault scarps which dip northward under the Mexican land mass. Both the existence of the deep Acapulco Trench (5000 m) and the regular distribution of the earthquake foci described above have been interpreted as evidence for a present thrusting of the continent over the Pacific Ocean bottom (Fig. 7).

Crustal instability in Mexico is dominant south of the San Andreas-Chapala Line and in the area of the Gulf of California. The distribution of the foci suggests that the San Andreas Fault complex, contrary to ending somewhere in the Gulf, continues southeastward beyond the Islas Marías and then breaks up into several branches that are equally seismically active at the present. If we extend the San Andreas Fault system below the 21° parallel, it can be safely assumed that its southern extension is no more than a tilted portion of the same zone, with the only structural difference in the depth of its foci (which has been correspondingly increased due to a more recently super-imposed pressure). Thus the Acapulco Trench might have represented in Lower or Middle Tertiary time an arched zone lying well within the boundaries of a once-larger Mexican land

similar a la Línea San Andrés-Chapala. A medida que continuaba el proceso de hundimiento, la parte sur debió ir sumergiéndose bajo el mar. Es notable ver que los plegamientos de la orogenia de fines del Cretácico, que corren hacia el sur para encontrar la costa (sugiriendo una previa continuidad del Continente), terminan bruscamente por la presencia de un fuerte quiebre causado por el desprendimiento de la masa continental hacia el interior de la Trincheras de Acapulco. Debido a la falta de tensión en esta área sur de México prácticamente no han ocurrido erupciones volcánicas después del Terciario Medio, en contraste con las regiones más al norte donde la tensión continúa activa.

E. ORIGEN Y DESARROLLO DE LAS ZONAS DE FRACTURAMIENTO.

Tanto la Línea San Andrés-Chapala como la Faja Volcánica Transmexicana tienen una notable similitud en sus manifestaciones superficiales. Esta similitud sugiere claramente un origen común aunque se demostrará que debieron iniciar su desarrollo en tiempos diferentes y consecuentemente, que ahora representan muy diversas etapas de evolución.

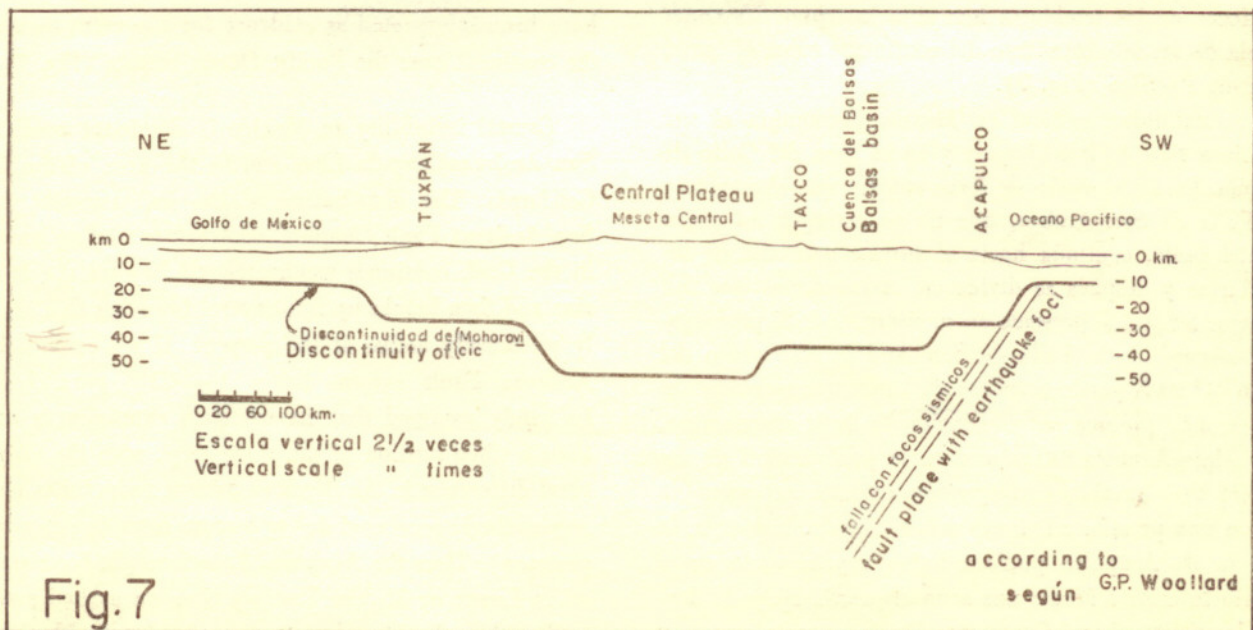
Ambas zonas se originaron con la formación de una área arqueada cuyo centro ha empezado un proceso gradual de hundimiento. La Línea San Andrés-Chapala, sin embargo, está mucho más avanzada que la Zona de Fracturamiento Clarión en esta etapa de fracturamiento, lo cual es demostrado por su mayor anchura y su mayor contenido de bloques individuales. Sus estructuras volcánicas, muchas de las cuales son probablemente del Terciario Medio, constituyen una evidencia más de su mayor edad, mientras al contrario, las de la Faja Volcánica Transmexicana nunca son más anti-

mass and similar to the San Andreas-Chapala Line. As the process of collapse proceeded, the southern part must have sunk below the sea. It is striking to see the folds of the late Cretaceous Orogeny running southward to meet the coast (suggesting a former continuation of the land mass), and then being brusquely terminated by the present steep breakdown of the continent into the ocean trench. Due to the lack of tension in this southern area of Mexico, practically no volcanoes have erupted after Middle Tertiary time, in contrast to the more northern regions where tension is actively continuing.

E. ORIGIN AND DEVELOPMENT OF FRACTURE ZONES.

Both the San Andreas-Chapala Line and the Trans-Mexican Volcanic Belt have a striking similarity in their surface manifestations. This resemblance strongly suggests a common origin, although it will be shown that they must have begun their development at different times, and consequently now represent widely different stages of evolution.

Both zones originated with the formation of an arched area whose center has begun its gradual process of collapse. The San Andreas-Chapala Line, however, is well ahead of the Clarión Fracture Zone in this breakdown stage, which is responsible for its broader width and its larger content of individual blocks. Its volcanic structures, many of which probably date back as far as Middle Tertiary time, are further evidence of its greater age; while in contrast those of the Trans-Mexican Volcanic Belt are never older than Up-



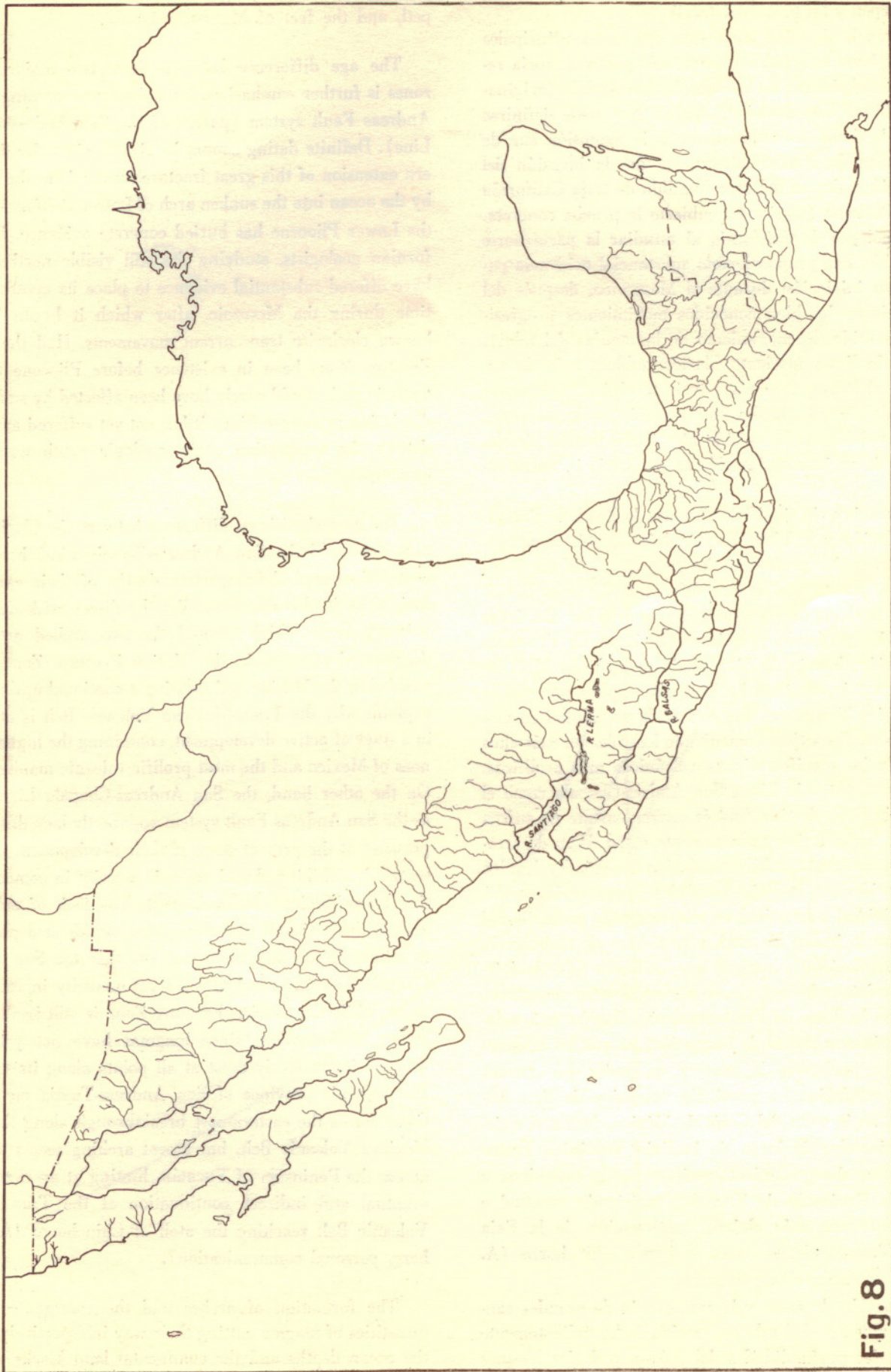


Fig.8

Distribución de ríos en el noroeste y sur de México.

Distribution of rivers in northwestern and southern Mexico.

guas que el Plioceno Superior (Ajusco, Nexpayantla al pie del Popocatepetl y los pies del Iztaccihuatl).

La diferencia de edad entre esas dos zonas principales de fracturamiento se recalca todavía más por una teoría relacionada con el sistema de la Falla de San Andrés (originadora de la Línea San Andrés-Chapala). No puede definirse claramente la fecha correspondiente a la extensión sur de esta gran zona de fracturamiento, ya que la invasión del Océano Pacífico dentro del arco hundido de Baja California durante el Plioceno Inferior ha cubierto la prueba concreta. Pero, los geólogos de California al estudiar la parte norte todavía visible, han proporcionado substancial evidencia para colocar su iniciación durante el Mesozoico, después del cual se iniciaron los bien conocidos movimientos progresivos (en el sentido del movimiento de las agujas del reloj). Si la Zona de Fracturamiento Clarión hubiera existido anteriormente al Plioceno su trayectoria tectónica seguramente habría sido afectada por las fuertes presiones desplazantes. Puesto que todavía no ha sufrido ninguna deflexión visible, la hipótesis de su juventud geológica parecería incontrovertible.

La diferencia más significativa entre la Zona de Fracturamiento Clarión y la Línea San Andrés-Chapala se apoya, sin embargo, en las profundidades respectivas de sus focos de temblores, puesto que en esta diferencia descansa la evidencia directa de la fuerza primaria que creó las dos áreas arqueadas. La profunda presión en la Zona de Fracturamiento Clarión, localizada bien abajo de la línea M, ejerciendo un empuje continuo hacia arriba explica por qué la Faja Volcánica Transmexicana está en la actualidad en una etapa de desarrollo activo, conteniendo los volcanes más altos de México y las manifestaciones volcánicas más prolíficas. Por otra parte, tanto la Línea San Andrés-Chapala como el sistema de la Falla de San Andrés aparentemente no sufren esta presión hacia arriba en la presente etapa de su desarrollo y consecuentemente, exhiben reducida actividad volcánica en comparación con la Faja Volcánica Transmexicana. La falta de actividad subcortical en ella, con toda probabilidad debida, como lo indica Menard, a corrientes de turbulencia en el magma (*eddies*), sugiere que la Línea San Andrés-Chapala ha alcanzado una cierta madurez en su desarrollo, mientras que la Zona de Fracturamiento Clarión está todavía en las primeras etapas de formación, ya que los magmas aún no han perforado la corteza en todos los puntos aún de su extensión. La provincia volcánica de San Andrés-Tuxtla, en la costa del Golfo de México, forma el quiebre más oriental a lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana, pero el arqueamiento reciente parece extenderse a través de la Península de Yucatán, sugiriendo eventual e indirectamente una más alejada continuación de la Faja Volcánica Transmexicana hasta el banco Chinchorro (A. Loehnberg, comunicación personal).

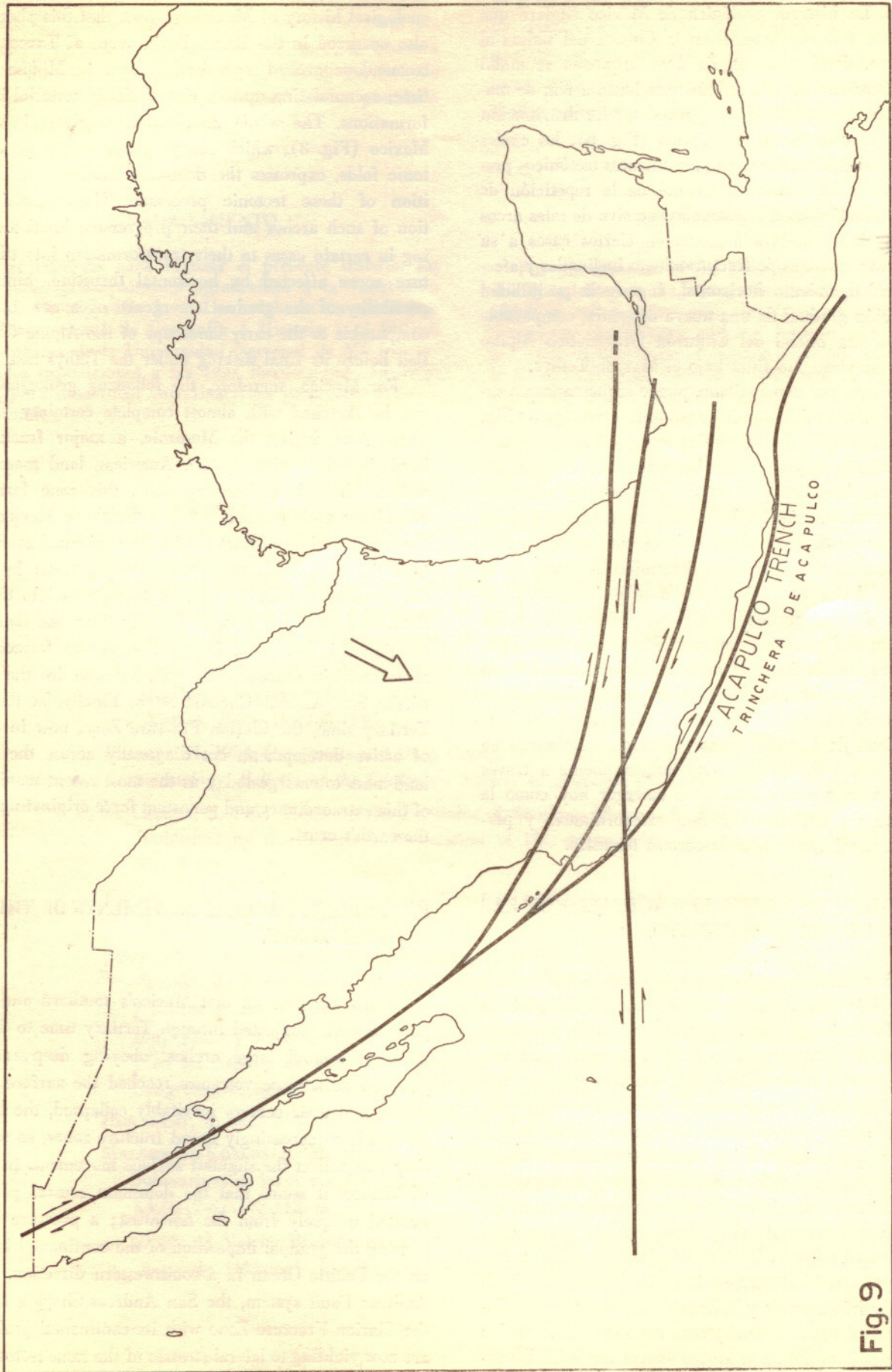
La formación de arcos y la emergencia de grandes cantidades de magma abriendo su camino independientemente a través de las profundidades del océano y de los bloques

per Pliocene time (Mt. Ajusco, Nexpayantla under Popocatepetl, and the feet of Mt. Iztaccihuatl).

The age difference between these two major fracture zones is further emphasized by a theory concerning the San Andreas Fault system (parent of the San Andreas-Chapala Line). Definite dating cannot be clearly given for the southern extension of this great fracture zone, where the invasion by the ocean into the sunken arch of Lower California during the Lower Pliocene has buried concrete evidence. But Californian geologists, studying the still visible northern part, have offered substantial evidence to place its creation sometime during the Mesozoic, after which it began its well-known clockwise transcurrent movements. Had the Clarion Fracture Zone been in existence before Pliocene time, its tectonic path would surely have been affected by such strong displacing pressures. Since it has not yet suffered any visible detour, the assumption of its geologic youth would seem incontrovertible.

The most significant difference between the Clarion Fracture Zone and the San Andreas-Chapala Line, however, is centered around the respective depths of their earthquake foci, since in this difference lies the direct evidence for the primary force which created the two arched areas. The deep-seated pressure in the Clarion Fracture Zone, located well below the M-Line and exerting a continual upward push, explains why the Trans-Mexican Volcanic Belt is at present in a stage of active development, containing the highest volcanoes of Mexico and the most prolific volcanic manifestations. On the other hand, the San Andreas-Chapala Line as well as the San Andreas Fault system apparently lack this upward pressure at the present stage of their development, and consequently exhibit reduced volcanic activity in comparison to the Trans-Mexican Volcanic Belt. The lack of sub-crustal activity here (in all probability due, as Menard points out, to eddies in the magma), suggests that the San Andreas-Chapala Line has reached a certain maturity in its development, while the Clarion Fracture Zone is still in the earlier stages of formation, since magmas have not yet broken through its surfacely crust at all points along its extension. The volcanic province of San Andreas-Tuxtla on the Gulf Coast forms the easternmost breakthrough along the Trans-Mexican Volcanic Belt, but recent arching seems to extend across the Peninsula of Yucatán, hinting at an even farther eventual and indirect continuation of the Trans-Mexican Volcanic Belt reaching the atoll of Chinchorro (A. Loehnberg, personal communication).

The formation of arches and the emergence of large quantities of magma cutting their way irrespectively through the ocean depths and the continental land blocks constitute



Transcurrent movements in the Mexican land-mass.

Movimientos tangenciales en la masa continental mexicana.

Fig. 9

continentales constituyen un fenómeno universal de gran importancia. La historia geológica de México sugiere que este fenómeno también ocurrió en la Cuenca del Balsas al sur de Taxco, donde una amplia área arqueada se afalló durante el Terciario Medio, acumulando hasta 2 Km de material clástico volcánico de fosas (*grabens*). La distribución total de los ríos en el sur de México (Fig. 8), los cuales corren perpendicularmente a los plegamientos tectónicos previos, expresa la influencia dominante de la repetición de esos procesos tectónicos. El desarrollo sucesivo de tales arcos y sus progresivos quiebres llegando en ciertos casos a su transformación en zonas de fracturamiento inclinadas y afectadas por cabalgamiento horizontal, sugiere la posibilidad de la iniciación gradual de una nueva orogenia, comparable con el panorama inicial del Cinturón Orogenético Alpino antes de su hundimiento final bajo el Mar de Tethys.

Para México, por consiguiente, puede esquematizarse casi con completa certeza el siguiente panorama geológico (Fig. 9): en algún período del Mesozoico estuvo activa una zona de fracturamiento mayor, la cual bordeaba todo el occidente del Continente Americano. A través del Terciario esta zona formó dos arcos subsidiarios los cuales cortaron hacia el interior del sur de México, dividiendo el continente en bloques distintos. La zona principal determinó la forma de la actual costa del Océano Pacífico mediante el desprendimiento completo de una porción meridional dentro del propio océano. Entre el Terciario Inferior y el Medio se formó por el mismo proceso tectónico el arco del Balsas, mencionado en el párrafo anterior, que fue seguido de la formación del arco San Andrés-Chapala. Finalmente, al terminar el Terciario, la Zona de Fracturamiento Clarión, actualmente en período de desarrollo activo, cortó diagonalmente a través de la masa terrestre mexicana para emerger hoy como la más reciente manifestación de esta extraordinaria y persistente fuerza originada bajo la corteza terrestre.

F. MOVIMIENTOS LATERALES ACTUALES DE LAS ZONAS DE FRACTURAMIENTO.

Se ha demostrado que las porciones meridional y occidental de México estuvieron sujetas durante el Terciario al desarrollo de varios grandes arcos, obedeciendo a fuerzas profundas de la subcorteza. Una vez que los materiales volcánicos alcanzaron la superficie de los arcos y que sus centros inevitablemente sucumbieron, estas áreas se expandieron formando muy débiles zonas de fracturamiento más y más amplias, que ahora reflejan hasta el movimiento superficial más ligero. En el caso de México parece que la presión cortical dominante se ejerce únicamente desde el noreste. Esta presión está causando el gradual desplazamiento de la masa continental sobre el fondo del Océano Pacífico en una dirección suroeste. El sistema de la Falla de San Andrés, la Línea San Andrés-Chapala y la Zona de Fracturamiento Clarión con su prolongación continental, actualmente se rinden a las tensiones laterales de la misma fuerza tectónica llevan-

a universal phenomenon of far-reaching importance. The geological history of Mexico suggests that this phenomenon also occurred in the Balsas Basin south of Taxco, where a tremendous arched area broke down in Middle Tertiary time, accumulating up to 2 Km of clastic material in *graben* formations. The whole distribution of rivers in Southern Mexico (Fig. 8), which run perpendicular to previous tectonic folds, expresses the dominant influence of the repetition of these tectonic processes. The successive creation of such arches and their progressive breakdown, leading in certain cases to their transformation into tilted fracture zones affected by horizontal thrusting, hints at the possibility of the gradual emergence of a new orogenesis, comparable to the early landscape of the Alpine Orogenetic Belt before its final sinking under the Tethys Sea.

For Mexico, therefore, the following geological picture can be sketched with almost complete certainty (Fig. 9): Some time during the Mesozoic, a major fracture zone bordering the entire western American land mass became active. Throughout Tertiary time, this zone formed two subsidiary arches which cut into Southern Mexico, slicing the continent into distinct blocks. The principal zone determined the outline of the present Pacific Coast by causing the complete breakdown of a southern area into the ocean. Between Lower and Middle Tertiary time, the Balsas Arch mentioned in the preceding paragraph was formed by the same tectonic process; this was followed by the creation of the San Andreas-Chapala Arch. Finally, at the end of Tertiary time, the Clarion Fracture Zone, now in a period of active development, cut diagonally across the Mexican land-mass to emerge today as the most recent manifestation of this extraordinary and persistent force originating beneath the earth's crust.

F. PRESENT LATERAL MOVEMENTS OF THE FRACTURE ZONES.

It has been shown that Mexico's southern and western portions were subjected through Tertiary time to the formation of several large arches, obeying deep-seated sub-crustal forces. Once volcanics reached the surface of these arches and their centers inevitably collapsed, the zones expanded into increasingly broad fracture zones, so weak that they now reflect the slightest surface movement. In the case of Mexico, it seems that the dominant crustal pressure is exerted uniquely from the northeast; a pressure which is causing the gradual imposition of the continental land mass on the Pacific Ocean in a southwestern direction. The San Andreas Fault system, the San Andreas-Chapala Line, and the Clarion Fracture Zone with its continental prolongation are now yielding to lateral stresses of the same tectonic force,

do a cabo todos los movimientos tangenciales (Fig. 9). Debería estar claramente ilustrado mediante este diagrama que las rotaciones individuales de las diferentes zonas de fractura parecen denunciar una disposición armónica de movimiento ajustándose lógicamente a la disposición similar postulada para toda América del Norte.

all performing transcurrent movements (Fig. 9). It should be clearly illustrated by this diagram that the individual rotations of the different fracture zones seem to describe a harmonious pattern of movement fitting logically into the similar patterns postulated for the whole of North America.

AGRADECIMIENTO

Por el estímulo para realizar el presente trabajo, los autores están principalmente agradecidos a la Institución Scripps de Oceanografía, la cual en colaboración con el Instituto Panamericano de Geografía e Historia y el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional de México, organizó dos expediciones a las Islas Revillagigedo en 1955 y 1957, para desarrollar investigaciones geológicas y marinas profundas.

ACKNOWLEDGEMENT

For the stimulus of the present paper, the authors are chiefly indebted to the Scripps Institution of Oceanography, which in collaboration with the Pan-American Institute of Geography and History and the Institute of Geophysics of the National University of Mexico organized two expeditions to the Revillagigedo Islands in 1955 and 1957, for deep-sea exploration and geological research.

BIBLIOGRAFIA *

- AGUILERA, J. G. 1907a. Aperçu sur la Géologie du Mexique pour servir d'Explication à la Carte Géologique de l'Amérique du Nord. *Congrès Géologique International, Comptes Rendus de la Xème Session, Mexico, 1906*, I:227-248.
- 1907b. Les Volcans du Mexique dans leurs Relations du Relief et la Tectonique du Pays. *Congrès Géologique International, Comptes Rendus de la Xème Session, Mexico, 1906*, II:1155-1168, il.
- BENIOFF, H. 1954. Orogenesis and Deep Crustal Structure; Additional Evidence from Seismology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 65(5):385-400, il.
- DE CZERNA, Z. 1958. Notes on the Tectonics of Southern Mexico. In *Habitat of Oil* (published by the American Association of Petroleum Geologists), págs. 523-532, 4 figs.
- FIGUEROA ABARCA, J. 1956. Las Zonas Sísmicas de México. *Anales del Instituto de Geofísica, U.N.A.M.*, 2:20-28, il.
- FRIES, Jr., C. y F. MOOSER. 1956. Volcanes, rocas volcánicas, sedimentos lacustres y aluviales del Pleistoceno y Plioceno, rocas clásticas y volcánicas terciarias, yeso y calizas no marinas del Terciario Inferior, calizas y lutitas del Cretácico Superior, calizas y dolomitas del Cretácico Inferior en la parte sur del Valle de México y en los Estados de Morelos y Guerrero. *Libreto-Guía para la Excursión C-9. Congreso Geológico Internacional, XX Sesión, México, 1956*, I vol. il.
- HUMBOLDT, A. von. 1867. *Cosmos*, Madrid, IV, p. 243.
- MALDONADO-KOERDELL, M. 1958a. Recientes Adelantos en Geofísica y Geología Submarinas en las Areas del Océano Pacífico próximas a México. *Ciencia (Méx.)*, XVIII(7-8):105-113, il.
- 1958b. El Volcán Bárcena en la Isla San Benedicto, Archipiélago de las Revillagigedo (México). *Ciencia (Méx.)*, XVIII(7-8):114-123, il.

BIBLIOGRAPHY *

* Incluye otros trabajos pertinentes.

* Includes other pertinent papers.

- MENARD, H. W. 1955. Deformation of the Northeastern Pacific Basin and the West Coast of North America. *Bulletin of the Geological Society of America*, 66(9): 1149-1198, il.
- MOOSER, F. 1957. Los Ciclos de Vulcanismo que formaron la Cuenca de México. *Congreso Geológico Internacional, XXa. Sesión, México, 1956, Sección I — Vulcanología del Cenozoico*, II: 337-348, il.
- MOOSER, F. and M. MALDONADO-KOERDELL. 1958. Mexican National Report on Volcanology, XIth General Assembly of the I.U.G.G., Toronto, September 3-14, 1957. *Bulletin Volcanologique, Serie II*, XXI:163-169.
- MOOSER, F., H. MEYER-ABICH and A. C. MCBIRNEY. 1958. *Catalogue of the Active Volcanoes of the World, Part VI — Central America*. Napoli (Intern. Volcan. Assoc.), 1 vol., il.
- WILLIAMS, H. 1950. Volcanoes of the Paricutin Region. *Bulletin of the U.S. Geological Survey*, No. 965-B, 1 vol., il.
- WOOLLARD, G. P. y J. MONGES CALDERA. 1956. Gravedad, Geología Regional y Estructura Cortical en México. *Anales del Instituto de Geofísica, U.N.A.M.*, 2:61-112, il.