



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

**HIPOTESIS DE LA DERIVA DE LOS CONTI-
NENTES DE ALFRED WEGENER Y SU IMPACTO
EN LAS CIENCIAS DE LA TIERRA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A :

PEDRO RAUL CARDENAS PLATA

MEXICO, D. F.

1987.





UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

PROLOGO

Capítulo I

CONSIDERACIONES GENERALES

PAG.

1.1	Semblanza científica de Alfred Wegener	6
1.2	Antecedentes históricos de la hipótesis de la Deriva Continental	7
1.3	Paleogeografía del mesozoico según Wegener	10
1.4	Principales hipótesis y teorías tectónicas	14

Capítulo II

LA FINA ESTRUCTURA DEL INTERIOR DE LA TIERRA

2.1	Introducción	16
2.2	La Tierra como un dinamo	17
2.3	Estructura interna de la Tierra	36

Capítulo III

MORFOGENESIS DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

3.1	Introducción	48
3.2	Amalgamación y disgregación de la pangea	49
3.3	Origen de los continentes	55
3.4	Los mayores cratones del mundo	60

Capítulo IV

CORRELACIONES PALEONTOLOGICAS Y BIOLOGICAS ENTRE LOS CONTINENTES DE LAURASIA Y GONDWANA

4.1	Introducción	66
4.2	Métodos de correlación estratigráfica	67
4.3	La vida sobre los continentes a la deriva	73

Capítulo V	PAG.
FUNDAMENTOS PALEOCLIMATICOS DE LA DERIVA CONTINENTAL	
5.1 Introducción	76
5.2 Historia de los climas de la Tierra	77
5.3 Parámetros astronómicos entre el Sol, la Tierra y las edades de hielo	81
Capítulo VI	
TEORIA DE LA EXPANSION DEL SUELO OCEANICO Y TECTONICA DE PLACAS	
6.1 Introducción	85
6.2 Expansión del suelo oceánico y tectónica de placas	86
6.2.1 Geografía tectónica del suelo submarino	98
6.2.2 Geografía de las placas de la corteza terrestre	105
6.3 Los geosinclinales, las montañas y la formación de los continentes	110
6.4 Los arcos islas	111
CONCLUSIONES	115
GLOSARIO	118
BIBLIOGRAFIA	120

PROLOGO

Desde los tiempos del antiguo geógrafo griego Estrabón (S. IV a.e.c.) hasta la pléyade de geógrafos alemanes entre los que descuellan Alexander -- von Humboldt autor de los "Cuadros de la Naturaleza", el objetivo y la metodología de la geografía ha sido el análisis cualitativo y cuantitativo de los paisajes naturales y antropozoicos circunscritos en la superficie terrestre por el margen continental.

Así, Humboldt, el andariego infatigable, el esclarecido geógrafo y prolijo escritor por la perspicacia de observación; recorrió el trópico húmedo de América, las estepas y los desiértos de Africa, además de las nevadas y violentas cumbres de América y Europa.

La tradición geográfica que enlaza el pasado con el porvenir indujo al astrónomo y meteorólogo berlinés Alfred Wegener a emular el espíritu geográfico humboldtiano; fue así, como en las primeras décadas de éste siglo y en un ambiente gélido se fraguó la primera gran hipótesis para la geografía plasmada en la obra "El Origen de los Continentes y Océanos".

Si, Humboldt abrió nuevos horizontes para la geografía regional, Alfred Wegener fue el filósofo de la geografía universal al apoyar sus argumentos en la interpretación dialéctica de las fuerzas de la naturaleza que por miles de millones de años han configurado la faz de la Tierra.

La Tierra y la geografía tienen origen e historia casi paralelas, la segunda surgió inmediatamente después que terminaron los procesos hipotectónicos tales como la acreción gravitacional y la diferenciación físico-química de las esferas infrayacentes, las cuales propiciaron posteriormente el desarrollo gradual de la corteza terrestre.

En aquellos ignotos tiempos, la geografía física estuvo circunscrita por las rocas más antiguas que amalgamaron el protocontinente arqueano; después surgió la geografía biológica por la presencia de las primeras bacterias y algas. Todo ésto ocurrió en el arqueozoico y proterozoico de la lejana era precámbrica.

Así como la tectónica actual no puede prescindir del paleotectonismo--

la geografía tampoco lo debe hacer con respecto a la paleogeografía. En virtud de que la solidez conceptual de la geografía estriba en hallar la correlación de fuerzas verticales y horizontales, que ayer como ahora han determinado el predominio geocrático y talasocrático de la corteza terrestre.

Este es el argumento central de la tesis wegeneriana y en la que convergen la perspicaz observación de los paisajes naturales y la inferencia - por correlación e inclusive por oposición de las formaciones lito-bioestratigráficas de la superficie terrestre. Wegener considera que la unidad y diversidad de la geografía del cuaternario se encuentra en la translación continental.

Sin embargo, la geografía contemporánea ha olvidado del todo o en parte los argumentos wegenerianos hoy discretamente rescatados por las geociencias. Ante esta realidad él que suscribe pretende en acto de elemental justicia demostrar la trascendencia histórica de la obra de Wegener, la cual se encuadra en el contexto de la dialéctica de las ciencias; que no concibe al universo que en el caso que nos ocupa se circunscribe a la Tierra como una colección de objetos finitos y acabados sino como el conjunto total de procesos objetivos en desarrollo. Este es el mayor legado que la escuela alemana de geografía ha hecho al mundo.

Trabajo que no es nada fácil por los cánones ortodoxos preestablecidos que encasillan la metodología geográfica en el análisis regional o de la esfera geográfica. Trabajos loables y redituables en un mundo en crisis-urgido de nuevas formas para la explotación del paisaje. En este contexto la geografía sólo cumple con una parte de su cometido, que es el de establecer comparaciones bimodales entre los distintos paisajes geográficos.

Para los propósitos que persigue nuestro trabajo, la geografía rebaza los límites preestablecidos para así vislumbrar nuevos horizontes no sólo a la descripción de los accidentes geográficos sino en la interpretación de las fuerzas ignotas que dieron origen y sostienen a la Tierra y a la Vida, así como de la recurrencia de la acción humana en el medio geográfico.

Ahora bien, como el método de razonamiento transcurre entre la inducción y la deducción, así en la primera se sugiere un principio fruto de la observación, en la segunda se comprueba. En el caso que nos ocupa la hipótesis de la translación de los continentes derivó en las teorías de la expansión del suelo oceánico y tectónica de placas. De esta manera, el tiempo -- que transcurrió entre ambas concepciones neomovilistas representó la primera gran revolución en las ciencias de la Tierra.

Antes de entrar en el desarrollo de los apartados conviene hacer algunas reflexiones para delinear el principal propósito de este trabajo que es el de configurar con fundamento en la hipótesis de Wegener un pequeño modelo geográfico-tectónico de nuestro planeta por medio de la conjunción de todas las ciencias afines, para lo cual consideramos:

i) La Tierra como un código estructurado. Las geoestructuras planetarias: los continentes y las cuencas oceánicas contrastan por su estructura-endógena, arquitectura exógena, composición geoquímica y superficie. Estas geoestructuras son ensambladas por procesos de expansión, colisión, reducción y transformación los cuales representan toda una serie de estadios tectónicos y orogénicos verticales y horizontales yuxtapuestos.

Desentrañar el origen y la interconexión entre los estadios tectónicos y atectónicos es todavía un reto metodológico en las etapas de verificación y predicción. De ahí que hoy por hoy sólo se manejan hipótesis, teorías e inclusive modelos que de una u otra forma arrojan luz acerca de la dinámica de la Tierra.

ii) Problema específico. El advenimiento tardío de la geografía analítica fundada por Humboldt, que se apoya en la explicación concreta y objetiva del universo planetario por medio de los principios de causalidad, correlación y extensión se desprende que la geografía es una disciplina de síntesis y por ende filosófica. Así, cuando el proceso de síntesis se revierte -- se origina la antítesis y comienza el desarrollo de nuevos problemas hasta llegar a una síntesis más elevada. Esta es la contribución dialéctica de la geografía. Aseveración que nos compromete con la comunidad geográfica y que trataremos de esclarecer en la medida de lo posible en el curso de nues --

tra exposición.

iii) Teorías más usadas: referencias-contradicción. En el vasto universo de las ciencias las referencias preceden el análisis y en ambas siempre está presente la dialéctica de la historia, que en el caso que nos ocupa se interpreta por medio del célebre principio del uniformismo que Dana propuso para explicar las negaciones de la Tierra, y que dice: la clave del pasado se encuentra en el presente. Es decir que las fuerzas que operan en la naturaleza son las mismas; los procesos son distintos porque cambian las condiciones a consecuencia de la evolución.

Por ejemplo, en la tectonósfera se da la lucha de opuestos que explican las formaciones y destrucciones de la corteza terrestre: las enormes -- trincheras suboceánicas y las majestuosas disyunciones continentales; en -- donde el calor residual, gravitacional, radiogénico y solar por ser opuestos hacen del planeta la máquina más contradictoria.

Así, en nuestras breves reflexiones es notoria la contradicción conceptual, las cuales darán origen con el tiempo a nuevas reflexiones, ya que contrariamente a lo que muchos piensan la geografía no es un universo acabado sino dinámico y complejo.

iv) Modelos conceptuales. Por milenios el intelecto humano trata por todos los medios de objetivar lo subjetivo; lo primero, consiste en dar existencia externa una idea o un concepto a través de la inferencia inductiva, deductiva o por correlación, y el primer peldaño es la hipótesis, que es la explicación condicional de un hecho o de un grupo de hechos, o bien una afirmación provisoria acerca de ciertos fenómenos. En contraposición -- con la teoría, que es la explicación concreta del universo de los fenómenos y de sus interrelaciones. En las ciencias de la Tierra las teorías ganan terreno gracias a la incipiente pero efectiva experimentación.

v) Metodología. El método científico, que es un proceso riguroso para adquirir conocimiento comprende tres fases: el descubrimiento o indagación, la demostración y la sistematización del fenómeno considerado.

En el caso que nos ocupa la demostración o verificabilidad se encuen-

tra en los primeros peldaños y prueba de ello es la traza zonal horizontal y vertical sobre y dentro de la corteza terrestre de los focos y hipofocos de los sismos de donde se dedujo el modelo de tectónica de placas.

Así mismo, de los mosaicos bandeados basálticos suboceánicos típicos por su histéresis remanente, los cuales demuestran a todas luces el vagabundeo de los polos magnéticos, la migración de los continentes y la edad del suelo oceánico.

En consecuencia, de las variables proporcionadas por la sismología, - el magnetismo, la geoquímica, la tectónica, la paleoclimatología son entre otras las bases en que se apoya el presente trabajo cuyo principal propósito es el de identificar el intrincado origen y las interrelaciones de todos los accidentes geográficos encuadrados en lo que llamamos código estructurado, la Tierra.

Trabajo que no resuelve ningún problema específico pero que sí arroja un poco de luz acerca de la dinámica de nuestro planeta.

C A P I T U L O I

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 SEMBLANZA CIENTIFICA DE ALFRED WEGENER

El espíritu dialéctico que reside en el autodespliegue de la razón y que significa pensamiento discursivo, conocimiento problemático (Hegel) unido a la vasta intuición del astrónomo, meteorólogo y geógrafo alemán Alfred Wegener le permitieron idear para la ciencia una nueva y heterodoxa concepción de la dinámica de la Tierra: "La Hipótesis de la Deriva Continental", - que subsecuentemente representó el punto de partida de un complejo sistema de investigación científica, que ha culminado en las teorías de: "La Expansión del Suelo Oceánico y Tectónica de Placas", aceptadas como verosímiles por ser el modelo tectónico más coherente que encuadra la exégesis de todos los accidentes geográficos.

Han transcurrido más de siete décadas del alumbramiento de la hipótesis derivista, y desde la perspectiva de la dialéctica de las ciencias el mérito de Wegener fue el de haber introducido la "contradicción metodológica", que consiste en la coexistencia de las determinaciones opuestas una de las cuales niega lo que la otra afirma (Hegel).

De esta manera, el planteamiento de una nueva hipótesis representa -- ruptura definitiva o revisión exhaustiva de los principios universales preestablecidos y hasta entonces aceptados como verosímiles. Este acontecimiento es una manifestación del intelecto humano que por miles de años se ocupa de objetivar lo subjetivo. Por lo tanto, el conocimiento es un proceso dinámico que debe enriquecerse para explicar mejor la realidad objetiva (Lenin).

Oriundo de Berlín, Wegener (1880-1930) recibió el doctorado en astronomía, ejerció la cátedra y la investigación. En abril de 1930, Wegener realizó su última expedición a Groenlandia en donde murió víctima de un infarto lejos de la estación "Eismitte" (Centro de hielo).

1.2 ANTECEDENTES HISTORICOS DE LA HIPOTESIS DE LA DERIVA CONTINENTAL

Entre los pioneros en el estudio de la deriva continental descuellan: Francis Bacon (1630), Antonio Snider Pellegrini (1854), W. L. Green (1857), H. Wattstein (1888) y F. B. Taylor (1910).

Alfred Wegener (1912) concibió la idea de la deriva continental al -- contemplar en un planisferio las correlaciones morfoestructurales entre los continentes que bordean la cuenca del océano Atlántico, así como algunos -- accidentes fisiográficos continentales e interoceánicos del Pacífico e Indico.

La distribución longitudinal y ecuatorial de los continentes es para Wegener la prueba más evidente de una pretérita unión paleocontinental que llamó "Pangea" inmersa en la "Panthalasa".

Así, la idea de la deriva continental fue presentada por Wegener en dos magistrales conferencias; la primera, ante la Sociedad Geológica Alemana, en Frankfurt del Main, el seis de enero de 1912, y versó acerca de: "El desarrollo de las grandes unidades de la corteza terrestre (en continentes y océanos) desde el punto de vista geofísico". La segunda disertación fue ante la Sociedad para el Avance de las Ciencias Naturales, en Marburg, el diez de enero de 1912, y trató acerca de: "Los desplazamientos horizontales de los continentes".

Sin embargo, la hipótesis wegeneriana representó un hito geográfico--tectónico para la comunidad científica ortodoxa de geología y geofísica --- en y allende las fronteras de Alemania. De inmediato surgió la contracorriente que desde las academias desacreditaron el modelo paleotectónico protocontinental propuesto por Wegener. Fuera de Alemania, la idea wegeneriana se consideró como una avanzada ideológica de la filosofía germana que atentaba contra los principios hasta entonces incommovibles de la geología.

A pesar de que la tesis de la translación continental surgió en los días más aciagos del presente siglo, sin embargo, la historia le ha reivindicado el lugar que por derecho le corresponde en el contexto de las cien --

cias de la Tierra.

Años después del alumbramiento de la hipótesis de la deriva continental; en Inglaterra, el geofísico Harold Jeffreys escribió el libro titulado "The Earth Its Origin History and Physical Constitution", con el que aparentemente se asestó el golpe de gracia a la concepción neomovilista continental.

En este libro se propugna la teoría de la contracción uno de cuyos principios establece que debido al irreversible y gradual enfriamiento de la Tierra, las rocas subcorticales tienen esfuerzos finitos y en consecuencia son indeformables. Por esto se antepone la rectoría de los movimientos verticales sobre los horizontales.

Jeffreys demostró matemáticamente que la Tierra es lo suficientemente rígida como para ser ligeramente deformada por las fuerzas sugeridas por Ug gener, a saber: las mareas y el polfluch o "fuga de los polos".

Ya que, si la fuerza de las mareas y el movimiento axífugo fuéser lo suficientemente fuertes como para impeler a los continentes hacia el oeste, éstas podrían detener la rotación del planeta. Además de que era inconcebible la idea de que debajo de la corteza continental existiese una capa de material menos denso que propiciase el corrimiento tangencial del sial continental que es más radiactivo que el sima como lo demuestran los indicadores.

		rocas ácidas	rocas básicas
i) calor producido por el uranio (cal./cm ³ ./sec.)		4.3×10^{-13}	1.6×10^{-13}
ii) " " " " torio " " "		5.8×10^{-13}	1.1×10^{-13}
(Fuente: Jeffreys, 1924, p 83)	Total =	10.1×10^{-13}	2.7×10^{-13}

1.3 LA RADIOACTIVIDAD EL MAGNETISMO Y LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

Por varias décadas han coexistido los argumentos fijistas y movilitas continentales como modelos tectónicos contradictorios, los cuales tienen como marco de referencia a la teoría de la contracción y los modelos de convección del manto superior.

De la teoría de la contracción se desprenden los principios de: i) El origen primitivo de los continentes y cuencas oceánicas; ii) Los puentes terrestres intercontinentales. Principios que Wegener impugnó por considerarlos contrarios a la teoría de la isostasia, aunque él admite la pretérita existencia de cuatro conexiones continentales como remanentes del sial continental en el curso de la deriva, a saber: i) "Antigua Gondwana" que unió Australia, India, Madagascar y Africa, del cámbrico al jurásico inferior; - ii) "Arcn-Helenis", que unió Suramérica (Brasil) y Africa, del cámbrico inferior al cretácico inferior; iii) "Lemuria", que unió Madagascar y el Deccán, del cámbrico medio al cretácico superior; iv) "Laurasia", que unió Europa y Norteamérica, del silúrico inferior al carbonífero superior, triásico, cretácico superior y parte del terciario.

Después de considerar el problema de la permanencia de las macrogeoes tructuras surgió el segundo escollo y quizás el más importante para la orogenia: el origen del plegamiento a gran escala.

Dana (1847), Albert Heim (1878) y Eduardo Suess (1885) propugnaron la teoría de la contracción gradual del planeta. Una frase de Suess ilustra toda la idea contraccionista "Lo que estamos presenciando es el colapso de la esfera terrestre".

Por otra parte, con el descubrimiento de la radioactividad, Hergesell (1895), F. Kossmat (1921) y R. Staub (1924) propusieron la existencia de --- fuerzas de tensión que "desgarran" algunas partes del planeta y dedujeron - que en el lado opuesto de dichas fuerzas se forman plegamientos como consecuencia de la convergencia de fuerzas tangenciales.

Según, R. Staub el ejemplo más evidente es la orogenia de los Alpes - formados por la deriva hacia el norte del continente africano, que estrujó - una extensión de aproximadamente 150 km.

Unida a estas consideraciones tectónicas y orogénicas; el descubri -- miento de la radioactividad puso en entredicho el principal argumento con - traccionista la pérdida de calor por enfriamiento gradual e irreversible -- del planeta.

De todos los tipos de energía que existen en la Tierra, el magnetismo

tiene la particularidad de dejar huellas de su fuerza y dirección cuando -- las rocas se forman; de ahí que el geofísico G. Folgerheister demostró que la dirección del magnetismo adquirido por las rocas es paralelo al campo -- magnético de la Tierra, y que éste es retenido indefinidamente.

Matuyama (1929) sugirió la inversión del campo magnético de la Tierra y prueba de ello son los mosaicos basálticos bandeados submarinos. Así, en la década de los cincuenta las nuevas ideas remplazaron los postulados wegenerianos en base a los hallazgos geomagnéticos del suelo oceánico.

P. M. Blanckett y sus colegas examinaron el paleomagnetismo de las rocas más antiguas del continente europeo selladas por campos magnéticos antiguos, lo cual sugirió el constante y progresivo cambio del polo norte.

Frank B. Taylor (1910) propuso para contrarrestar a la teoría de la - contracción en su fase orogénica que el cinturón Alpino-Himalayo es consecuencia del movimiento axifugo del bloque continental euroasiático, y que - la cordillera mesoatlántica se explica por el proceso de riftogénesis.

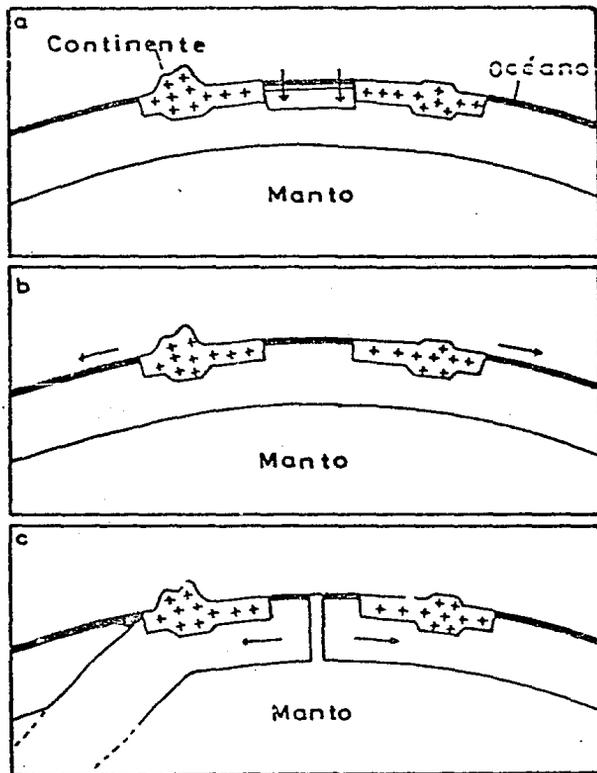
H. H. Hess (1960) indicó que la movilidad del suelo oceánico estriba en la existencia de un centro de expansión y otro de reducción.

F. J. Vine y D. H. Mathews (1963) propusieron que las anomalías lineares de los mosaicos bandeados suboceánicos son consecuencia de las variaciones de la corteza oceánica, la cual se magnetiza normal o inversamente; demostrando así que el sial y el sima son móviles, en contraposición con la versión wegeneriana de que sólo el sial es móvil. (Fig. 1.1).

1.3 PALEOGEOGRAFIA DEL MESOZOICO SEGUN WEGENER

Desde el punto de vista paleogeográfico y paleotectónico el argumento fundamental de la hipótesis wegeneriana estriba en inferencias por correlación, así la orogenia latitudinal o cinturón mesoceo (efecto axifugo) y longitudinal o cinturón peripacífico (retardo en la rotación) explicábase por efecto antagónico de los movimientos de inercia de los bloques siálicos y - el momento angular de la Tierra. Los primeros como balsas derivando hacia - el oeste y sur respectivamente sobre el sima viscoso subyacente, de forma -

LA ESTRUCTURA DE LA TIERRA



a. Hipótesis Fijista

b. Hipótesis de Alfred Wegener

c. Teoría de la Expansión del Suelo Océanico y Tectónica de Placas.

Procedencia de la figura: "Alfred Wegener and the Hypothesis of Continental Drift", Scientific American-1975, p.91.

tal que los frentes delanteros de los continentes se caracterizan por la -- formación de cadenas montañosas por efecto de "poda" y detrás de ellos tiene lugar la formación de arcos insulares por efecto de "poda".

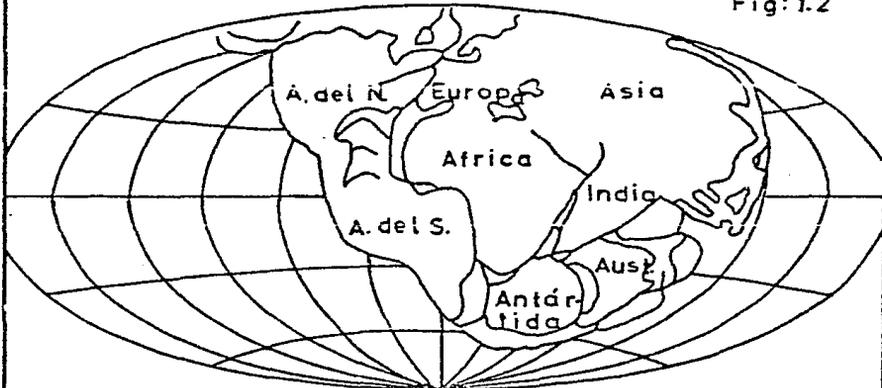
Según el modelo paleogeográfico propuesto por Wegener durante el carbonífero superior existió un inmenso océano la "Pantlaza" que circundaba a un gran bloque continental la "Ganges" geográficamente ubicado en el hemisferio norte y en el centro de lo que es hoy el océano Atlántico.

De acuerdo a Wegener la riftogénesis del sial continental siguió esta secuencia: i) Suramérica y África unidas fueron escindidas en el cretácico; ii) el norte y noroeste de Norteamérica unida a Europa y en donde Groenlandia formaba una especie de cuña entre Newfoundland y el noroeste de Irlanda eran un solo bloque que fue fracturado del terciario al cuaternario; iii) -- Antártida, India, África y Suramérica formaban a principios del jurásico -- una gran masa continental cubierta por aguas someras. El cizallamiento de este bloque durante el jurásico, cretácico y terciario permite que los subbloques deriven en todas direcciones.

India y Asia estuvieron unidas por un largo trecho de tierra cubierta por aguas someras. Después de la separación de India de Australia en el jurásico inferior y de Madagascar en la transición del cretácico al terciario esta gran zona de unión empezó a plegarse a medida que India se aproximaba a Asia para formar así el complejo estructural más grande del planeta: el -- Himalaya; iv) la deriva hacia el oeste de ambas Américas cuyos bordes delanteros fueron comprimidos y plegados por la resistencia del océano Pacífico -- originó la vasta cordillera americana; v) el bloque australiano incluyendo Nueva Guinea y Nueva Zelanda formaban una sola plataforma ahora separadas -- por mares someros; vi) las cadenas marginales o arcos islas del este de -- Asia lo mismo que las Pequeñas y Grandes Antillas se consideran remanentes continentales debido a la deriva hacia el oeste de los continentes, así como también la dirección hacia el sur de los vértices de dichos bloques como es el caso de Groenlandia, Florida, Tierra del Fuego, Costa de Graham y el fragmento continental de Ceilán. (Fig. 1.2).

El antiguo supercontinente de Pangea según Wegener

Fig: 1.2



Carbonífero Inferior

Cuaternario Inferior



Procedencia de la figura: -Alfred Wegener and the Hypothesis of Continental Drift", -Scientific American- 1975

PP 92-98

1.4 PRINCIPALES HIPOTESIS Y TEORIAS TECTONICAS

Las inflexiones de los gradientes sísmicos en el interior de la Tierra confirman que ésta tiene varias discontinuidades anisotrópicas que de hecho corresponden a los umbrales de desfasaje entre la fusión y la solidificación de los materiales endosféricos; y que las discordancias de la corteza continental son efecto directo de la diferenciación magmática relativamente superficial o de los fenómenos exogenéticos.

Como la sucesión de fases es distinta debajo de cada una de las provincias geográficas que integran las estructuras planetarias; hoy día se cuenta con un gran bagaje de principios universales que lejos de ser incompatibles son complementarios, y están ya integrados a los modelos tectónicos y orogénicos, a saber:

i) Teoría de la Contracción. El principio fundamental de ésta teoría estriba en que la esfera terrestre, al perder calor en el curso de su desarrollo, pierde volúmen, con lo que se originan movimientos en la corteza.

Scheidegger (1963) sugiere que la contracción se limita en interior de la Tierra hasta -700 km; a partir de la cual es posible distinguir: una zona en contracción, que genera fuerzas de tensión y está situada entre -700, -70 km; una zona fría, que genera fuerzas de compresión y está situada entre -70 y 0 km.

ii) Teoría de la Isostasia. Esta teoría fue propuesta por Pratt (1855), Airy (1877) y Clarence Dutton (1877) a quien se debe la acuñación del término. El equilibrio isostático de la corteza terrestre se debe a la diferenciación en orden a la densidad y al espesor de los bloques continentales y oceánicos. En el modelo sugerido por Airy ambos bloques tienen la misma densidad (2,67) y yacen sobre un material más denso (3,27).

La gravimetría indica que el estado de equilibrio de las dovelas corticales se debe a la existencia infrayacente de un "nivel de compensación o equilibrio" situado a una profundidad constante; y que las propiedades fisi

cas de este nivel de equilibrio hacen que la corteza terrestre se mantenga en equilibrio hidrostático, el cual se basa en el principio de Arquímedes - sobre la flotabilidad de los cuerpos.

iii) Hipótesis de la Pulsación. Sucher sugiere que la orogenia peri - continental (el geosinclinal) es derivación de fases recurrentes de dilatación (diástole) y de contracción (sístole), las cuales están asociadas a la masa subcortical del planeta.

iv) Hipótesis de los Ciclos Radioactivos. J. Joly indica que el desplazamiento hacia el oeste de los continentes se debe a la diferenciación - termal radiogénica entre la corteza granítica y basáltica. De forma tal que el granito por su baja conductividad eléctrica es capaz de almacenar más calor el cual funde el basalto. Consecuentemente, la dilatación del basalto - origina la fisuración de los continentes; de ahí que los continentes flotan en un substrato líquido.

v) Hipótesis de la Radiomigración. El geólogo, tectonista y académico soviético Vladimir Belousov (1943) director del Instituto de Física de la - Tierra Sólida, de la Academia de Ciencias de la URSS, ha sido por varias décadas el principal impugnador de la deriva continental y propone para la -- tectónica global la preminencia de los movimientos verticales sobre los horizontales que según él explican los cambios de fase de la corteza terrestre.

Belousov considera que el origen de la corteza terrestre se explica - por la diferenciación en orden a la densidad de los materiales constitutivos de la Tierra; diferenciación inducida por el ascenso de radioelementos.

Proceso endógeno que enfría a las rocas subcorticales; de ahí que la radiomigración centrífuga y el enfriamiento del planeta son irreversibles.

Debido a la desigual radioactividad subcortical la orogenia se caracteriza por zonas activas (geosinclinales) y estables (plataformas).

Fenómeno que al unísono origina la subsidencia de los materiales más densos; por lo tanto las cuencas oceánicas representan zonas colapsadas que crecen a expensas de los continentes.

CAPITULO II

LA FINA ESTRUCTURA DEL INTERIOR DE LA TIERRA

2.1 INTRODUCCION

La ubicación geográfica de las provincias morfoestructurales de la corteza terrestre circunscritas por los alto-bajos arco-neocrátónes escudidos desde siempre por el proceso de riftogénesis, los orógenos superiores e inferiores, la geometría sísmica zonal y de infracorrimiento oblicuo, el arqueomagnetismo de los mosaicos bandeados suboceánicos y el dipolo geomagnético, entre otros; son señales geográficas y geofísicas inequívocas que permiten deducir que el núcleo motor de la Tierra está diferenciado desde el punto de vista térmico, proceso que también se presenta en el manto e incluye el desfasaje geoquímico de los materiales, el cual indublemente origina corrientes de convección a gran y pequeña escala.

En la superficie terrestre principalmente y en el piso oceánico se encuentra un abigarrado mosaico geológico disímil por su cronología, composición geoquímica, deformación, metamorfismo y agradación del material basáltico, granítico y sedimentario, los cuales yacen sobre la discontinuidad de Mohorovicic.

En consecuencia, el mosaico geológico del planeta, ayer como ahora, es retroalimentado violenta o gradualmente desde las geósferas inmediatas a la discontinuidad de Mohorovicic.

La radiodetección sísmica y la prospección geosísmica profunda indican que las geósferas internas se distinguen por finas discontinuidades estructurales, de ahí que los parámetros geofísicos revelan que el geodinamos accionado por el desfasaje termo-químico del material cósmico acretado por gravitación hace 4500-5000 millones de años.

Y, el resultado de este proceso se encuentra en la rigidez e incompresibilidad del núcleo interior y el manto inferior alternando con la viscosidad del núcleo exterior y la astenosfera, además de la deformable y que --

bradiza corteza.

En consecuencia, la anisotropía endosférica del geodinamo origina los choques tectónicos y los movimientos diferenciales de los materiales subcorticales y corticales. Así, es como la Tierra revela su origen y constitución, fenómeno harto interesante.

2.2 LA TIERRA COMO UN DINAMO

La morfogénesis prawegeneriana se apoyaba en el principio de la permanencia de los continentes y de las cuencas oceánicas. Según este modelo geográfico el hecho de la permanencia y el fenómeno de la subsidencia de la corteza terrestre originaron los continentes y las cuencas oceánicas a partir de un nivel original. Modelo que Wegener impugnó por ser contrario al principio de la isostasia; además de que la constitución geológica del fondo de los océanos es de basalto y en donde el granito que es el material que predomina en los continentes está ausente.

La traza hipsográfica de la corteza terrestre realizada principalmente por Krümmel (1907) representó el mayor logro topográfico ya que permitió tazar vertical y horizontalmente a las geoestructuras planetarias e inferir movimientos afines. De donde surgió la idea de que el granito al igual que los témpanos se desplazaba sobre el basalto viscoso y liso pero denso.

La corteza terrestre está formada principalmente de basalto, granito y material sedimentario de variables espesores según lo revelan las velocidades de propagación de las ondas sísmicas. Por lo tanto, la asimetría de los bloques corticales causan en función de la densidad profundas diferencias en las mediciones gravitacionales entre los continentes principalmente en las cadenas orogénicas recientes y las cuencas oceánicas. Bouger (1745) asignó para los primeros -200 mgals y para las segundas + 200 mgals. De don surgió el principio de que hay un exceso de masa debajo de los océanos y un déficit debajo de los continentes principalmente debajo de las montañas.

De las mediciones gravitacionales se dedujo el principio de la isosta

sia término acuñado por Dutton.

Así, el modelo isostático elaborado por Dutton estriba en la existencia hipotética de una superficie de compensación situada a 100 km de profundidad y sobre la que se encuentran las dovelas continentales y oceánicas -- con orden creciente de densidad de 2.52 g/cm^3 y 2.76 g/cm^3 dispuestas en -- forma vertical respectivamente.

Airy diseñó un modelo isostático más depurado que admite la existencia de un nivel de compensación situado a una profundidad constante de 60 km y en donde las dovelas continentales y oceánicas independientemente de su espesor tienen densidad constante a razón de 2.67 g/cm^3 , las cuales yacen sobre un substrato de alta densidad de 3.27 g/cm^3 . Con la salvedad de que las dovelas continentales por tener mayor espesor se hundan más en el substrato en contraposición con las dovelas oceánicas, ajuste que permite que el substrato más denso se eleve por debajo de los océanos.

Por otra parte, los trabajos sismológicos realizados por Visser (1909), Mohorovicic (1909), Tams (1921), Angenheister (1921) y Gutenberg (1927) revelaron el grado de densidad en función de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas entre las rocas graníticas y basálticas; de donde Wegener concluyó que el material de los fondos oceánicos corresponde a una capa más profunda de la Tierra.

Eduardo Suess (1904) acuñó los términos de rocas ácidas o sial para designar a las rocas continentales y de rocas básicas o sima que son más densas por su alto contenido de hierro y que agrupan a todas las rocas del fondo de los océanos.

Henry Wilde (1891) explicó la existencia del campo magnético terrestre por la presencia de un campo primario generado por una esfera uniformemente magnetizada y un campo secundario compuesto por limaduras de hierro adheridas a la superficie de los océanos y magnetizadas por inducción.

Wegener es copartícipe de la idea de que el campo magnético principal se origina por la presencia de material ferromagnético en la corteza y el manto, así los fondos de los océanos que constituyen las partes más profundas de la corteza terrestre contienen un fuerte magnetismo debido a su al-

to contenido ferrífero.

Desde el umbral del oresente siglo las ciencias de la Tierra han experimentado el mayor impulso gracias a los descubrimientos en el campo de la física, la exploración oceanográfica y la satelización del espacio interplanetario.

Así, de la geofísica a través de la prospección sísmica, la cual se apoya en la reflexión, refracción e inclusive difracción de los gradientes sísmicos liberados por los terremotos o por las explosiones subterráneas inducidas revelan: los límites profundos de diferenciación termal de las geoestructuras planetarias, el desfase geoquímico que corresponde a las discontinuidades anisotrópicas de las hipogeósferas, las discordancias entre los materiales de la corteza terrestre constituida principalmente por rocas ultrabásicas, básicas y ácidas, y la diferenciación cronológica de la corteza terrestre. (Fig. 2.1).

La sismicidad del cuaternario está ahora geográficamente delimitada a las zonas pericontinentales tipo pacífico, mesoceánica tipo atlántico, de obliteración mesoega; y de la estabilidad tectónica de los escudos precámbricos generalmente fríos y asísmicos, sin soslayar la forma elipsoidal del planeta; todo ésto permite inferir ya sin ambigüedades que la Tierra es un cuerpo celeste sólido-elástico y por ende de resonancia capaz de acusar ligeras deformaciones horizontales y verticales de su superficie que como un todo repercuten en sus movimientos astronómicos tales como el de rotación, precesión y nutación, entre otros, según se desprende de los estudios realizados por interferometría.

En virtud de que la anisotropía interna de la Tierra se caracteriza por cambios de fase es decir de la estructura molecular de los materiales constitutivos de las geósferas endógenas capaces de soportar las más altas presiones, más que de composición química. Así, de las flexiones de los gradientes sísmicos que se caracterizan por el incremento, atenuación o dilución de las ondas P y S es posible advertir varios estadios intermedios anómalos estructurales.

Para dilucidar lo anterior Bullen Keith (1955) diseñó para la Tierra-

Tiempo de viaje vertical de las ondas S en segundos

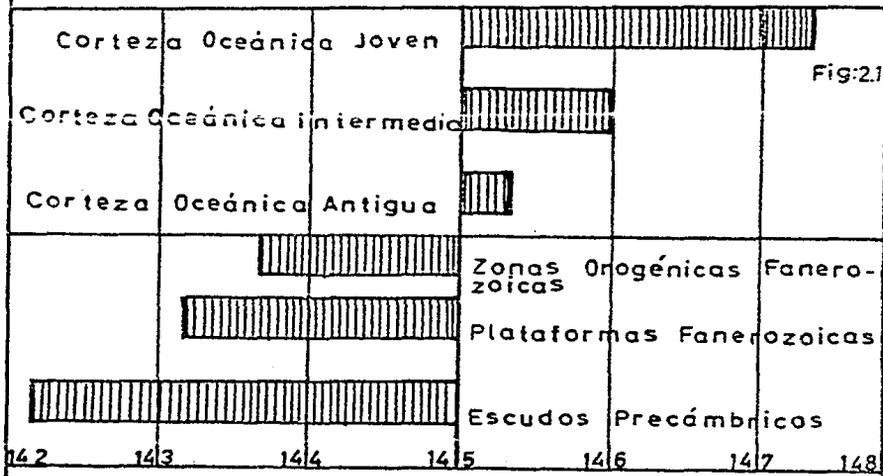
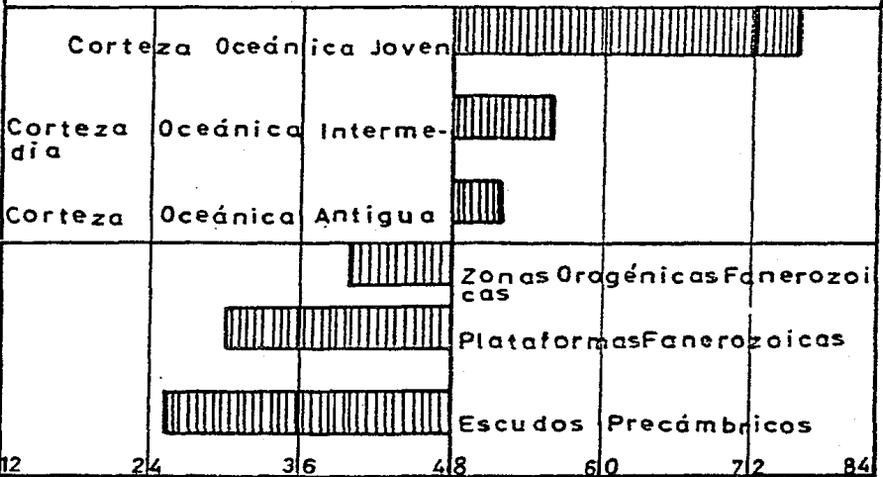


Fig:2.1

Flujo de calor en el manto (milliwatts por m²)



"The Deep Estructure of Continents" Thomas H. Jordan

un arquetipo vertical sísmico que consta de ocho esferas concéntricas con orden creciente hacia el interior del planeta de los parámetros geofísicos de densidad, presión e incompresibilidad.

En este modelo se distinguen en forma nítida las propiedades de resonancia de las distintas zonas endosféricas todo ello en función de la constitución geoquímica, fase y profundidad de los materiales de cada una de ellas. Propiedades que se manifiestan por medio de la reflexión, refracción o extremo grado de atenuación de los gradientes sísmicos liberados por los movimientos sísmicos diferenciales de la corteza terrestre. (Figs. 2.2-2.3).

Ahora bien, en contraposición con los parámetros geofísicos el perfil sísmico de la Tierra demostró que en el interior de la misma existen grandes contrastes estructurales que la geofísica todavía no explica satisfactoriamente, y los más distintivos son:

i) La existencia de dos zonas de transición. La primera se localiza en la base de la capa D", la cual marca la célebre discontinuidad de Gutenberg; y en donde de acuerdo con el perfil trazado por Gutenberg los gradientes sísmicos P y S son negativos.

El cambio en el perfil trazado por Jeffreys se advierte que en la discontinuidad de Gutenberg el gradiente sísmico P decrece de casi 14 km/seg a menos de 8 km/seg.

La segunda zona comprende la capa F, la cual marca el límite entre el núcleo interior y exterior y en donde el gradiente sísmico P disminuye.

ii) La extrema densidad del manto inferior. Macroestructura que comprende las zonas D' y D" y en donde los gradientes sísmicos P y S alcanzan casi 14 km/seg y 7 km/seg respectivamente. Contrariamente con el gradiente sísmico P que al cruzar el núcleo sólo alcanza de 8 km/seg a 11 km/seg.

Así, de acuerdo con el modelo endosférico diseñado por Bullen, y los perfiles de los gradientes sísmicos trazados por Jeffreys y Gutenberg es posible advertir que el manto inferior es más rígido que el núcleo. (Tabla.2)

Fundamento geofísico que Jeffreys habrá de esgrimir después para impugnar la hipótesis de Wegener.

Trayectorias de las ondas S

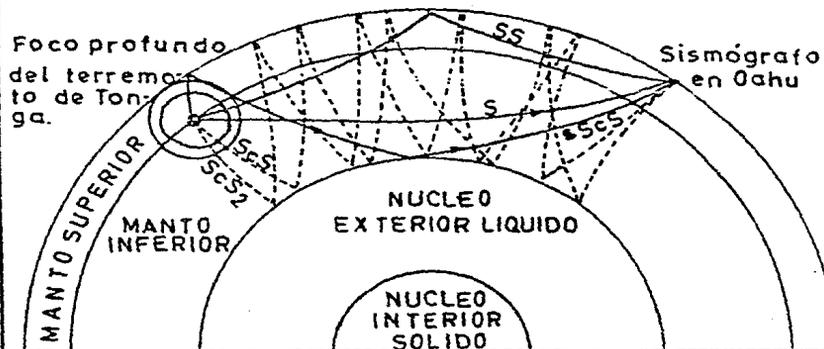
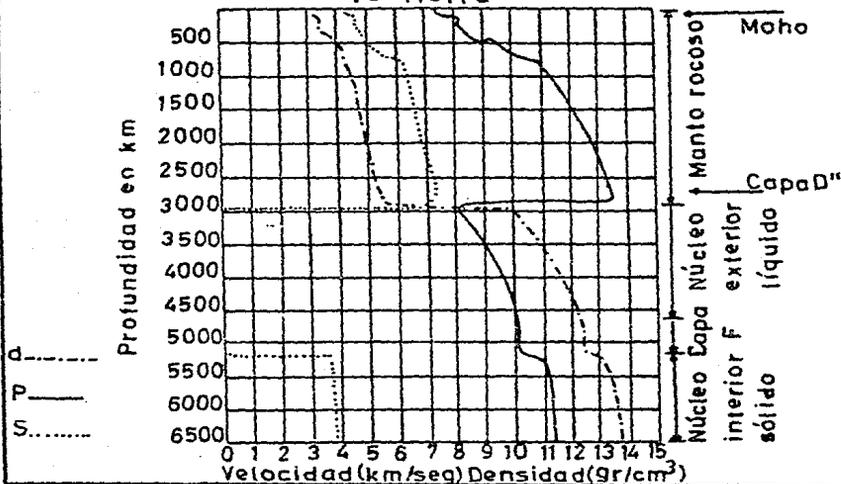
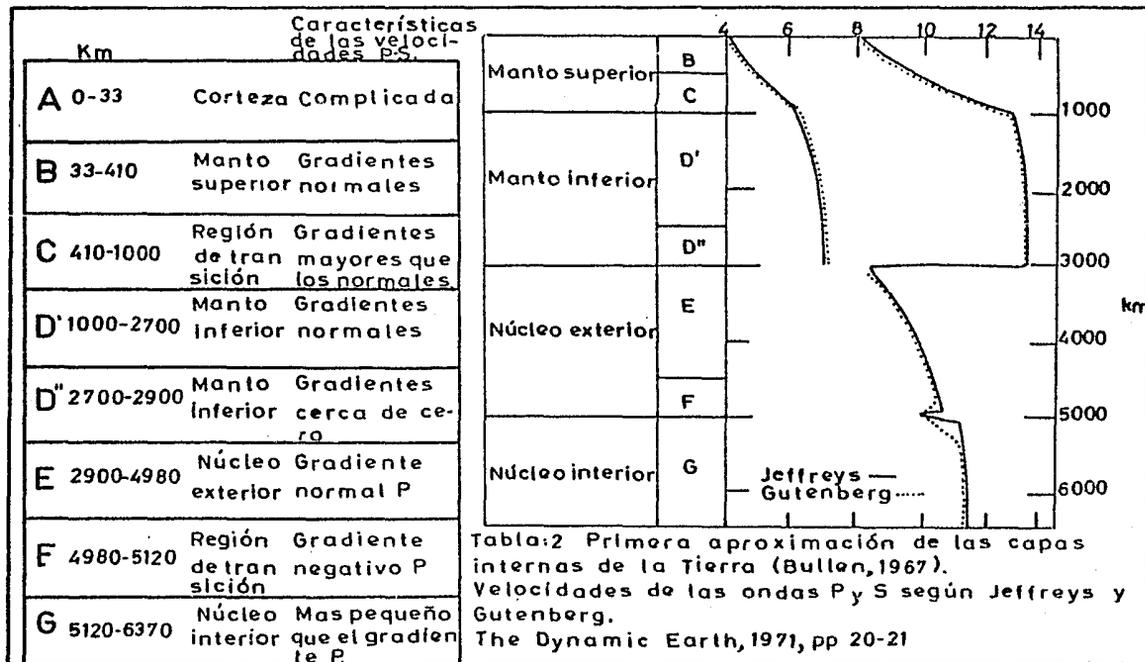


Fig 2.3

La fina estructura del interior de la Tierra





La zonación cronológica horizontal de la corteza terrestre y la estructura anisotrópica interna de la Tierra han llevado a la acuñación de un nuevo término la tectonósfera, que es la zona de la Tierra en donde tienen lugar todos los procesos tectónicos y cuya profundidad es de 400 km para los escudos precámbricos y 200 km para las zonas oceánicas.

La existencia de la tectonósfera se ha inferido por las decrecientes flexiones negativas de los gradientes sísmicos principalmente de las ondas S. De donde surgió la idea de que el espesor de la tectonósfera está controlado por los flujos de calor que provienen del manto.

En los océanos el modelo de placas tectónicas ha proporcionado la explicación de tan singular fenómeno. Como el nuevo suelo oceánico se expande lateralmente lejos de su centro de creación en la cresta de las cordilleras oceánicas se pierde calor por conducción, y por lo tanto las temperaturas decrecen con el tiempo.

Consecuentemente, el espesor de las capas aumentan con la edad de la corteza, y el flujo de calor de su superficie decrece. Es posible que debido a los escudos continentales no exista la astenosfera, lo cual explica la estabilidad sísmica y orogénica de estas regiones del planeta.

Así, la sismicidad, la orogénesis, la isostasia, el vulcanismo, el metamorfismo, entre otros, son consecuencia de las anomalías térmicas endosféricas entre las geoestructuras planetarias.

La auscultación geofísica, la vulcanosismografía, la inclinometría (detecta las protuberancias de la estructura volcánica en proceso de ascensión), la gravimetría, la magnetometría, la geoquímica de las aguas volcánicas, la petrografía de las rocas volcánicas, entre otras, están ya aportando valiosos datos que permitirán en un futuro no muy lejano tener un buen marco teórico geodinámico.

El sismismo planetario que comprende los fenómenos sísmicos considerados en su conjunto ha llevado a elaborar un modelo geográfico de las zonas estables e inestables de la corteza terrestre, así como de la detección de las geofracturas planetarias (megashears) y de las regiones que cuentan con altos flujos de calor.

En el vasto Universo intergaláctico se encuentran tres inconmensurables tipos de energía: gravitacional, electromagnética y nuclear. Estos son considerados por la astrofísica como los agitadores cósmicos que originan reacciones termonucleares y propician la convección interestelar de donde se desprende el magnetismo; o bien el proceso de nucleosíntesis o fraccionamiento de núcleos pesados. Todo ello ocurre en las distintas etapas de la evolución estelar.

La astrofísica que estudia los orígenes de la energía estelar y las radiaciones cósmicas, entre otras. Por medio de los métodos de fotometría y espectroscopía indica que las estrellas se forman por contracción gravitacional de gases electromagnéticos; y que los planetas se forman también por colapso de gases ionizados, además de nódulos y partículas ferromagnéticas (sideritos) fraguados por nucleosíntesis interestelar preexistente en la geometría del Universo.

Ahora bien, el proceso subsecuente a la acreción nebular ionizada es la diferenciación interestelar en zonas de convección a gran y pequeña escala.

Para los planetas el proceso subsecuente a la acreción heterogénea es el desfase termo-químico de los elementos siderófilos (silicatos y ferromagnético).

En ambos casos el momento angular de los cuerpos celestes queda implícito en el instante de la acreción, que unido a los procesos endógenos de diferenciación y desfase explican el origen del magnetismo estelar y planetario.

En el Universo como en la Tierra ningún fenómeno es fortuito. Así, la Tierra está inmersa en la magnetosfera, que es la prolongación de la ionosfera entre 12 y 14 radios terrestres y en la que se encuentra confinado el campo magnético de nuestro planeta cuyas líneas de fuerza magnética son comprimidas por el impacto del viento solar (protones y electrones que viajan a razón de 4×10^8 partículas/cm²/seg.).

El viento solar como todos los fenómenos que se observan en la superficie del Sol son consecuencia de reacciones termonucleares que se originan en el núcleo solar que determinan la formación de varias zonas de convec --

ción: la fotosfera, la cromosfera y la corona.

La luz que recibe la Tierra proviene de la fotosfera solar y debajo - de esta zona es donde se origina la convección propiamente. Así, las ondas de choque de la zona convectiva llevan energía a la cromosfera y a la corona.

La temperatura es baja en lo que se llama subfotosfera y subcromosfera, pero las ondas de choque elevan la temperatura en la cromosfera propiamente y en la corona. En consecuencia, el campo magnético del Sol es generado en la fotosfera y en la baja cromosfera, a pesar de que la convección -- tiene lugar en la zona subfotosférica.

En términos generales toda la actividad solar se explica por el modelo magnetohidrodinámico, que consta de un núcleo, una zona de radiación y - una zona de convección. Gigantesca máquina que opera en la zona de convección y comprende el 25 % de la superficie solar. El fluido que acciona a la dinamo es el plasma solar que se caracteriza por su alta conductividad eléctrica comparable a la del cobre en la Tierra.

Debido a la convección subfotosférica hay una redistribución del momento angular que permite la rotación diferencial de las capas internas del Sol.

Walter M. Elsasser (1946) y Edward C. Bullard (1948) son pioneros en - el estudio del campo magnético de la Tierra e infieren por inducción que éste se genera por procesos también magnetohidrodinámicos en el núcleo exterior líquido y proponen la teoría del dinamo autoexcitado. Motor hipógeocéntrico accionado por la interacción de varios factores, a saber:

- i) Convección de un fluido conductor eléctrico que mantiene y regenera el campo magnético.
- ii) Rotación diferencial entre ambos núcleos.
- iii) Líneas de fuerza inducidas vía los polos magnéticos y contorciones por el movimiento de rotación.
- iv) Equilibrio químico pero no térmico entre ambos núcleos (aleación de hierro-níquel y elementos ligeros como: azufre, oxígeno y silicio).
- v) Transformación de isótopos radioactivos como uranio 238 y potasio-

40 como principal fuente de energía.

Como ya se apuntó, el campo magnético se genera en el núcleo exterior líquido que actúa como conductor eléctrico y fluye en cilindros. Las líneas de fuerza del campo magnético podrían ser los filamentos del núcleo que --- aquí se describe como la línea que se introduce de norte a sur vía los polos magnéticos. (Fig.2.4. Procedencia: Jeanloz, Raymond. "The Earth's Core" -Scientific American- 1983, p 42).

Sin embargo, Bullar propone una combinación en cadena de cuatro distintos dinamos impulsados por dos patrones diferentes de movimiento dinámico.

Figura 2.5. Las líneas de flujo están indicadas por las flechas en el núcleo de la Tierra; (a) y (b), movimientos v_1 ; (c) y (d) movimientos v_2 ; - (a) y (c), secciones transversales normales al ecuador; en (b) y (d), las líneas de flujo en la sección transversal paralela al ecuador.

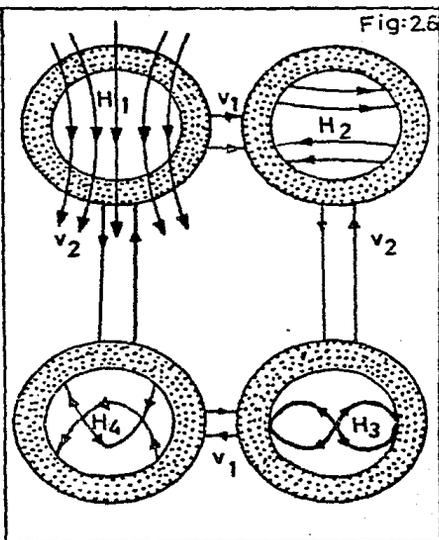
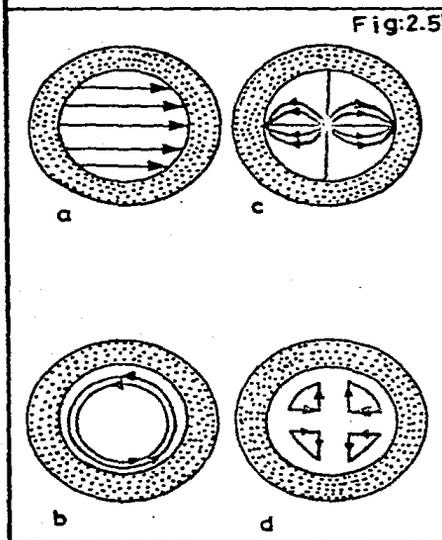
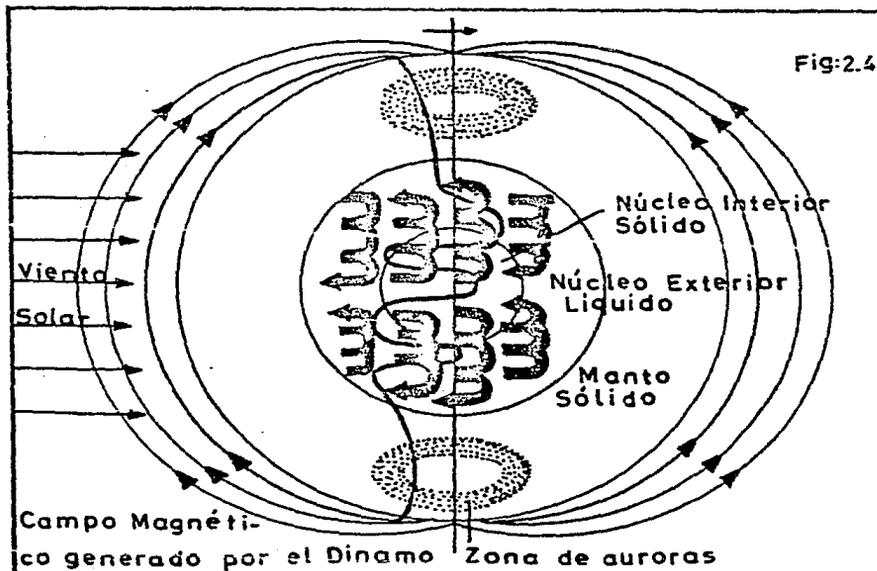
Así, un patrón de movimiento es designado como v_1 , es un giro relativo del fluido del núcleo en torno al eje de rotación de la Tierra. Este movimiento representa un posible movimiento relativo entre el núcleo líquido y el manto sólido.

El otro patrón (v_2) representa la configuración de una convección que puede presentarse por una diferencia en lastemperaturas de las partes superior e inferior del núcleo.

Figura 2.6. Cuatro campos magnéticos del sistema dinamo homogéneo autoexcitante de Bullar-Gellman dentro del núcleo terrestre y el acoplamiento de H_1 , H_2 , H_3 , H_4 con los movimientos v_1 y v_2 . Las flechas muestran las líneas de fuerza magnética.

La figura M_1 representa un campo magnético producido por corrientes uniformes con dirección oeste en el núcleo. Un acoplamiento del campo H_2 --- con el movimiento v_1 nos da una fuerza electromotriz $E_2 = v_1 \times H_1$, y la corriente eléctrica producida por E_2 genera un campo magnético H_2 . Otro acoplamiento del campo H_1 con movimientos v_2 produce un campo magnético H_4 .

En el acoplamiento del campo H_2 con el movimiento v_2 produce un campo H_3 , en tanto que el campo H_2 con el movimiento v_1 sólo induce una rota -



ción del campo H_2 . (Procedencia de las figuras. Nagata Takesi. "El campo -- magnético terrestre y sus variaciones", -El redescubrimiento de la Tierra-, 1982, p 152).

W. Gilbert (1600) y F. K. Gauss (1835) afirmaron que la Tierra es un imán y que en ella se localizan dos campos magnéticos: un campo magnético exterior permanente que comprende el 92 % del momento magnético y otro campo exterior variable que abarca el 8 %.

Gauss clasificó el campo permanente en: i) campo nuclear interno, el cual genera el 52 % del momento magnético e incluye el dipolo geomagnético; ii) campo de cobertura anómalo, que engendra el 40 % del momento magnético y por su orientación a él se debe la declinación magnética de $11^{\circ} 6'$; iii) campo cortical anómalo, que genera el 2 % del momento angular de naturaleza litosférica y por tanto de fuertes contrastes o perturbaciones por la presencia de materiales magnéticos y accidentes tectónicos; iv) campo externo, que engendra el 8 % del momento magnético.

En consecuencia, la operatividad del magnetismo es subsecuente al origen de la Tierra, y éste se manifiesta en la corteza oceánica la cual está formada por rocas básicas ferromagnéticas, que se caracterizan por su histéresis remanente orientada al dipolo geomagnético dominante en el momento de las efusiones.

Los sismogramas de los terremotos tectónicos, inducidos y volcánicos-revelan que la Tierra es un cuerpo que ante esfuerzos débiles o fuertes reacciona como un sólido-elástico o fluido viscoso; prueba de ello son las majestuosas fracturas sismogénicas sobre la superficie terrestre.

La corteza terrestre ha sido escindida desde siempre por el proceso -de riftogénesis y en éste están involucrados varios fenómenos el más contróvertido es la migración o vagebundeó del polo magnético considerada como la fuerza que propicia la expansión del suelo oceánico, fenómeno que presupone la existencia infrayacente de material con bajo coeficiente de viscosidad.

Para dilucidar el bamboleo del dipolo geomagnético Leonhard Euler demostró que un cuerpo rígido puede bambolear en forma periódica alrededor de

su eje de rotación si éste fuera diferente a la simetría del eje del cuerpo.

La megateca del mesozoico fue escindida de sur a norte por uno de los primeros estadios de la riftogénesis, el cizallamiento, el cual estuvo circunscrito a un eje de simetría de expansión no lejos del eje de rotación de aquellos tiempos.

En la génesis de los rift valleys y de los océanos, las protuberancias magmáticas infracorticales originaron el arqueamiento cortical positivo, el cual precedió a los esfuerzos de tensión, de cizallamiento y a la actividad volcánica. De ahí que, las coladas de magma juvenil de constitución ferromagnética al enfriarse adquirieron la polarización magnética.

Para las rocas jóvenes de 50 M., o menos los polos magnéticos norte-sur estudiados a partir de la polarización magnética están ubicados cerca del polo Norte actual.

Sin embargo, para las rocas más antiguas los polos magnéticos están desviados respecto al actual e inclinados hacia el ecuador de nuestra época.

La figura 2.7 muestra las sucesivas posiciones de los polos magnéticos estudiados a partir de las rocas europeas y americanas. En ambas las posiciones más antiguas están inclinadas hacia el ecuador.

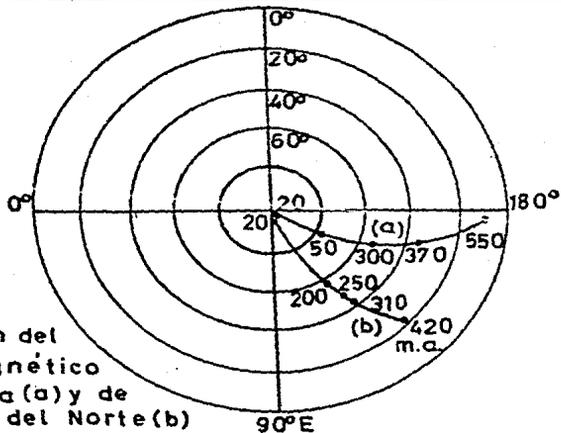
Runcorn sugirió que los lugares geométricos, el proveniente de los datos europeos y de los datos americanos pueden hacerse coincidir si al segundo se hace girar 30° en sentido contrario a las manecillas del reloj, en torno al polo Norte.

Ahora bien, si se supone que los continentes americano y europeo estuvieron conectados en las líneas de sutura de la cresta mesoatlántica durante el mesozoico, y a partir de entonces empezaron a separarse gradualmente se entiende el paleomagnetismo de las posiciones de los polos.

Por otra parte, el bandeo magnético y simétrico asociado a las dorsales explican la expansión crónológica del suelo oceánico lo mismo que las inversiones del campo magnético.

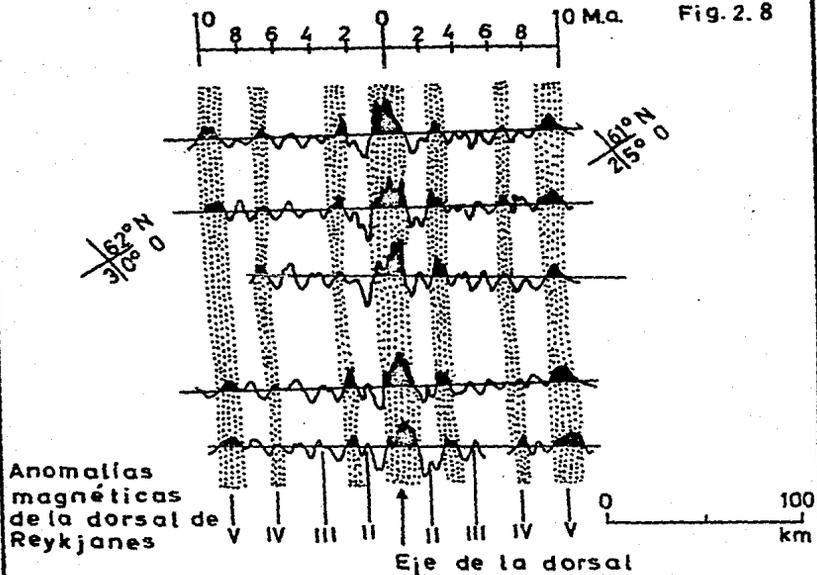
En la figura 2.8, por ejemplo, la banda central de anomalía positiva-

Fig. 2.7



Migración del
polo magnético
de Europa (a) y de
América del Norte (b)

Fig. 2.8



Anomalías
magnéticas
de la dorsal de
Reykjanes

Eje de la dorsal

se divide en dos bandas positivas simétricamente equivalentes si prosigue -- la expansión y se produce un cambio en la polaridad. Entonces, las rocas -- más jóvenes situadas a lo largo de la dorsal quedarían inversamente magne-- tizadas y darían lugar a una nueva central de anomalía negativa.

Luego esta banda podría dividirse en dos al proseguir la expansión y -- establecerse el siguiente intervalo de polaridad normal (o sea la polaridad actual).

En consecuencia, la polarización magnética del suelo oceánico permite por medio de las anomalías conocer la edad de las rocas en el momento en -- que fueron emplazadas en la dorsal. Hoy se calcula que la velocidad de ex-- pansi3n es del orden de 1 y 15 cm/año.

Por lo tanto, la velocidad de expansi3n y las direcciones se mantie -- nen constantes durante períodos del orden de un millón de años.

Paralela o no a la migraci3n del dipolo geomagnético se encuentra la -- no menos interesante oscilaci3n del polo Norte geográfico o de rotaci3n al-- rededor del polo de la eclíptica, oscilaci3n que es consecuencia del efecto gravitatorio del Sol y de la Luna sobre el ecuador terrestre, que intenta -- colocar el eje terrestre perpendicular a la eclíptica.

Movimiento que en la esfera celeste traza una trayectoria espiral si-- nuosa llamada precesi3n que dura 25,600 años (año platónico) y del que se -- desprende el movimiento de nutaci3n que dura 18.6 años, y es nada menos que las sinuosidades de las elongaciones irregulares del movimiento de prece -- si3n.

Por esto, el movimiento polar es un cambio en la orientaci3n de la -- Tierra en relaci3n con el eje de rotaci3n. Como el manto y la corteza bambo -- lean cerca del eje, el polo traza una trayectoria espiral.

La figura 2.9, muestra las fluctuaciones de la rotaci3n de la Tierra, las cuales son detectadas a través de las observaciones VLBI (Very Long -- Baseline Interferometry) en las cuales las seales de radio emitidas por -- los quasars distantes miles de años luz sirven como puntos de referencia pa -- ra medir el bamboleo de la Tierra, los tenues cambios en el promedio del -- eje de rotaci3n y la imperceptible deriva de las placas.

Un caso insólito que ha revelado el método VLBI es que por ejemplo, - históricamente el promedio de rotación de la Tierra había sido considerada como constante. Pero el perfeccionamiento del mecanismo de relojería demostró que el promedio de rotación no es constante después de todo.

La longitud de un día se encontró que varía constantemente; los días de enero son en milésimas de segundos más largos que los días de julio.

En 1940 y 1950 los relojes de cuarzo y atómicos detectaron otro sistema en la variación de la longitud del día, con promedios de seis meses. Estas variaciones se asociaron con los cambios en la atracción gravitacional que ejerce el Sol y la Luna sobre la Tierra. Por lo tanto las variaciones en la longitud del día son predecibles en virtud de que se conocen las longitudes de las órbitas de la Luna y de la Tierra.

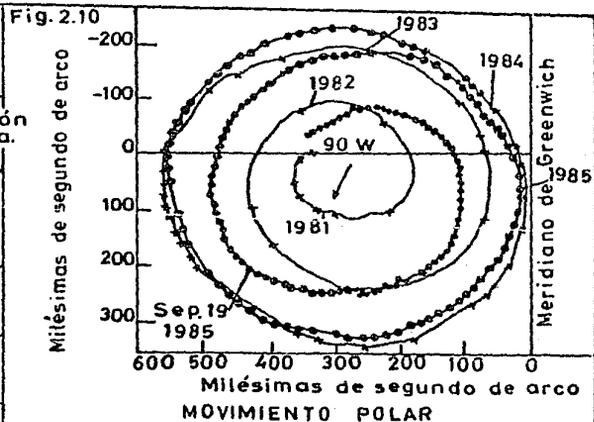
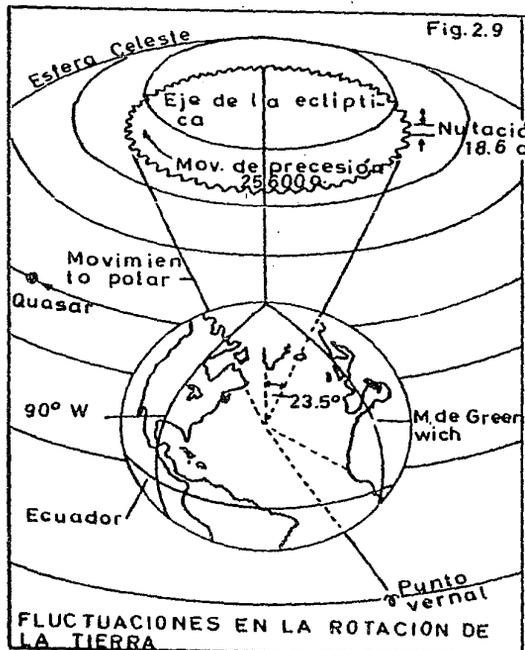
Estas fluctuaciones en la rotación de la Tierra se detectan a través de la observación de los cuasares que se encuentran a distancias muy grandes de la Tierra y son muy buenos puntos de referencias ya que se consideran fijos.

Sin embargo, un movimiento del eje de rotación de la Tierra (la nutación) o de su manto y la corteza (movimiento polar) con relación a un cuasar estacionario cambia la orientación de la línea de referencia entre los telescopios.

En este apartado están involucrados varios fenómenos pero la clave -- hasta el momento se encuentra en la interacción entre el núcleo y el manto terrestres, así como por la acción de los campos gravitacionales que el Sol y Luna sobre la zona ecuatorial de la Tierra.

El plano del ecuador está inclinado 23.5 grados con respecto al plano de la órbita de la Tierra (la eclíptica) por lo tanto el Sol y la Luna no se encuentran a la misma altura del plano ecuatorial, por lo tanto estos -- cuerpos celestes ejercen esfuerzos que tienden hacia la verticalidad del -- plano ecuatorial, el resultado es el movimiento de precesión.

Ahora bien, estas variaciones astronómicas están condicionadas por el estado físico del material del núcleo y del manto. Se tiene la idea de que el núcleo fluido tiene forma elipsoidal.



Procedencia de las figuras: "Studying the Earth Very-Long-Baseline Interferometry", - Scientific American-, November 1986, pp 48-52.

Las observaciones VLBI permiten también medir en forma precisa el -- Tiempo Universal (UT 1), el cual es el ángulo de fase rotacional de la Tierra: el ángulo entre el meridiano de Greenwich y el círculo de la eclíptica (punto Aries) y los polos celestes. Las fluctuaciones del UT 1 revelan que el promedio de rotación de la Tierra es fluctuante.

La figura 2.10, muestra el movimiento polar medido por las observaciones VLBI para el período que comprende de septiembre de 1980 a noviembre de 1985. Entre 1980-1981, que comprendió un período de 365 a 430 días el bamboleo estuvo fuera de fase e inclusive tendió a cancelarse. De ahí que la amplitud del movimiento fue relativamente pequeño.

Pero de 1983 a 1984 el movimiento se incrementó. El temblor de México de septiembre de 1985, no tuvo efecto significativo en la trayectoria del polo.

Un ciclo completo de oscilación consiste de una espiral hacia fuera (cruces) y una espiral hacia dentro (puntos) y comprende de 6.5 a 7 años.

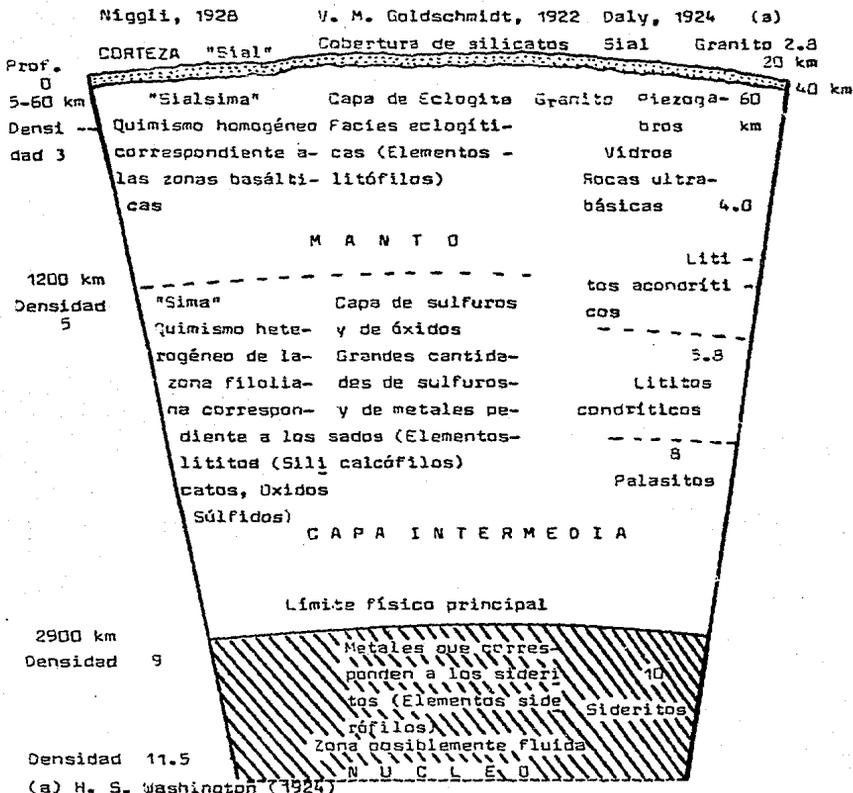
Se dice que la oscilación del polo significa una deriva lineal a gran escala; y que actualmente el bamboleo del polo es en dirección de los 45° - de longitud oeste (flecha) a un promedio de 3.7 milésimas de segundo de arco y abarca aproximadamente 3 centímetros de la superficie terrestre.

2.3 ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA

Después de considerar la existencia virtual del geomagnetismo, para la hipótesis de la deriva surgió otro gran escollo: determinar la composición y espesor de la estructura interna de la Tierra.

La figura 2.11, muestra los modelos geoquímicos endógenos del planeta en los tiempos de Wegener, y en donde es posible advertir que el desfase geoquímico de los materiales varía en orden a la densidad, la cual es proporcional a la profundidad; de ahí surgió la idea de que la Tierra es sólida como el acero, y su coeficiente de rigidez se calculó a razón de $8,10^{12}$ g/cm/seg², lo que imposibilitaba todo movimiento.

Fig. 2.11



"Corte de la Tierra con las hipótesis más modernas acerca de su constitución". Procedencia de la Figura: "Einführung in die Geologie". H. Cloos.

Sin embargo, los movimientos tectónicos y atectónicos demuestran a todas luces que el coeficiente de rigidez para la Tierra en general es de $2 \cdot 10^{12}$ g/cm/seg², de $7 \cdot 10^{11}$ g/cm/seg² para el manto rocoso, y de $3 \cdot 10^{12}$ g/cm/seg² para el núcleo.

Por lo tanto, la velocidad a la que se mueve un continente bajo la influencia de una fuerza dada no depende en absoluto de la rigidez del sima sino del rozamiento interno o viscosidad o de su recíproco la fluidez.

Pray (1926) sugirió que probablemente hace 50 ó 60 Ma, el coeficiente de viscosidad de la Tierra fue de 10^{13} poises, es decir igual a la rigidez del hielo glacial lo que indudablemente produjo grandes desplazamientos y desde entonces la rigidez ha aumentado.

Schweydar indicó que la viscosidad de la Tierra es de 10^{12} poises, y sugirió que sólo es fluida la capa situada entre 100 y 1600 km de profundidad. Jeffreys utilizó valores mayores de 10^{21} poises.

Paralela a la consideración de la viscosidad de la Tierra se expuso el problema de la temperatura y se llegó al consenso de que una capa fundida tiene una viscosidad tan pequeña como para permitir grandes desplazamientos e inclusive favorecer la convección.

Ahora bien, en la estructura interna de la Tierra está presente toda su historia.

La teoría de Laplace (siglo XVIII) acerca del sistema solar contempla el hecho de que éste surgió de una nebulosa de materia cósmica en condiciones de alta temperatura.

Schmitt (1934) considera que la Tierra surgió de la condensación de materia cósmica en condiciones no de altas sino de bajas temperaturas, para después incrementar su temperatura.

Las teorías actuales sostienen que originalmente el planeta fue una substancia fría sin partículas sólidas y debido a la compactación de las mismas por efecto de la gravedad se produjo un incremento en la temperatura que originó la fusión. A esto se agregan los impactos meteoríticos y la energía producida por los elementos radioactivos. Simultáneamente la materia se fue desfazando.

1) La corteza terrestre es el conjunto de rocas sedimentarias y cristalinas que yacen por encima de la discontinuidad de Mohorovicic. Hay dos tipos de corteza: continental y oceánica. La corteza continental, tiene un promedio de 35 km de espesor y localmente llega a alcanzar 75-80 km bajo -- los grandes sistemas montañosos.

En su estructura presenta tres capas: la sedimentaria, con un espesor de cero a 15 km.

Las velocidades de los gradientes sísmicos es de 4.5 km/seg a 7 km/seg.

Por debajo se encuentra la capa granítica que consiste en granitos y rocas semejantes intrusivas, así como metamórficas del tipo gneíses. Esta capa muestra espesores variables hasta de 50 km debajo de las zonas montañosas jóvenes, y menos de 10 km en los escudos.

La densidad varia de 2.5 a 2.75, y la velocidad de los gradientes sísmicos varia de 5.5 a 6.2 km/seg.

La capa basáltica se encuentra encima de la discontinuidad de Mohorovicic. Su densidad es del orden de 2.8 a 3.3, y los gradientes sísmicos longitudinales se desplazan con velocidades de 6.1 a 7.4 km/seg. Su espesor se calcula entre 15 y 25 km o bien 40 km bajo los sistemas montañosos.

Bajo el fondo de los océanos la corteza presenta un espesor menor y -- está ausente la capa granítica, sólo están presentes las capas sedimentaria y basáltica, con espesor de 0.2 a 0.8 km, la primera, y de 3 a 12 km la segunda. La corteza basáltica es propia de todos los fondos oceánicos.

El académico soviético Vladimir Belousov afirma que la corteza terrestre en general es consecuencia del proceso de diferenciación físico-química del manto superior, y que la corteza está compuesta de rocas intrusivas ácidas, sin embargo, en la corteza se encuentran grandes emanaciones de roca basáltica uniformes en composición en contraste con las rocas ácidas formadas por granitización que conlleva la asimilación de rocas intruidas por el magma originado a través de los estadios de ultrametamorfismo.

Según Belousov el proceso de diferenciación debe contemplarse desde -- dos puntos de vista: el mecánico y el físico-químico.

El primero implica sólo la diferenciación cualitativa de los componentes de un sistema homogéneo en orden a sus densidades como masas suficientemente grandes que siendo plásticas pudieran fluir ya sea elevándose o hundándose, lo cual supone que la Tierra estuvo originalmente formada por grandes volúmenes de diferentes densidades. Proceso irreversiblemente acelerado por aumento de temperatura.

El proceso físico-químico lleva implícita la posibilidad de que la estratificación dentro de la Tierra se desarrolló a partir de una mezcla homogénea o solución de componentes por la separación de material ácido de la capa basáltica. Así, el resultado de la diferenciación es la capa basáltica la cual es una solución homogénea de silicatos.

En consecuencia, la diversidad de las capas dentro de una solución no es un proceso mecánico sino físico-químico que se basa en la semejanza molecular, y por lo tanto el proceso es irreversible.

En un medio viscoso como la materia que se encuentra en las profundidades de la Tierra el calor ayuda a la diferenciación y al aumento de la movilidad del medio. De tal forma que la diferenciación mecánica es efecto del proceso físico-químico que incluye la migración centrífuga de los elementos radioactivos.

La tensión o contracción de algunas partes de la corteza terrestre está en relación a la concentración o escases de radioelementos los cuales originan un nuevo equilibrio térmico.

Stephen Murooth opina que el volumen y extensión de la primitiva corteza ha crecido a través del tiempo geológico por la irreversible diferenciación geoquímica del manto superior y por la acreción del material nuevamente diferenciado de los continentes presentes principalmente en o cerca de sus márgenes.

Son tres los procesos que gobiernan la evolución de la corteza continental: i) la diferenciación geoquímica del manto superior principio hace 3800 Ma, y desde entonces predomina el crecimiento continental sobre el reciclado; ii) el material volcánico y plutónico es diferenciado del manto su

terior o de la corteza oceánica subducida en un intervalo aproximado de --- 200 Ma; iii) se debe considerar la permanencia de la corteza continental -- que por su relativa baja densidad no puede ser subducida pero si deformada.

La figura 2.13, muestra la estructura de la corteza terrestre: I, Dorsal; II, Planicies y montañas del continente; III, Cuenca de mar interior - (tipo Mar Negro); IV, Cuenca de mar marginal (tipo Japón); V, Arco insular - (tipo Kuriles); VI, Trincheras. 1. Agua; 2. Rocas sedimentarias; 3. Capa -- "granítica"; 4. Capa "basáltica"; 5. Manto; 6. Rocas del manto de mayor densidad; 7. Rocas del manto de menor densidad; 8. Fracturas profundas; 9. Conos volcánicos y canales magmáticos; M. Discontinuidad de Mohorovicic.

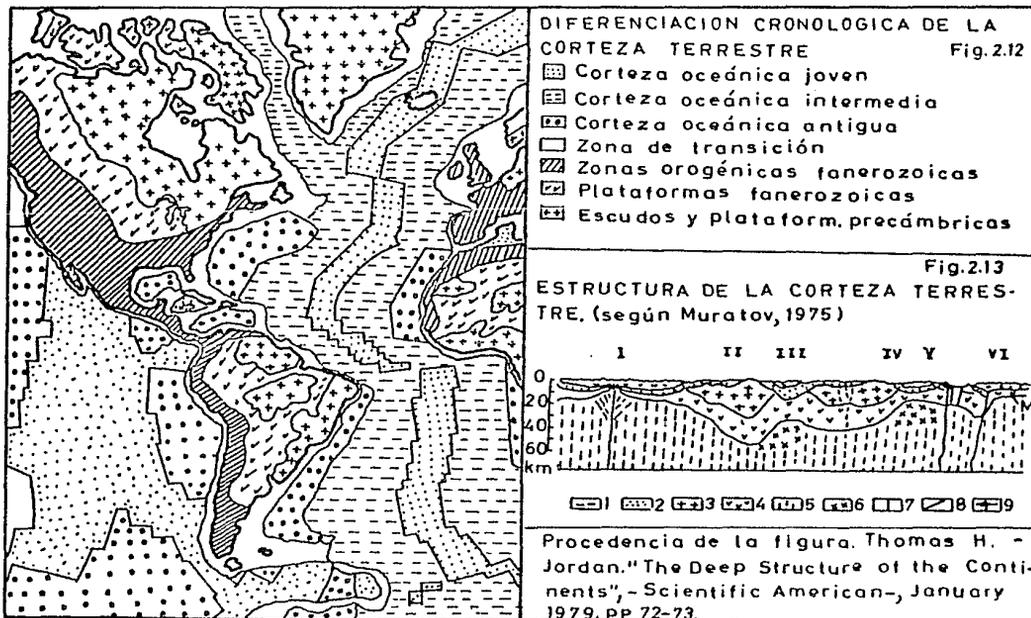
2) El manto. Macroestructura interna de la Tierra, que se encuentra - delimitada por las célebres discontinuidades sísmicas de Mohorovicic y de - Gutenberg (35-2900 km de profundidad).

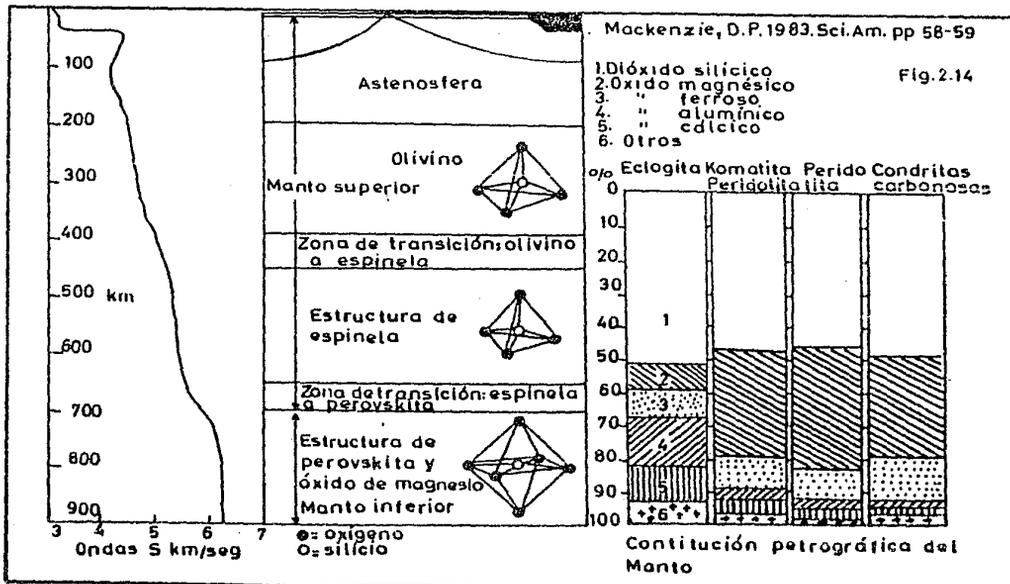
Desde el punto de vista sísmico el manto suele dividirse en manto superior e inferior. El primero, comprende la zona B, de 10-35 a 400 km; y la zona C, de 400 a 900 km de profundidad (modelo de Bullen). En estas zonas es posible advertir el incremento de velocidad de los gradientes sísmicos P y S, de 8 km/seg a 13 km/seg, y de 4 km/seg a 6 km/seg (tabla 2).

El segundo, comprende las zonas D', de 900 a 2700 km; y la zona D", - de 2700 a 2900 km de profundidad. En estas zonas el incremento de los gradientes sísmicos es del orden de 14 km/seg, y 7 km/seg.

A la luz de la geoquímica es en la macroestructura mantélica donde -- se nota el desfasaje geoquímico y la diferenciación termal. El primero, comprende un cambio de la estructura molecular de los materiales mantélicos; y el segundo, se refiere a la variación gradual hacia el exterior de las isothermas de las zonas de transición en que por razones de densidad se divide el manto.

En el manto superior se encuentra la controvertida zona de la astenosfera o zona de baja de viscosidad, situada entre el suelo oceánico y 200 km de profundidad, y en donde se localizan las llamadas "crestas astenosféricas", que bien pueden definirse como protuberancias de anomalías positivas del techo del manto, circunscritas a las dorsales mesoocéánicas. (Fig. 2.14)





En consecuencia, la manifestación ulterior de los estadios geoquímicos del manto son la corteza continental y oceánica, las cuales son incompatibles química y cronológicamente. La última representa más de dos tercios de la superficie sólida de la Tierra, y en ella los rift mesoocéánicos y las zonas de subducción inter-pericontinentales reciclan el manto.

De ahí que la acreción continental es a expensas de la regeneración del suelo oceánico. Otro de los grandes contrastes entre las geoestructuras planetarias es el contenido de calor radiogénico generado por los elementos litófilos grandes iones y cuya vida media permite datar la edad de la Tierra.

Es en la corteza continental donde se encuentran los más altos porcentajes de radioelementos, ejemplos: rubidio, 76 %; potasio, 62 %; uranio, 50 %; plomo, 50 %; torio, 32 %; estroncio, 22 %; neodimio, 18 % y samario, 10 %.

S. R. Taylor considera que la riqueza porcentual de radioelementos de la corteza continental se explica por la degradación radioactiva del manto.

Las señales geográficas y geofísicas de la corteza terrestre se explican por la interacción de procesos de tectogénesis y orogénesis. Procesos que enraízan en los modelos de convección que operan allende la Moho; y cuya función es la de transferir materia con bajo coeficiente de viscosidad.

Materia viscosa infrayacente que se origina por una serie de anomalías termales positivas debido al desfasaje geoquímico de los materiales, a la liberación de calor residual, a la mutación de los radioelementos, a la energía gravitacional e inclusive el calor que se genera por la sutura de los frentes continentales.

La figura 2.15, muestra cuatro posibles modelos de convección: a) modelo de convección que afecta a todo el manto. Es posible que el aumento de temperatura lleve a los materiales del manto a alcanzar un punto en donde se inicie la fusión y por ende la convección a gran escala; b) modelo de convección circunscrito a la fase espinela-clivino. El manto tiene una estructura estratificada debido a las sucesivas fases de transición que va desde la peridotita con espinela hasta rocas que muestran un empaquetado

denso de átomos de oxígeno. Es posible que en este caso la convección esté circunscrita a la fase olivino-espínela; c) modelo de convección circunscrita a la astenosfera o zona de baja velocidad y posiblemente opera también entre los centros de expansión y de consumo; d) modelo de convección de los hot spot, penachos térmicos o plumas. Convección de origen hipomantélico cuyas huellas se manifiestan en toda la superficie terrestre.

3) El núcleo, La barisfera de la Tierra está formada por siderolitos metalizados y trazas de elementos ligeros: azufre, oxígeno, cobre y silicio.

La siderosfera está diferenciada en núcleo interior sólido y núcleo exterior líquido. La diferenciación del núcleo se debe al desfasaje por recristalización del núcleo interior a expensas del núcleo exterior y el límite entre ambos está indudablemente marcado por la geoterma entre la solidificación y la fusión de los elementos siderófilos sometidos a una presión de 3.25 millones de atmósferas.

El núcleo comprende tres zonas: zona E, de 2900 a 4980; zona F, de 4980 a 5120; zona G, de 5120 a 6370 km de profundidad (modelo de Sullen).

Como signo de contradicción geofísica en el núcleo de la Tierra las velocidades de los gradientes sísmicos decrecen. Ondas P, de 8 km/seg a 11.4 km/seg; ondas S, 4 km/seg. (Fig.2.3).

Origen del Núcleo. El bagaje de información geofísica y astrofísica ha permitido diseñar dos modelos acerca de la génesis de la siderosfera:

1) Modelo de acreción homogénea. Los siderolitos compuestos por partes iguales de silicatos y ferroníquel acretaron por gravitación para después diferenciarse en orden a sus densidades. En consecuencia, el calor primigenio se debió a la liberación de energía gravitacional.

ii) Modelo de acreción heterogénea. Primero se formó el núcleo metálico, después los silicatos del manto acretaron alrededor del primero. La secuencia pudo ocurrir durante o después de la condensación de los materiales fuera de la nebulosa solar.

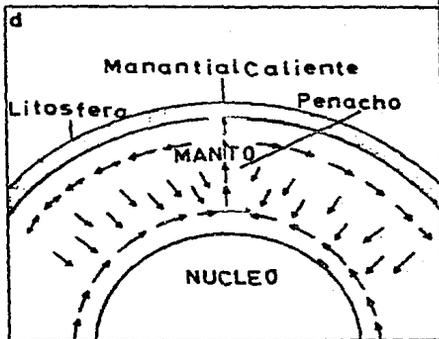
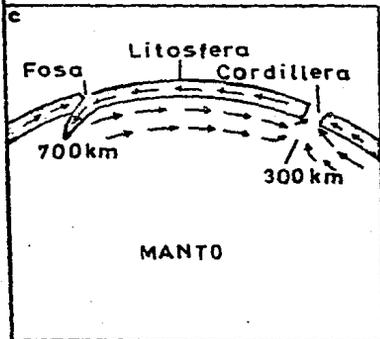
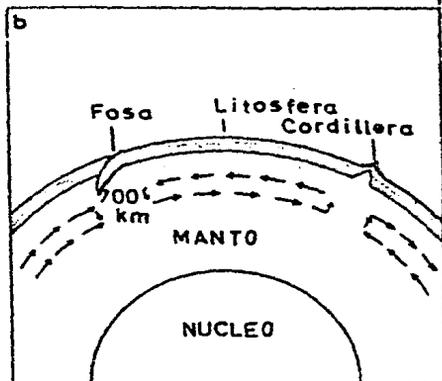
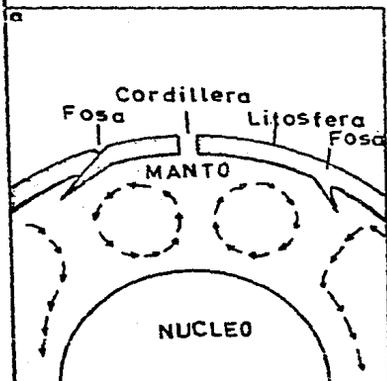
Las figuras 2.16 y 2.17, muestran una serie de experimentos realizados en el laboratorio acerca de las propiedades del hierro e inclusive de la metalización de algunos óxidos en las condiciones de presión y densidad del núcleo.

Modelos de Convección

Fig.2.15

a. Modelo de convección que afecta todo el manto

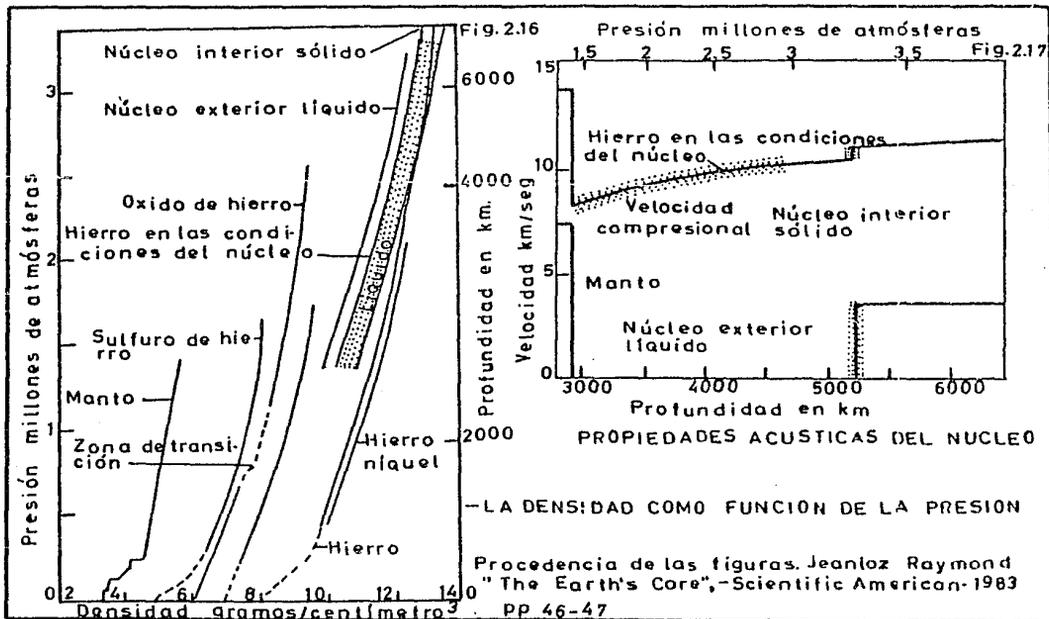
b. Modelo de convección circunscrito a la fase espinela-olivino



c. Modelo de convección circunscrito a la astenosfera

d. Modelo de convección del penacho térmico

Procedencia de la figura: "El manto de la Tierra", -Deriva Continental y Tectónica de Placas-Scientific American, 1976, p 255



C A P I T U L O I I I

MORFOGENESIS DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

3.1 INTRODUCCION

Ayer como ahora, la morfogénesis de la corteza terrestre: continental y oceánica es configurada por procesos hipotectónicos generales cualitativamente diferenciados en la tectonosfera; entre los que se encuentran la orogénesis, la epirogénesis, los movimientos isostáticos y sísmicos, entre -- otros. Procesos que conforman la arquitectura del planeta, los cuales son - de hecho movimientos y deformaciones asimétricos de la tectonosfera.

En consecuencia, el espesor de la tectonosfera y la intensidad de la tectogénesis varían inversamente a la profundidad, fenómeno que explica la estabilidad e inestabilidad de la corteza terrestre.

Por esto la geografía del cuaternario representa una historia y un es- tilo tectónico diferentes porque las grandes disyunciones de la corteza con- tinental y el infracorrimiento del suelo oceánico son los rasgos tectónicos más importantes del planeta.

La geodinámica contemporánea se sintetiza en términos como: oscila -- ción del polo de rotación, migración del dipolo geomagnético, polos de ex - pansion, divergencia, convergencia, corrimiento horizontal y oblicuo, obli- teración y riftogénesis corticales. Términos que encierran la exégesis de - todos los accidentes geográficos.

Por ejemplo, la obliteración de la mesogea del mar de Tethys que prp- cipio hace 70 millones de años representa toda una sucesión de estadios tec- tónicos que van desde la riftogénesis hasta la orogénesis. El resultado to- do esto es la vasta cordillera Alpino-Himalaya en donde ahora es posible re- conocer estadios antiguos y modernos de subducción.

Complejo orogénico que cambió la geografía y la historia del planeta- y de la humanidad.

3.2 AMALGAMACION Y DISGREGACION DE LA PANGEA

Alfred Wegener autor de la hipótesis de la deriva de los continentes - contempla un modelo paleogeográfico circunscrito a la era paleozoica, que - se apoya en principios e inferencias por correlación lito-bioestratigráfi - cas de los márgenes continentales, esto es:

i) La talasocracia del paleozoico fue la Panthalasa (Urozeane) que - circundaba a la Pangea (Ur-Kontinent). La megagea estaba formada de granito y gneis paleozoicos relictos consolidados más antiguos de la Tierra (Urge - teine).

ii) Los macizos cristalinos emplazados en la Pangea estaban formados - por rocas eruptivas o metamórficas perturbadas de su posición originaria -- (Grundgebirge).

iii) El ensamblaje granítico-gneísico se mantuvo hasta principios del mesozoico, época en que se presentaron las cizallas y megacizallas que es - cindieron a la megagea.

iv) Una geofractura escindió de sur a norte a la Pangea.

v) La escisión del extremo meridional de la Pangea propició la talaso - génesis del océano Atlántico a partir de un eje central de expansión la cor - dillera mesoatlántica formada por diagénesis tipo geosinclinal.

vi) Las correlaciones allende los flancos de la cordillera mesoatlán - tica meridional se encuentran en los basamentos cristalinos de edad precám - brica, las biofacies de la flora Glossopteris y Gangamopteris lo mismo que - el reptil Mesossaurus, los conglomerados glaciares permo-carboníferos (ti - llitas), las series volcánicas del Marroo en Suráfrica y Santa Catalina en - Brasil.

vii) Correlaciones orogénicas de los sistemas Armórico (carbonife - ro) y Caledónica (del cámbrico al silúrico) entre Norteamérica y Europa.

viii) La separación de la plataforma cristalina de India del conjunto meridional de Gondwana hoy se reconoce por las contrapartes gneísicas fa - lladas del frente oriental de Madagascar y el oeste de India.

ix) La obliteración del vasto geosinclinal del Tethys fue consecuen -

cia de la ascensión horizontal y hacia el norte del subcontinente de India - la antigua Lemuria, que al colisionar con los bordes meridionales de Eurasia y el Tibet originó la vasta cordillera alpinotípica, el Himalaya.

x) Los majestuosos grábenes del este de Africa son consecuencia de -- las fuerzas de tensión que desgarran a la corteza terrestre en contraposición con las fuerzas de compresión (Fig. 3.1).

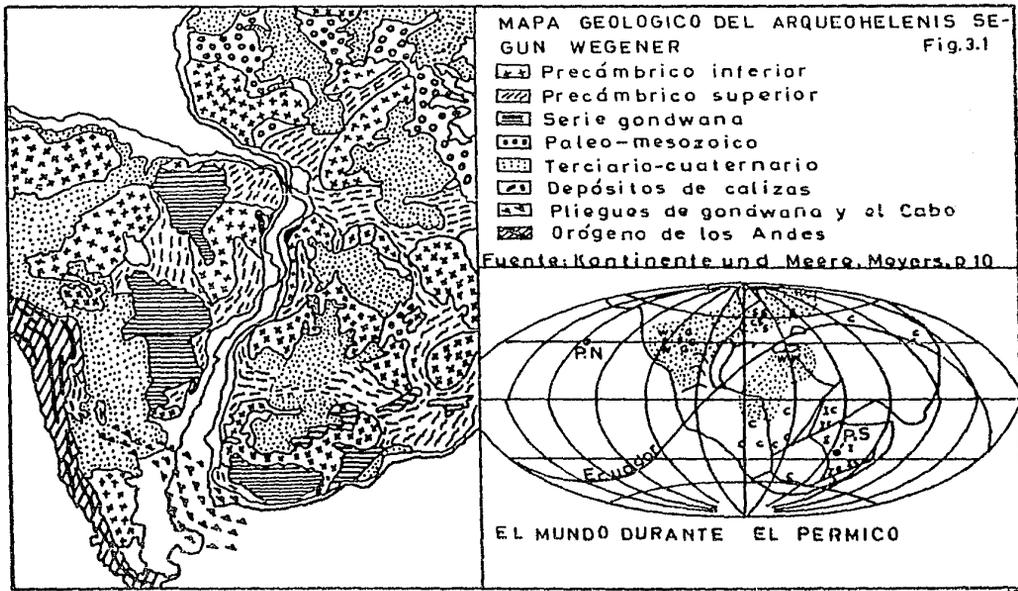
Otra forma de energía presente en el Universo es la nuclear. Núcleos pesados fraguados por el proceso de nucleosíntesis en el interior de las estrellas.

La radiactividad es la desintegración gradual y espontánea de núcleos atómicos petrogénicos. Es hasta la fecha el mejor método para datar la edad de la Tierra, que se estima entre 5000-46000 millones de años.

La radiogeocronología se apoya en tres analogías: i) la medición de las edades de los isótopos por los métodos uranio-plomo y rubidio-estroncio presentes en los meteoritos dan edades de solidificación cercanas a 4600 Ma; ii) las rocas y suelos más antiguos de la luna dan edades para el uranio-plomo y rubidio-estroncio cercanas a 4600 Ma, generalmente interpretadas como la edad de la diferenciación de la luna en términos de su manto y corteza; iii) el crecimiento de los isótopos terrestres de plomo se aproxima bastante a un patrón que demuestra que hace 4600 Ma la abundancia de isótopos de plomo en la Tierra fue igual a la del cuerpo celeste que dio origen a los meteoritos.

Así, por prospección radiactiva petrogénica se han identificado sobre la superficie terrestre relictos de las otras provincias petrográficas, - ejemplos: el escudo del Atlántico del Norte, provincia arqueana que comprende el noroeste de Escocia, oeste de Groenlandia y costas de Labrador y en donde los gneises del oeste e inclusive los tardíos de Groenlandia contienen isótopos que datan de hace 3725 ± 50 , 3622 ± 72 y 3040 Ma. Las edades de los gneises del Labrador es de 3125 Ma.

En Guyana, oeste de Australia, Rodesia, Uganda y sureste de India las provincias petrográficas se caracterizan por su ultrametamorfismo y por la edad de los isótopos estimada entre 3100-2700 Ma.



Estas áreas están rodeadas por cinturones más jóvenes proterozoicos-- formados por removilización de rocas arqueozoicas, evidencia estructural -- que refuerza en parte la idea de la acreción continental. Para la cual se-- anteponen tres hipótesis: i) la corteza terrestre fue diferenciada desde -- muy temprano de la historia de la Tierra y desde entonces ha sido retrabajada por procesos tectónico-térmicos sucesivos, de ahí que sólo el 5 % de la corteza continental corresponde a las provincias petrográficas arqueanas; - ii) la corteza continental ha crecido de manera más o menos regular desde - su temprana iniciación hasta la época actual; iii) la tasa de crecimiento - de la corteza continental se ha acelerado en el transcurso del tiempo geológico.

La datación radioactiva de las provincias petrográficas está avalada por el arqueomagnetismo, el cual indica que durante el proterozoico África y Suramérica formaron parte de un solo continente al que también perteneció Norteamérica hasta hace 1000 Ma.

El escudo de Canadá estuvo unido a Groenlandia, el noreste de Escocia y parte de Europa. Además, el suocontinente de Gondwana estuvo integrado a la Pangea durante el proterozoico.

Paralelo al modelo radiométrico y arqueomagnético de reconstrucción paleogeográfica se encuentra otro modelo no menos importante que se apoya en los indicadores paleoclimáticos entre los que se encuentran: el carbón, las evaporitas, las calizas, las tillitas, las fosforitas, principalmente.

Richard K. Bambach y colaboradores proponen un modelo paleogeográfico anterior al mesozoico, que consta de seis grandes continentes:

- i) Gondwana. Supercontinente que estuvo formado por Suramérica, Florida, África, Antártida, Australia, India, el Tibet, Irán y Arabia Saudita.
- ii) Laurasia. Estuvo configurada por la mayor parte de Norteamérica, Groenlandia, Escocia y la península de Chukotski en el este de la URSS.
- iii) Báltica. Estuvo constituida por el oeste de los montes Urales Escandinavia, Polonia y el norte de las Alutianas.
- iv) Siberia. Formada por el este de los montes Urales a las montañas Verkhoyanski. Su margen meridional cruzaba el norte de Asia a la presente -

Kazakhstán y el sur de Mongolia.

v) Kazakhstán. Estuvo formado por una región situada entre las montañas Altai y el Tien Shan.

vi) China. Estuvo integrada por varios bloques que ahora comprenden todo el sureste de Asia.

Las evidencias radiométricas, paleomagnéticas y paleoclimáticas indican que el movimiento del polo es un fenómeno aparente y que son los continentes los que se mueven con respecto al polo geográfico.

Sin embargo, la curva de migración polar señala que durante el pérmico y el triásico todos los continentes estuvieron unidos.

La figura 3.2, muestra el continente universal de Pangea geográfica -mente localizado hace 200 Ma, entre los paralelos $+50^{\circ}$ norte y -80° sur, y entre los meridianos -40° oeste y $+120^{\circ}$ este.

En la vertiente oriental de la megagea granítica hallábase la gran bahía del mar de Tethys que separaba Eurasia de Gondwana.

Las medias lunas A y S indican las posiciones del Arco de las Antillas en las Indias Occidentales y el Arco de Escosia en el extremo de América del Sur.

Los círculos señalan las posiciones de los polos magnéticos para cada uno de los continentes durante el pérmico.

La figura 3.3, muestra los primeros estadios de la riftogénesis que por medio de las megacizallas (líneas gruesas) roturaron a la Pangea durante el triásico hace 180 Ma.

Así, el cizallamiento originó la deriva continental y al mismo tiempo principió la obliteración del mar de Tethys (líneas negras a trazos).

Las flechas dentro de los continentes indican el vector de movimiento de las placas después de que se inició la deriva. Las áreas punteadas representan las zonas neotectónicas suooceánicas.

La figura 3.4, muestra la talasogénesis de los océanos Atlántico e Índico consecuencia de la riftogénesis suboceánica en sus modalidades de dorsales y fallas transformantes. Fenómeno que se presentó durante el jurásico

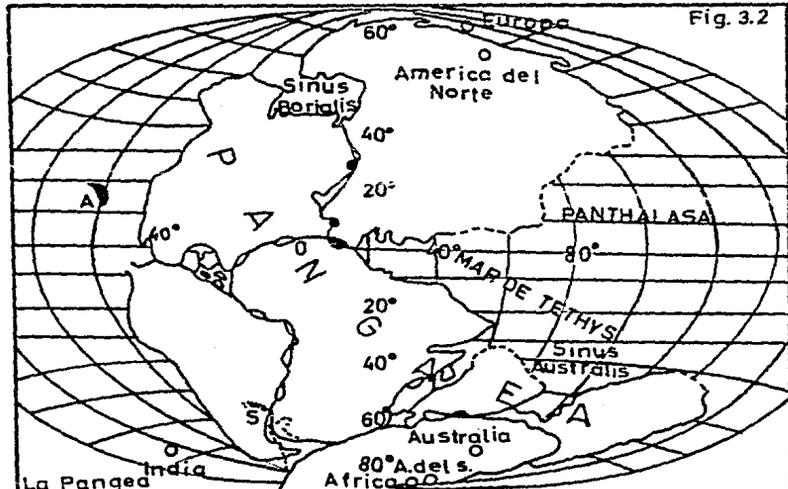


Fig. 3.2

La Pangedo
hace 200 Ma.

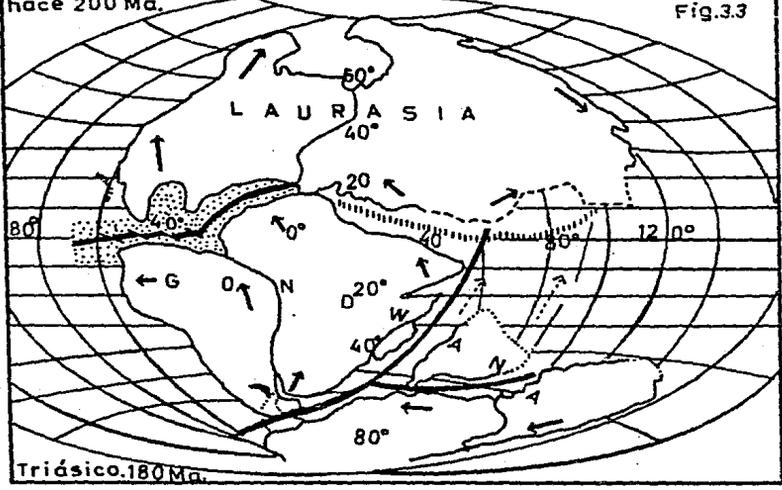


Fig. 3.3

Triásico. 180 Ma.

hace 135 Ma.

La placa de India en su corrimiento hacia Eurasia estaba cerca del -- hot spot (punto negro) el cual derramaría basalto dando lugar así a la meseta del Decán. Este hot spot hipomantélico de alta temperatura daría lugar -- después a la cordillera Chagos-Lacadive en el océano Indico.

Simultáneamente en el océano Atlántico Meridional otro hot spot (punto negro) inmerso en el neotatlántico daría lugar a las lomas arrosariadas -- de Walvis y Río Grande.

La figura 3.5, muestra al mundo a principios del cretácico hace 65 Ma y en donde la riftogénesis suboceánica vía los rift valleys y las fallas -- transformantes escindieron con mayor profusión la zona neotectónica de las cuencas de los océanos Atlántico e Indico, lo mismo que el canal de Mozambique. La separación de Australia de la Antártida se debió a la bifurcación -- hacia el sureste de un rift entroncado a la dorsal del Indico, lo que más -- tarde sería la dorsal del Pacífico Oriental.

Es también el período en que la placa de India se encontraba sobre el hot spot que derramó lava basáltica y formó la meseta del Decán. La obliteración del Tethys se encontraba en sus últimos estadios.

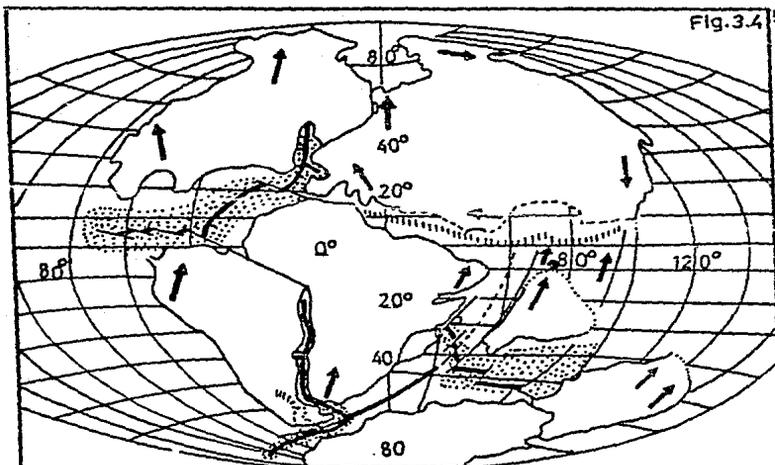
3.3 ORIGEN DE LOS CONTINENTES

La historia de la Tierra suele dividirse en dos etapas disímiles desde el punto de vista geológico. La primera, comprende desde el origen del -- sistema solar hasta la acreción planetesimal llamada protectónica; la segunda, comprende desde el desfasaje geoquímico y la formación de las geósferas internas hasta el presente llamada tectónica. Así, Jain (1976) clasifica a esta última en varios estadios:

i) Estadio lunar. Se caracterizó por una intensa actividad volcánica, de ahí que la primera corteza fue tipo oceánica actual.

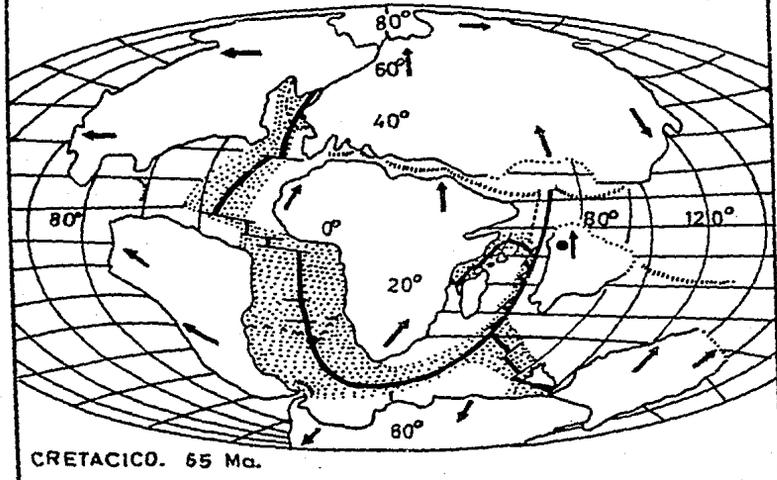
ii) Estadio oceánico primario. Se caracterizó por la presencia del -- agua en la superficie terrestre, consecuencia de la evolución de la atmósfera. Un hecho verosímil es que el agua surgió hace 4000-3800 Ma, y desde en-

Fig.3.4 56



JURASICO. 135 Ma.

Fig.3.5



CRETACICO. 65 Ma.

tonces operan la degradación y la agradación.

iii) Estadio protocontinental-geosinclinal. El suceso más notable consistió en la formación de un tipo de corteza continental, que creció a costa de la oceánica. El tiempo comprendió del arcaico al proterozoico y terminó hace 1700 Ma. Aquí fue donde se formaron los primeros ovoides a nucleoides también llamados protocontinentes. Los primeros debieron haber surgido hace 3500-3300 Ma.

iv) Estadio continental primario. El rasgo característico de esta etapa consistió en la inversión de los procesos que influyeron en el desarrollo de la corteza como la obliteración, el metamorfismo y la granitización.

v) Estadio platafórmico-geosinclinal. Comprendió del proterozoico tardío al paleozoico. Se produjo la obliteración de las fosas geosinclinales que habían surgido al final del proterozoico, ejemplos: Atlántico del Norte Groenlandia Oriental, las Islas Británicas y Escandinavia.

El relieve consistió de planicies. Los cratones fueron roturados por el proceso de riftogénesis, originando fosas rift semejantes a las actuales

vi) Estadio continental secundario. La obliteración de los geosinclinales gestó sistemas montañosos lo que significó el crecimiento de la corteza continental. El cierre de los ejes geosinclinales del Atlántico Norte y de los Urales dió lugar a la formación del supercontinente de Laurasia, mientras Gondwana era desmembrada por un sistema de rifts.

vii) Estadio continental-oceánico. Se inició hace 200 Ma, y el acontecimiento más importante fue la separación definitiva de Gondwana y Laurasia fenómeno tectónico que dió origen a los continentes y océanos actuales.

Sin embargo, como signo de contradicción desde el punto de vista de la estructura de la Tierra, entre las geoestructuras planetarias se encuentran: los arcos islas, las profundas trincheras y los hot spots (puntos calientes, plumas hipotermales o penachos térmicos) microestructuras planetarias que permiten también entrever el origen de los continentes.

Los continentes derivan en términos generales de sucesivas adiciones y subtracciones de rocas ácidas, básicas y ultrabásicas que por medio de procesos endógenos corticales y subcorticales como el vulcanismo, el meta-

morfismo, el ultrametamorfismo y los elementos climatológicos revierten el material cortical primigenio.

A través de estos procesos se han gestado sobre la superficie terrestre las grandes revoluciones orogénicas que se caracterizan por deformaciones positivas y negativas a gran escala del relieve continental y suocéánico. En virtud de que la orogénesis consta de varias fases y se engendra en largos períodos de tiempo siempre va acompañada de procesos magmáticos.

Ahora bien, el origen y la dinámica de las geoestructuras planetarias estriba en la existencia infrayacente de una zona de menor viscosidad que se localiza entre la Moho y el manto superior llamada astenosfera en la que los esfuerzos contrarios originan un estado de tensión nula.

La astenosfera y la corteza terrestre forman la tectonosfera o zona en donde tienen lugar todos los estadios tectónicos.

V. A. Magoriski subraya que a la profundidad de la astenosfera las temperaturas verosímiles se aproximan lo más cerca al intervalo de fusión y al incremento de la presión resulta menos ostensible que el de la temperatura.

La astenosfera es la región en donde se extinguen los movimientos relacionados con la distribución de masas de la corteza, en virtud de que la astenosfera amortigua los movimientos que provienen de las capas profundas del manto.

La astenosfera se caracteriza por su relativa baja viscosidad que es de 10^{25} poises inferior en dos o tres órdenes a la región del manto, los alzamientos y hundimientos de su peso son compensados por el trasiego de su sustancia. Por lo tanto, la astenosfera es una ingente generadora de movimientos corticales.

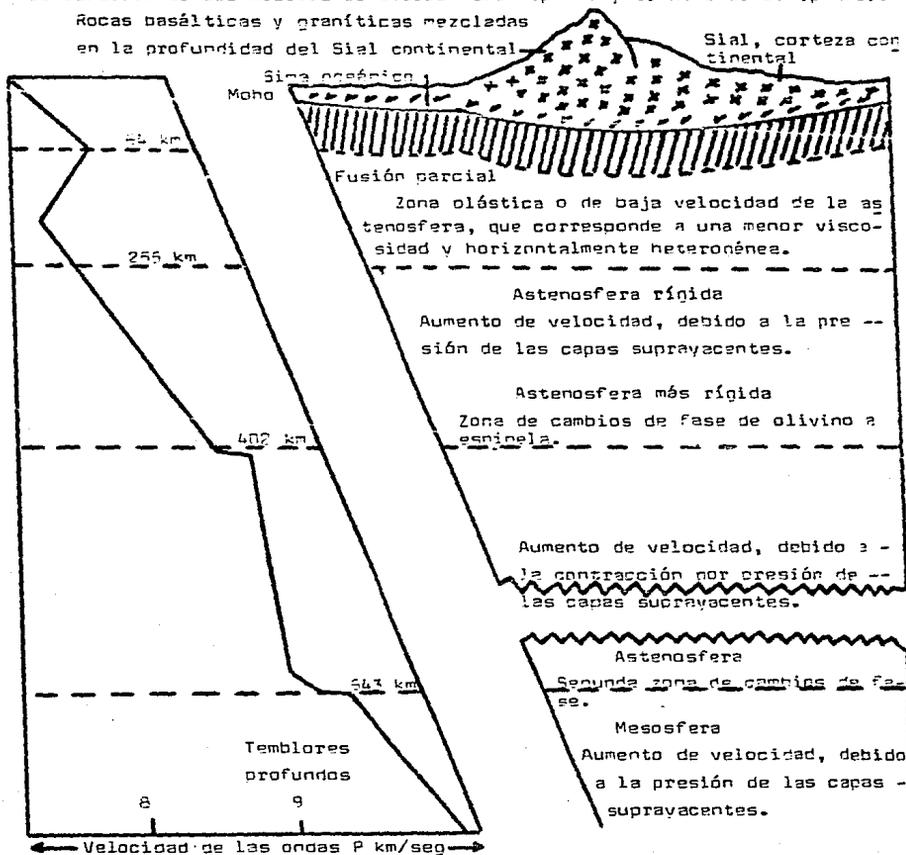
La figura 3.6, muestra en términos generales un corte vertical de la tectonosfera en donde resaltan las propiedades de la astenosfera.

La astenosfera se localiza entre el diastroma de la Moho (40 km debajo de los continentes y entre 11-12 km debajo de los océanos) hasta una profundidad de 700-643 km. Esta zona relativamente viscosa comprende varias capas que de hecho corresponden a cambios de fase, es decir del empaquetado -

ESTRUCTURA DE LA CORTEZA Y EL MANTO SUPERIOR

Fig. 3.6

Combinación de los modelos de William Glen (p 14) y V. N. Zharkov (p 176).
Rocas basálticas y graníticas mezcladas
en la profundidad del Sial continental



molecular de los materiales.

La astenosfera se le concibe por lo general como una zona viscosa, -- sin embargo, en ella el incremento de la rigidez es proporcional a la profundidad.

Todo lo anterior se deduce del análisis del perfil sísmico del grado P, que presenta varias y agudas inflexiones negativas.

Sobre el diastroma estructural de la Moho se localizan las raíces de los continentes y la delgada corteza oceánica. Geoestructuras planetarias - formadas por rocas y minerales, que se originan a partir de gases, líquidos fundidos, disoluciones acuosas, procesos orogénicos, recristalización de minerales preexistentes y magma.

La discontinuidad de Mohorovicic es la superficie de cambio brusco entre la corteza y el manto. La diferencia de densidad entre ambas estructuras hace que en ella cambie de modo súbito la velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

3.4 LOS MAYORES CRATONES DEL MUNDO

Los cratones o escudos precámbricos son núcleos continentales consolidados de la corteza terrestre, que se caracterizan por su estabilidad tectónica, por un vulcanismo débil, por anomalías gravitacionales pequeñas y por gradientes geotérmicos menores que los de las zonas tectónicamente activas.

Desde el punto de vista tectónico a los cratones se les clasifica como estructuras germanotípicas (Mittelgebirge), que corresponden a una clase de formación montañosa en una costra endurecida que, incapaz de plegarse, se fractura.

Geográficamente a los cratones se les agrupa en superiores e inferiores; y se argumenta que se formaron durante el arqueoico. Entre los cratones primitivos más importantes se encuentran : el de Angara, el de Fennosarmantia, el de Gondwana que lo integran los macizos africano, antártico, australiano y brasileño, el de Laurasia correspondiente al escudo canadiense.

Por lo tanto, los cratones son relictos de paleoestructuras prefanerozoicas y fanerozoicas formados de rocas graníticas.

Contiguos a los cratones se encuentran las plataformas o estructuras tabulares cubiertas por sedimentos, y las zonas orogénicas fanerozoicas alpinótípicas.

Desde el punto de vista cronológico los cratones se clasifican en: antiguos, de basamento precámbrico; y los jóvenes de basamento paleozoico y mesozoico.

1) Cratón de Europa Oriental. Estructura antigua, que abarca el norte de Europa, desde el golfo de Bristol, en Inglaterra, hasta los Urales. En el cratón se reconocen los escudos Báltico y Ucraniano.

2) Cratón de Erie. Estructura antigua conocida como macizo de Erie, - el complejo metamórfico data de hace 2600-2200 Ma. Se localiza en el extremo norte de Escocia.

3) Cratón de Siberia. Estructura antigua y la mayor de la Tierra (4 - 400 000 km²). Se extiende desde los Urales hasta el mar de Okhotsk.

Una característica propia del cratón es la presencia de fracturas profundas relacionadas con la actividad magmática.

4) Cratón del Idostán. Estructura antigua con edades variables de -- 3200-500 Ma. Es un subcontinente relacionado con el protocontinente de Gondwana y está limitado por los Himalaya y Birmania.

5) Cratón Chino-Coreano. Estructura antigua datada en 3400 Ma. Incluye parte de Corea, la península de Liaotung, el mar Amarillo, la península de Shantung y el oriente de China.

6) Cratón de China Austral. Estructura antigua, que comprende la región del mismo nombre.

7) Cratón de Indochina. Estructura antigua, que se extiende al sur -- del cratón de China Austral, pero separado del mismo por una zona de fracturas.

8) Cratón de Kolima. Estructura antigua, que comprende el extremo noroeste de la URES.

9) Cratón del Tibet. Estructura antigua conocido como macizo, al sur y oeste está delimitado por el Himalaya.

10) Cratón de Siberia Nororiental. Estructura antigua, que incluye la región del mismo nombre.

11) Cratón de Tarim. Estructura antigua, que se localiza en Asia Central.

12) Cratón de Africa Septentrional. Estructura antigua datada entre - 3500-3200 Ma. Ocupa casi todo el continente en su porción norte y central - extendiéndose hacia el sur hasta la cuenca del Congo, en Zaire. La mitad - norte del cratón está formado por la plataforma del Sahara.

13) Cratón de Suráfrica. Estructura antigua datada entre 3400-300 Ma, y se localiza en el sur del continente, en la región comprendida entre la desembocadura del río Orange, hasta Mozambique.

14) Cratón de Arabia. Estructura antigua, que se localiza en la península árabe y el territorio de Somalia.

15) Cratón de Angola. Estructura antigua, que se extiende en la costa angoleña del Atlántico.

16) Cratón Australiano. Estructura antigua datada en 2400 Ma, que -- abarca la mayor parte del territorio de Australia.

17) Cratón de la Antártida. Estructura antigua datada entre 1840-1500 Ma, que comprende el continente del mismo nombre.

18) Cratón de Norteamérica. Estructura antigua, que incluye una gran parte de Estados Unidos, Canadá, Groenlandia y la Tierra de Baffin.

19) Cratón Suramericano. Estructura antigua, que está integrado por -- los escudos de Guyana y Brasileño-Occidental. El límite entre ambos escudos es la depresión tipo sineclís que en relieve corresponde al valle del Amazonas, y al sur se reconocen otras dos depresiones del mismo tipo que son las de Maranhao y San Francisco.

20) Cratón Brasileño Oriental. Estructura antigua situada hacia la -- margen atlántica del continente. En su espacio se presentan cuencas tipo -- graben con rellenos de rocas sedimentarias.

21) Cratón Argentino-Paraguayo. Estructura, que se conoce también como plataforma de la Pampa-Patagonia.

A guisa de corolario una característica de los cratones es la presencia de montañas antiguas generalmente paleozoicas, hoy niveladas, ejemplos-

los sistemas montañosos de los Urales, los Apalaches, las montañas Escandinavas y las montañas antiguas del Mediterráneo.

Paralela a la orogenia emplazada en los cratones se encuentra la orogenia pericratónica del terciario y cuaternario que se caracteriza por un régimen más activo de sismicidad, vulcanismo y movimientos tectónicos. Entre las que se encuentran las cordilleras de Alaska, de Canadá, de los Estados Unidos, de México, de Suramérica, el cinturón Alpino-Himalayo, los Pirineos, los Apeninos, los Alpes, los Cárpatos, los Dináricos, los Balcanes, el Pamir, el Hindukush, el Karakorum y el Tien Shan. (Fig. 3.7).

H. Jordan (1979) diseñó un modelo hipotectónico del cratón canadiense. Modelo que estriba en el contraste geoquímico de la corteza terrestre, la cual está formada por rocas ácidas (60-75 % de sílice), intermedias (52-66 % de sílice) y básicas (40 % de sílice).

Entre las rocas ácidas se encuentran: las sedimentarias tienen una densidad de 2.5 gr/cm^3 , y la velocidad del gradiente sísmico P es de 2-5 km/seg; el granito tiene una densidad de 2.7 gr/cm^3 , y la velocidad del gradiente sísmico P es de 5.8-6.2 km/seg; las granodioritas y los gneises, entre otras.

El manto de la Tierra está formada por rocas ultrabásicas pobres en dióxido de silicio, óxido aluminico, óxido cálcico, óxido potásico; pero con alto contenido de óxido magnésico y óxido férrico. Los minerales de estas rocas son el olivino, el piroxeno y los anfíboles.

Entre estas rocas se encuentran: el basalto tiene una densidad de 2.9 gr/cm^3 , y la velocidad del gradiente sísmico P es de 6.4-7 km/seg; la eclogita tiene una densidad de 3.4 gr/cm^3 , y el gradiente sísmico P es de 8 km/seg. La eclogita es una roca densa un tipo de basalto a alta presión formada por granate rojo y augita; forma inclusiones lenticulares en pizarras cristalinas.

Si la temperatura es lo suficientemente alta una fracción del manto está fundido (10-20 %). Esta fracción fundida tiene composición basáltica - bajo los océanos y las zonas fanerozoicas; en contraste con el basamento de los escudos pobres en basalto. (Figs. 3.8 y 3.9).

Fig.3.7

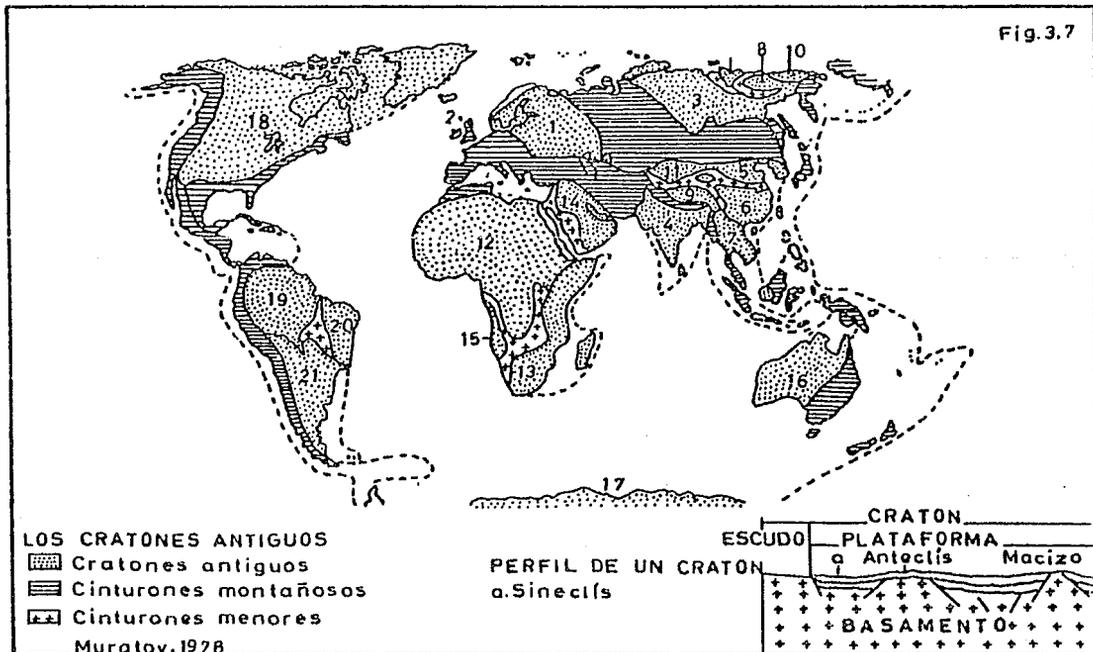
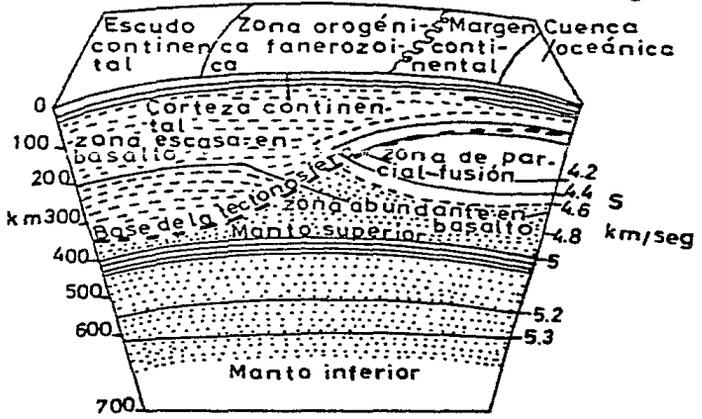
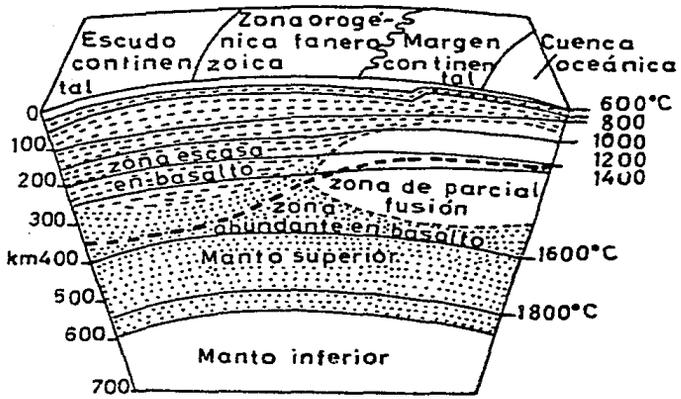


Fig.3.8



"Estabilidad cratónica"

Fig.3.9



"La estructura profunda de los continentes"

Procedencia de las figuras: "The Deep Structure of Continents", - Scientific American-January 1979, pp. 71-80

CAPITULO IV

CORRELACIONES PALEONTOLOGICAS Y BIOLOGICAS ENTRE LOS CONTINENTES DELAURASIA Y GONDWANA

4.1 INTRODUCCION

Del modelo paleogeográfico wegeneriano se conjetura que la Tierra gozó de un ambiente talasocrático cálido en las postrimerias de la era paleozoica y durante casi toda la era mesozoica.

Sin embargo, durante estas eras la Tierra se caracterizó porque su eje de rotación tuvo un mayor ángulo de desfase con respecto a su posición actual. Por las formaciones disarmónicas se supone que en aquellos tiempos el polo Norte se encontraba en la región nororiental del océano Pacífico.

Ahora bien, como el eje de rotación es siempre perpendicular al círculo máximo de la Tierra, el Ecuador Terrestre, es evidente que los cinturones climáticos y por ende los mosaicos biogeográficos tuvieron también una ubicación distinta a los actuales. Así lo testimonian la fauna pantropical, los depósitos de carbón, de sal, de yeso y las areniscas desérticas, que por su localización geográfica actual corresponden a las formaciones disarmónicas.

Consecuentemente las teorías geodinámicas contemplan que el poblamiento de la superficie terrestre se rige por: la irradiación, la convergencia, la divergencia, la complementariedad y el endemismo biológicos.

De ahí que a cada uno de éstos términos les corresponde un hábitat específico, es así como en las últimas décadas ha surgido una nueva ciencia, la paleoecología encaminada a la reconstrucción de los antiguos hábitats con fundamento en el principio del uniformismo.

Todo lo anterior encuadrado en la preexistencia del continente universal de Pangea, o, bien, en la dualidad continental de Laurasia y Gondwana.

Estas dos versiones paleogeográficas sugieren que la ruptura del protocontinente permo-carbonífero data de principios del mesozoico.

Este acontecimiento tectónico-geográfico tuvo consecuencias biológicas dramáticas en virtud de que algunas comunidades de plantas y animales se extinguieron gradual o masivamente debido a la desunión de los niveles tróficos; sin soslayar a las "catástrofes de radiación cósmica", que se caracterizan por colapsos de los cinturones de radiación Van Allen, y por los recurrentes períodos glaciales.

4.2 METODOS DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

Wagner esgrimió a la paleobiogeografía como el argumento más contundente que socavó a las hipótesis de la permanencia de las geoestructuras -- planetarias, y de los puentes intercontinentales; ya que según él, el colapso de estos es inverosímil desde el punto de vista de la isostasia.

Wegener se apoya consecuentemente en inferencias por analogías, es decir en correlaciones concomitantes entre las biofacies de los márgenes continentales de las cuencas de los océanos Atlántico e Indico; asimismo que -- en la zoogeografía correlativa del sureste de Asia, esto es:

i) Las floras del carbón del hemisferio norte y la flora de Gondwana son disímiles; en virtud de que la flora de Gondwana se caracteriza por la presencia de helechos arbustivos de los géneros *Glossopteris*-*Gangamopteris*, los cuales están asociados con depósitos glaciales.

ii) El *Mesosaurus*, reptil nadador de dos pies de largo se encuentra -- en la formación Dwyka del Karroo en las costas de Africa del Sur, justo sobre las rocas que contienen a la flora *Glossopteris*; estos depósitos son -- equivalentes a los de Gondwana en la India. En el sur de Brasil, en la cuenca del Paraná hay una formación que es equivalente a la de Gondwana y también contiene fósiles del reptil nadador.

iii) Africa Occidental, Centro y Suramérica tienen en común la presencia del pez Manatí, que habita en ríos y mares someros tropicales. Lo cual significa que en el pasado existió una conexión de aguas someras entre am --

bas márgenes continentales.

iv) Todos los subordenes de mamíferos de Norteamérica se encuentran también en Europa.

v) La distribución geográfica del género de lombrices (Lumbricidae) - abarca desde Japón hasta España, mientras que al otro lado del océano se encuentra sólo en el este de Estados Unidos.

Von Ubison (1921) opina que la fracturación de los continentes europeo y norteamericano originó la separación de una región faunística completamente uniforme, y que ésta fue tardía. De ahí que el aislamiento ha sido corto y las especies sobrevivientes no han podido desarrollarse en líneas diferentes.

Hauss, J. (1927) halló a través de los nichos ecológicos la interrelación entre los continentes europeo y norteamericano en virtud de que durante el terciario las distancias entre ambos era estrecha. En consecuencia, es posible concebir una serie de radiaciones faunísticas a través de los océanos.

Diener, C. (1919) considera que las correlaciones zoogeográficas entre el Decán y Madagascar que datan del pérmico y del terciario se debieron a una conexión de tierra firme entre India y Suráfrica a través de Madagascar. En virtud de que en la fauna de Gondwana que se encuentra en las Indias Orientales hay vertebrados europeos mezclados con otros que son autóctonos de Suráfrica.

La colonización de Madagascar por el Titanosaurus y una especie similar al Megalosaurus tuvo lugar durante el cretácico superior por medio de India porque en ese tiempo el canal de Mozambique ya se había formado.

Wallace (1876) clasificó a la fauna de Australia en tres clases, estas son: i) la clase más antigua se encuentra en el sureste de Australia y muestra una interrelación con la fauna de India, de Ceilán, de Madagascar y de Suráfrica. Entre las clases se encuentran los animales termófilos, las lombrices; lo cual demuestra que Australia e India estuvieron unidas hasta el jurásico inferior; ii) la presencia de mamíferos peculiares tales como los marsupiales y los monotremas muestran una clara interrelación con --

las especies de Suramérica. Todo ello es posible en virtud de que Australia por medio de la Antártida estuvo unida a Suramérica, del jurásico inferior (momento de la ruptura de la India) al eoceno (momento de la separación de Australia con respecto a la Antártida).

Las migraciones continentales no sólo involucran cambios en la configuración geográfica de la superficie terrestre, sino que trascienden las -- fronteras de las geoestructuras planetarias y encuentran su máxima expre -- sión en las correlaciones por irradiación adaptativa, en el endemismo bioló -- gico allende los océanos y en las concordancias y discordancias de las bio -- facies fósiles.

Todo lo anterior se apoya en la universalidad de los hábitats fito -- zoogeográficos permo-carboníferos circunscritos por los márgenes continen -- tales de la otrora megagea granítica.

Por esto, se ha establecido una serie de métodos de correlación, a sa -- ber:

i) Correlación por unidad lateral, que consiste en restablecer la con -- tinuidad física entre las unidades de rocas.

ii) Correlación por litología, que se restringe a las cuencas locales a los tipos de roca, al contenido fósil y a la similitud en el contenido de minerales.

iii) Correlación por técnicas geofísicas, que consiste en el análisis de la conductividad eléctrica de los estratos infrayacentes.

iv) Correlación por biofacies.

v) Correlación por unidades radiométricas. Método que es más usual pa -- ra terrenos formados por rocas ígneas y metamórficas; y que consiste en ta -- sar el contenido de potasio-argón (edad relativa), uranio-plomo (edad abso -- luta).

vi) Correlación por paleomagnetismo de las unidades stratigráficas -- del suelo oceánico.

Según el paleontólogo Henry Fairfield Osborn, la multiplicación y di -- versificación de algunos géneros de reptiles y mamíferos del cretácico al -- terciario tienen su explicación en la radiación adaptativa, que consiste en

la evolución que se diversifica multitudinariamente a partir de un ancestro individual pero por razones de hábitat ecológico los individuos llegan a diverger.

La divergencia se presenta también por la interconexión entre masas continentales por la ruptura de la homogeneidad que antaño existió, por ejemplo, entre los invertebrados marinos. El fenómeno se presentó por la emersión del istmo de Panamá, el cual originó el aislamiento genético y en consecuencia la divergencia.

Durante el cenozoico la obliteración del mar de Tethys originó la convergencia y la divergencia faunística. A principios del cenozoico en el mar de Tethys existió la homogeneidad de la fauna de invertebrados, sin embargo en el mioceno (hace 25 Ma.) ésta se alteró y se estableció la marcada diferencia entre la fauna del Mediterráneo y la del Indico.

La convergencia se presenta cuando los progenitores son diferentes en su origen pero gradualmente los descendientes llegan a asemejarse cada vez más con otros a través de la adaptación al mismo género de vida. Fenómeno que se presenta también por el ensamblaje entre faunas de diferentes regiones.

Lo mismo sucede con los animales que desarrollan una similar morfología porque ellos ocupan nichos ecológicos similares, por ejemplo, el oso hormiguero de Suramérica, el cerdo hormiguero de Africa y el cosmopolita pangolín.

Al final del plioceno (hace 2 Ma.) por la conexión entre Norte y Suramérica a través del istmo de Panamá, el cual propició la migración de la fauna entre ambos continentes, por ejemplo, el mastodonte, el tapir, el camello primitivo y los carnívoros. El armadillo nativo de Suramérica emigró hacia el norte.

Durante el cenozoico la fauna mamífera de Africa tuvo un fuerte elemento endémico, los elefantes. A principios del mioceno los mamíferos de Eurasia penetraron en Africa. así, la migración permitió la reducción y extinción de la fauna indígena africana al mismo tiempo que los ancestrales elefantes cruzaron Eurasia.

La complementariedad consiste en que las faunas de las áreas contiguas a los márgenes continentales reaccionan a las alteraciones del medio ambiente. Por ejemplo, cuando una conexión terrestre anterior al unirse nuevamente las faunas tienden a diverger mientras que la ruptura de la conexión terrestre propicia el efecto opuesto.

El patrón de complementariedad es significativo porque propicia un chequeo cruzado en la interpretación del registro fósil.

El endemismo separado consiste en que un grupo de organismos fósiles está delimitado en su distribución geográfica, sin embargo, aparecen en dos o más regiones del mundo separados por barreras geográficas. Por ejemplo, la distribución geográfica del Mesosaurus, reptil que vivió en el paleozoico tardío (hace 270 Ma), y ahora su osamenta se encuentra en las formaciones de ambos lados del océano Atlántico.

La figura 4.1, muestra lo que bien se llama épocas de florecencia y de crisis biológicas sobre la Tierra, que comprende el fanerozoico.

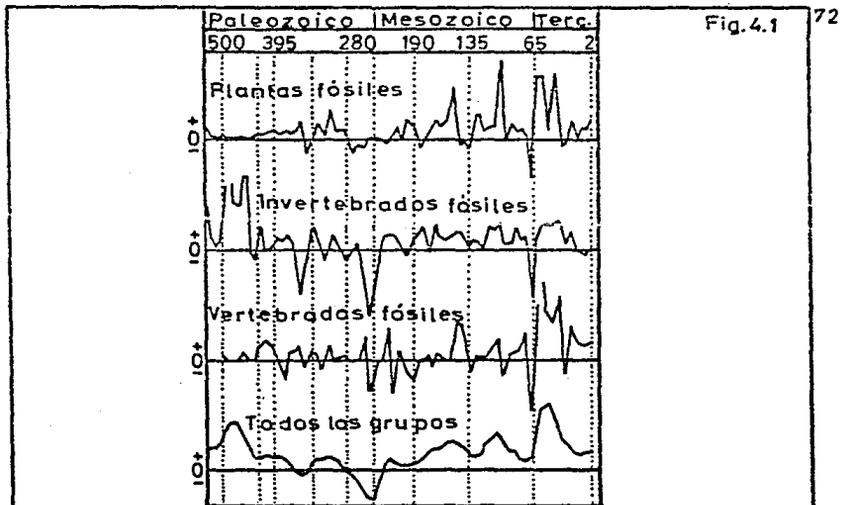
El paleozoico inferior se caracterizó por la presencia sobre la Tierra de los organismos multicelulares.

La primera crisis del fanerozoico se caracterizó por el colapso de especies bióticas y se manifestó a mediados de la era paleozoica, fenómeno que coincidió con la glaciación del ordovícico tardío.

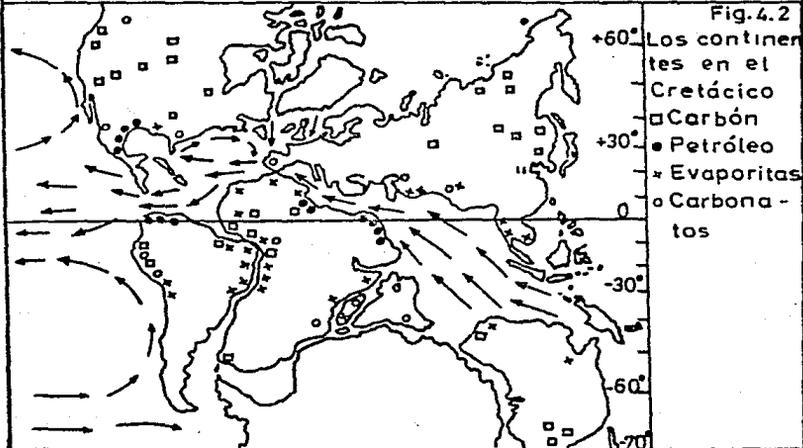
Sin embargo, las gráficas revelan que la gran crisis biológica ocurrió durante la transición entre el paleozoico y el mesozoico, correspondientes a los períodos pérmico y triásico. Durante estos períodos alrededor del 72 % de los anfibios y más del 80 % de las familias de los reptiles desaparecieron.

Ahora bien, esta crisis biológica se atribuye al abandono o ruptura de los nichos ecológicos, y también a la desunión de los niveles tróficos - todo ello se debió a dos grandes acontecimientos de la historia de la Tierra: la deriva continental y la glaciación del pérmico.

La era mesozoica se caracterizó por el predominio de un clima más benigno esencialmente marítimo exento de los efectos del glaciario, fenómeno



Gráficas que representan las apariciones y extinciones de -- grupos durante el Fanerozoico.



no que favoreció el desarrollo de las comunidades bióticas.

La tercera crisis biológica sobrevino entre la transición del mesozoico y el terciario originada indudablemente por la alteración de los componentes de la atmósfera debido a la gestación de la gran revolución orogénica que afectó a casi todo el planeta como se aprecia en la figura 4.2.

4.3 LA VIDA SOBRE LOS CONTINENTES A LA DERIVA

El ensamblaje batimétrico hasta la isóbata de 1000 metros del continente universal de Pangea, realizado por el geofísico inglés Sir Edward C. Bullar y colaboradores (1965) permite localizar sobre la superficie de la megagea una serie de nichos ecológicos y rutas migratorias florísticas y faunísticas verosímiles.

La figura 4.3, muestra los nichos ecológicos y las rutas migratorias correspondientes a los períodos pérmico y triásico.

El *Lystrosaurus*, reptil del triásico temprano; el *Mesosaurus*, reptil del pérmico; el *Cynognathus*, reptil del triásico y la flora *Glossopteris*, planta del pérmico tuvieron como nicho ecológico y espacio geográfico el subcontinente meridional de Gondwana.

Krishanan (1954) argumenta que la planta *Glossopteris* surgió en el carbonífero y culminó en el cretácico medio. Así, los géneros *Glossopteris*-*Gangamopteris* suman 58 especies, que se desarrollaron en un clima frío propio de la gran glaciación permo-carbonífera, que afectó el subcontinente meridional de Gondwana de donde es originaria esta planta.

En contraposición con la flora euroamericana que fue más prolífica y diversa como lo prueban los fósiles de los *Lepidodendrales*, los *Calamites*, los *Sphenophyllales*, los *Coenopteriales*, los *Melechos* y las *Cordaites*. Todo lo anterior hace suponer que Euroamérica estuvo bajo la influencia de un clima tropical durante el pérmico y el triásico.

La figura 4.4, muestra las migraciones faunísticas durante el mesozoico que se realizaron en ambos sentidos entre los continentes de Laurasia y-

Gondwana.

Las migraciones de los dinosaurios se presentaron durante el triásico tardío hace 200 Ma, y cuyos restos se encuentran en una área muy amplia que incluye a casi toda la Pangea.

Los continentes como la vida sobre la Tierra continuaron evolucionando durante el mesozoico; pero en el cretácico que se calcula duró 65 Ma, -- fue el período en el cual por causas todavía no aclaradas los reptiles se -- extinguieron para dar paso a los mamíferos que dominarían durante todo el -- cenozoico ocupando así los nichos ecológicos disponibles.

La fase evolutiva de los mamíferos presentó dos etapas: la primera, -- comprendió del paleoceno al eoceno y estuvo marcada por el desarrollo de ma -- míferos arcaicos especialmente herbívoros y carnívoros; la segunda, abarcó -- el oligoceno cuando los mamíferos arcaicos fueron remplazados por especies -- modernas, entre ellos: los tapires, los caballos, los rinocerontes, los ja -- bales, los cerdos, los camellos, los roedores, los conejos, los elefantes, -- los insectívoros, etc.

Sin embargo, el acontecimiento más importante en la escala de la evo -- lución es la presencia del Homo Sapiens sobre la faz de la Tierra, y cuyo -- nicho ecológico todavía es incierto fijar con precisión.

Hoy día gana terreno la idea de que el hábitat antropozoico estuvo -- cerca de los majestuosos grábenes de Africa.

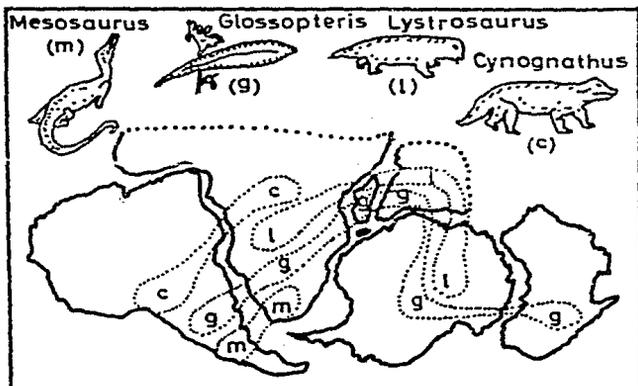


Fig.4.3

Mesosaurus, reptil pérmico; Glossopteris, planta pérmica; Lystrosaurus, reptil triásico; Cynognathus, reptil triásico.

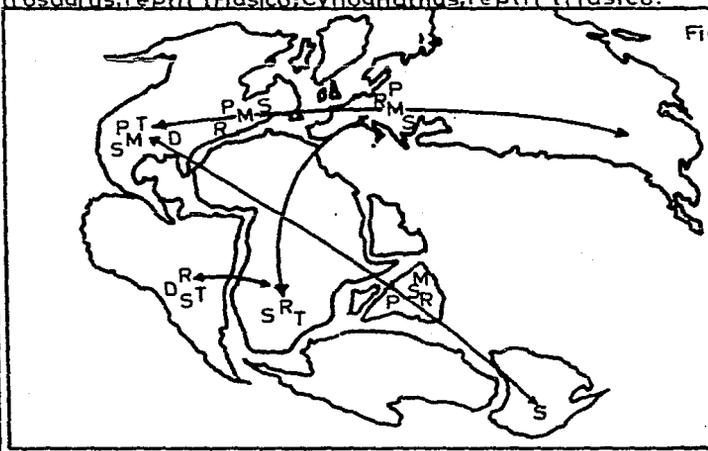


Fig.4.4

MIGRACIONES DE LOS DINOSAURIOS EN EL TRIASICO.
 D, dicinodontos; M, metoposaurios; P, fitosaurios; R, rincosaurios; S, saurisquios; T, trilodontos.

Procedencia de las figuras: Colbert, Edwin H, pp 255-257

CAPITULO V

FUNDAMENTOS PALEOCLIMATICOS DE LA DERIVA CONTINENTAL

5.1 INTRODUCCION

La arquitectura exógena de la Tierra ha sido configurada desde los estadios protocontinental-geosinclinal hasta el continental-oceánico por varios tipos de modelado específico geográficamente circunscritos por la latitud y la altitud.

Así, sobre los ovoides cratonales platafórmicos o en los flancos de los orógenos precámbricos surgieron los primeros biotopos, las biocenosis y los ecosistemas emplazados en el espacio geográfico de los protocontinentes que subsecuentemente suturaron a la megagea granítica permo-carbonífera la cual fue disímil desde el punto de vista climático y biogeográfico.

Sobre las paleo-neoformaciones de ambos hemisferios existen relictos de varios tipos de modelado, entre los que se encuentran: el glaciario, el de sértico y el marino.

De las concordancias y discordancias de las litofacies se infiere que la Tierra ha experimentado épocas recurrentes de glaciario, de hiperárididad y de transgresiones y regresiones consecutivas; consideradas como verdaderas catástrofes ecológicas para las poblaciones.

Sin embargo, el fenómeno más estudiado es el glaciario, el cual se caracteriza por el recrudescimiento del clima, y que hoy se reconoce sobre la superficie terrestre por la ablación del terreno, las morrenas terminales y las litofacies (tillitas). Fenómeno que se origina por los cambios periódicos de los parámetros de la órbita de la Tierra, el vagabundeo del polo geográfico y de las revoluciones orogénicas.

Sobre la superficie terrestre se han identificado cuatro grandes glaciaciones, a saber: la eocéntrica, la del ordovícico superior, la permo-carbonífera y la del pleistoceno.

5.2 HISTORIA DE LOS CLIMAS DE LA TIERRA

Alfred Wegener y W. Köppen versados en las ciencias de la atmósfera, idearon un modelo paleoclimático retroactivo a las eras paleozoica y mesozoica.

Por esto, el ensamblaje protocontinental permo-carbonífero y la migración polar son el trasfondo geográfico y geofísico que Wegener esgrimió para explicar las correlaciones lito-bioestratigráficas, las cuales ofrecen un testimonio verdadero de las condiciones climáticas que en otros tiempos predominaron sobre la superficie terrestre. Todo ello encuadrado en el principio del uniformismo.

Este modelo se basa en la zonación climática de la Tierra en función de las isotermas, de las isoyetas y de los mosaicos bióticos, esto es: i) zona ecuatorial de lluvias y tormentas, que abarca en forma continua a toda la Tierra; ii) regiones áridas o de calma eólica, que se caracterizan por ser zonas de alta presión con descenso de aire que sólo se interrumpe en el este de los continentes por la influencia de los monzones, no así en el oeste de los mismos donde los desiértos avanzan hacia los polos; iii) casquetes polares.

Según Wegener la zonación climática de la Tierra está condicionada por tres factores: i) variaciones de los parámetros de la órbita de la Tierra, de donde se desprende la longitud del fotoperíodo; ii) la migración del polo geográfico. Se argumenta que las capas de hielo empezaron a crecer cuando los polos de rotación se movieron sobre los continentes o sobre los cuerpos de agua sin acceso al mar.

Los glaciares no crecen cuando los polos se encuentran situados en mar abierto. Por ejemplo, la glaciación del pleistoceno principió en el momento en que el polo Sur se movió sobre el continente antártico y el polo Norte hizo lo mismo sobre el Artico, que está rodeado por tierra; iii) la deriva continental a través de la asociación y subsecuente disociación de las evidencias paleoclimáticas como los depósitos de evaporitas, de yeso, de carbón, las tillitas, los suelos estriados y los bosques tropica-

les y subtropicales.

En este apartado el archipiélago de las Spitzberg localizado cerca -- del polo Norte y unido a Eurasia por un mar somero es el ejemplo más evidente de la deriva continental por la presencia en su espacio geográfico de la flora pantropical correspondiente al terciario inferior.

En consecuencia, los indicadores paleoclimáticos hoy desde el punto -- de vista geográfico disarmónicos indican el desplazamiento del polo y por -- ende del ecuador terrestre, círculo máximo de la Tierra perpendicular al -- eje de rotación. Fenómeno que explica los cambios de orientación de las zonas climáticas del globo terrestre.

La figura 5.1, muestra las glaciaciones principales e invasión del -- continente por el mar (máximos indicados por flechas). Entre el precámbrico y el eocámbrico se originó una máxima transgresión que antecedió a la glaciación eocámbrica que se caracterizó por una máxima regresión.

Por las evidencias paleoclimáticas se infiere que la glaciación eocámbrica fue casi universal ya que así lo demuestran las tillitas de Noruega, -- del norte de Europa, de Australia, de China, del archipiélago de las Spitzberg, de Groenlandia y de Africa Occidental.

W. H. Harland (1964) argumenta que la glaciación eocámbrica presentó -- fuertes antagonismos climáticos, a saber; un fuerte descenso de temperatura a escala mundial, abundancia de depósitos ricos en carbonatos y la producción de algas típicas de finales del precámbrico.

G. E. Williams (1975) propone que la glaciación eocámbrica se debió a -- que el eje de rotación de la Tierra en relación con el plano de su órbita -- en torno al Sol tendría una inclinación distinta a la actual, y que en el -- transcurso del tiempo esta inclinación ha permanecido próxima al valor de -- $23,5 \pm 1.5$.

Durante el paleozoico se produjeron cuatro transgresiones: la del cámbrico, la máxima del silúrico, la del carbonífero y la del pérmico; seguidas de regresiones entre las más importantes se encuentran la del ordovícico superior que coincidió con la glaciación del mismo nombre, y la segunda -- se presentó entre el carbonífero y el pérmico fenómeno que también coincidió con la gran glaciación del permo-carbonífero.

Sin embargo, el carbonífero y el pérmico se caracterizaron por un marcado contraste geográfico y climático, en virtud de que el supercontinente-septentrional suturado en el ordovícico volvió a fracturarse en el carbonífero.

Por otra parte, el clima húmedo de este período, los pantanos, los lagos cercanos al mar y los deltas bajos favorecieron la formación de los depósitos de carbón.

Se argumenta que en el carbonífero el polo Norte se localizaba en algún lugar del océano Pacífico Septentrional, y que los continentes norteamericano, europeo y norasiático estaban esparcidos como islas en las latitudes ecuatoriales.

El subcontinente de Gondwana que había permanecido inmovible desde el cámbrico durante el pérmico experimentó un fuerte enfriamiento en la región meridional que culminó con la glaciación.

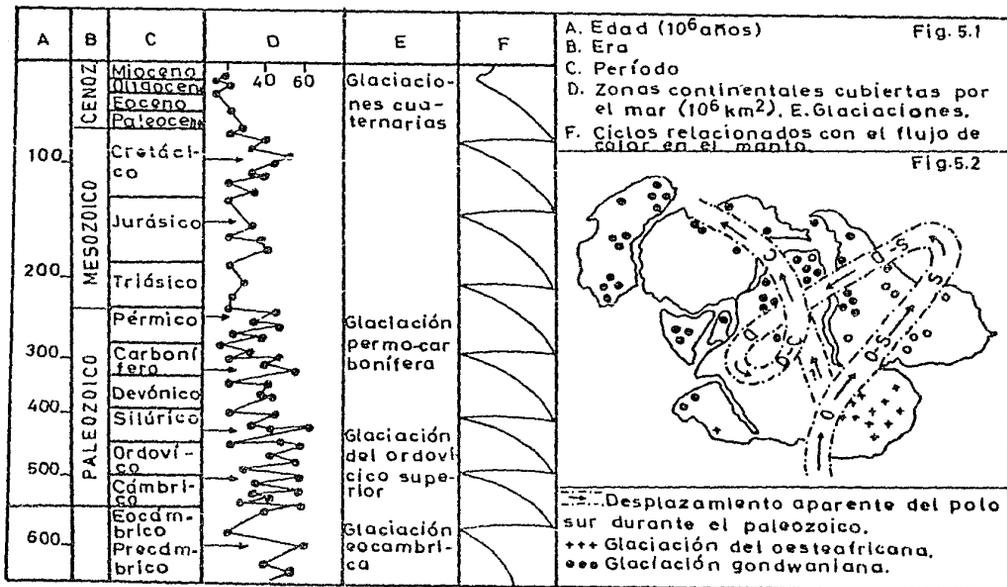
Las evidencias del glaciario y la información paleomagnética permiten inferir que el polo Sur se desplazó desde África Occidental, Brasil, -- Suráfrica, la Antártida hasta Australia; lo mismo que la glaciación avanzó de oeste a este.

Durante la era mesozoica se originaron dos máximas transgresiones en el triásico y el cretácico; de ahí que los lagos y las lagunas fueron verdaderos oasis donde los dinosaurios hicieron su hábitat.

Al final de mesozoico se formaron numerosas cadenas orogénicas por efecto de la deriva continental; y desde el punto de vista térmico se presupone la aceleración del flujo de calor interno de la Tierra a lo largo de los centros de expansión oceánica. Fenómeno que dió lugar a transgresiones de aproximadamente 500 metros sobre el nivel actual, de ahí que para finales del cretácico sólo el 15 % de la superficie estuvo seca.

Durante esta era no hubo huellas de glaciaciones en el mundo y por lo tanto predominó el clima cálido consecuencia del ambiente marítimo.

La era cenozoica que principió hace 65 Ma, se caracterizó por la readaptación de la flora del mesozoico, además aumentó la continentalidad y -- nuevamente se presentó el glaciario que se abatió sobre grandes zonas del



planeta. (Procedencia de la figura. Fairbridge, Rhodes. p 244).

La figura 5.2, muestra el desplazamiento aparente del polo Sur a través del continente de Gondwana durante el paleozoico. De hecho la posición del polo Sur permanece fijo y es el continente de Gondwana quien deriva por encima del polo, pero las reconstrucciones paleomagnéticas se traducen por la deriva aparente del polo.

Así, en el ordovícico (O) el polo Sur atraviesa el Africa del Oeste - que entonces está cubierta por un inlansis (cruces). Seguidamente las glaciaciones se desplazan hacia Suramérica donde los depósitos glaciares corresponden al silúrico (S) y al devónico (D). Estos depósitos hacen la transición entre la glaciación oesteafricana y la glaciación gondwaniana que del carbonífero (C) al pérmico afectó al subcontinente meridional de Gondwana (puntos negros).

Existe por lo tanto una estrecha relación entre la deriva aparente del polo Sur y la migración de las áreas heladas. (Procedencia de la figura Deynoux, Max, p 1083).

5.3 PARAMETROS ASTRONOMICOS ENTRE EL SOL Y LA TIERRA Y LAS EDADES DE HIELO

Una glaciación o edad de hielo es un período de la historia de la Tierra que se caracteriza por el abatimiento de las temperaturas de 8° y 12°C inferiores a las actuales, las cuales originan el descenso de las nieves -- hasta 1000 metros de altitud formándose grandes inlansis de hasta 3000 metros de volúmen en zonas antes libres de hielo.

Para explicar la génesis de tan singular fenómeno hoy en día se maneja la idea que estriba en la correlación entre la posición de los polos -- geográficos y los glaciares condicionados por la variación de los parámetros orbitales y la translación continental.

En consecuencia, las variaciones seculares de la geometría de la órbita de la Tierra es la causa verosímil de las edades de hielo, sin soslayar los efectos de la antroposfera en la composición química de la atmósfera.

Milutin Milankovitch, astrónomo yugoeslavo propuso para explicar el -

origen de las glaciaciones, la teoría que lleva su nombre; la cual se apoya en la idea de que la variación periódica de los parámetros orbitales cambian el clima de la Tierra debido a la desigual distribución de la energía solar que recibe el planeta en diferentes latitudes y estaciones.

Así, la periodicidad y las evidencias paleoclimáticas de las edades de hielo indican a todas luces la existencia de fuerzas continuas de oscilación que gobiernan los períodos glaciales e interglaciales en la Tierra.

La figura 5.3, muestra los cuatro parámetros fundamentales de la teoría del glaciario propuesta por Milankovitch, a saber:

i) La excentricidad de la órbita de la Tierra, que se define como la diferencia entre los radios de un círculo (cero de excentricidad) y la de una elipse (excentricidad .866), excentricidad de la órbita terrestre igual a .017, con valores extremos entre .005 y .06, en un período de 100, 000 años.

La gráfica (a), muestra las variaciones de la excentricidad de la Tierra del momento actual hasta hace 500,000 años y en donde se advierte la sinusoidalidad excéntrica con una máxima y una mínima que ocurrieron hace 200,000 y 350,000 años.

ii) Oblicuidad del eje de rotación de la Tierra con respecto a la vertical sobre el plano de la órbita que en el presente es de $23^{\circ} 5'$, con valores extremos de $22^{\circ}.1$ y $24^{\circ}.5$, en un período de 40,000 años.

La oblicuidad del eje de rotación origina que durante el año en la Tierra se presenten estaciones extremas que se caracterizan por longitudes distintas de los fotoperíodos.

La gráfica (b), muestra los períodos de oscilación de la oblicuidad del eje de rotación, que se ha mantenido constante más o menos desde hace 500,000 años.

iii) Tiempo del perihelio, que está determinado por la posición del Sol en uno de los focos de la elipse de la órbita de la Tierra origina el perihelio en el mes de enero y el afelio en el mes de julio.

En consecuencia, un cambio en el tiempo del perihelio aumenta la intensidad de la radiación solar en un hemisferio y decrece en el otro en un

período aproximado de 20,000 años.

La gráfica (c), muestra que en los últimos 500,000 años el perihelio a ocurrido entre los meses de diciembre a septiembre.

iv) Insolación en el verano en el hemisferio norte. La variación en la generación de la energía solar se presenta en un período de 300 Ma, y -- los ciclos de las manchas solares es cada 44.22 y 11 años.

La gráfica (d), muestra como en un período de 500,000 años, la "constante solar" expresada en watts/m^2 recibida en el hemisferio norte durante el verano se ha mantenido entre 450-550 watts/m^2 .

Milankovitch argumenta que las fuerzas que gobiernan las edades de -- hielo no se encuentran en la variación de la insolación global total sino -- en la insolación en las altas latitudes septentrionales en verano, la cual -- varía aproximadamente en un 20 % más que la insolación total.

De tal forma que la acumulación y preservación de la nieve está en -- función de la energía solar recibida en esta estación. Si la insolación es -- menor durante el verano y persiste por un período prolongado se forman los -- mantos de hielo, sin soslayar los efectos de la continentalidad.

A guisa de corolario: a los argumentos de Milankovitch se han agregado otras posibles causas que podrían en cierta forma acelerar el advenimiento de las edades de hielo.

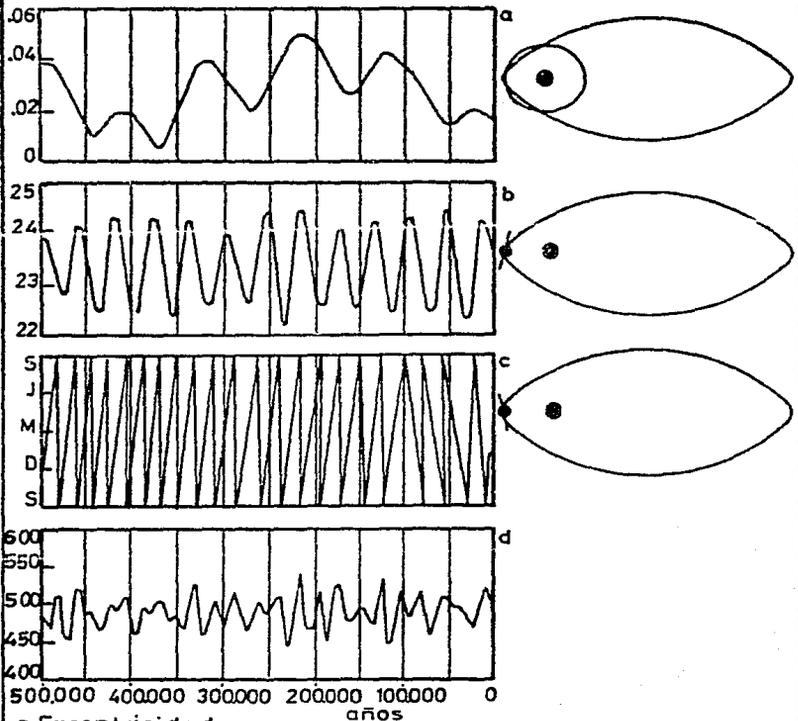
v) Composición de la atmósfera. El contenido de oxígeno de la atmósfera ha aumentado del 1 al 21 % en aproximadamente 600 Ma, el cual se asocia con el dióxido de carbono (0.03 % de la composición de la atmósfera). De -- tal forma que la reacción fotoquímica entre ambos ocasiona la reducción del del dióxido de carbono, fenómeno que se asocia con el enfriamiento climático debido a la reducción de la capacidad del efecto de invernadero de la atmósfera.

vi) El vulcanismo. A través de las erupciones paroxismales de los volcanes activos se agregan gases y polvo a la atmósfera, fenómeno que aumenta la reflexión de la atmósfera (albedo).

vii) El impacto de la antroposfera en la composición de la atmósfera -- por el uso de combustibles fósiles y la contaminación térmica.

PARAMETROS DE LA ORBITA DE LA TIERRA.
TEORIA DE MILUTIN MILANKOVITCH.

Fig.5.



- a. Excentricidad.
- b. Inclínación de eje.
- c. Tiempo del perihelio
- d. Insolación en verano en el hemisferio norte (watts por metro cuadrado.)

Procedencia de la figura. Covey Curt, "The Earth's Orbit and Ice Ages", - Scientific American- p 64

CAPITULO VI

TEORIA DE LA EXPANSION DEL SUELO OCEANICO Y TECTONICA DE PLACAS

6.1 INTRODUCCION

Para la tectónica global la placa africana de naturaleza continental-oceánica es un verdadero y único libro abierto sobre la superficie terrestre.

Haroun Tazieff eminente vulcanólogo e intrépido explorador francés — quien ha auscultado a la mayoría de los volcanes del mundo es al mismo tiempo pionero en la exploración y el estudio de las regiones neotectónicas de la Tierra, entre las más importantes se encuentran: la depresión del Triángulo de Afar, que es zona de convergencia triple entre los majestuosos grabenes del este de Africa, el golfo de Aden y el mar Rojo; neoestructura planetaria que se prolonga por el golfo de Akaba, el wadi El Araba, el mar Muerto, el río Jordán, el mar de Galilea y el graben de Hermons.

A escala planetaria esta región neotectónica se inicia en la cuenca del río Zambeze en Africa Austral y termina en el extremo norte del Medio Oriente, y comprende una longitud de más de 6000 km.

Región del planeta en donde el proceso de riftogénesis es más evidente en los estadios de convexidad, de fallamiento escalonado colateral, de subsidencia, de vulcanismo central y periférico y de rifting mesoocéánico embrionario.

Hoy día, este modelo neotectónico del este de Africa es extrapolado para explicar la escisión de la Pangea y la talasogénesis planetaria.

Otro de los accidentes geográficos de la corteza terrestre son las cadenas montañosas de tipo alpino que proceden de los gigantes geosinclinales y que se distinguen por sus sedimentos, por su vulcanismo y por la inestabilidad de su fondo; lo mismo que las dorsales mesoocéánicas de constitución basáltica.

Contiguas a estas macroestructuras se localizan los arcos-islas, las-

profundas fosas pericontinentales, las cadenas de islas volcánicas inter -- oceánicas y los megashear que rasgan dextral y sinistralmente y de manera espectacular a la corteza terrestre.

6.2 EXPANSION DEL SUELO OCEANICO Y TECTONICA DE PLACAS

El modelo paleotectónico de la deriva continental propuesto por Wege- ner estriba en la interacción de fuerzas equilibratorturbales y equilibriope- dales que operan a gran y pequeña escala, que hacen de la Tierra una gigan- tesca estructura dinámica pero equilibrada.

En consecuencia, el trasfondo de la deriva continental se encuentra - en una serie de consideraciones geofísicas endógenas y exógenas, a saber:

i) Los indicadores paleoclimáticos y las facies litoestratigráficas - hoy asimétricos son señales de la rotación del sistema de paralelos.

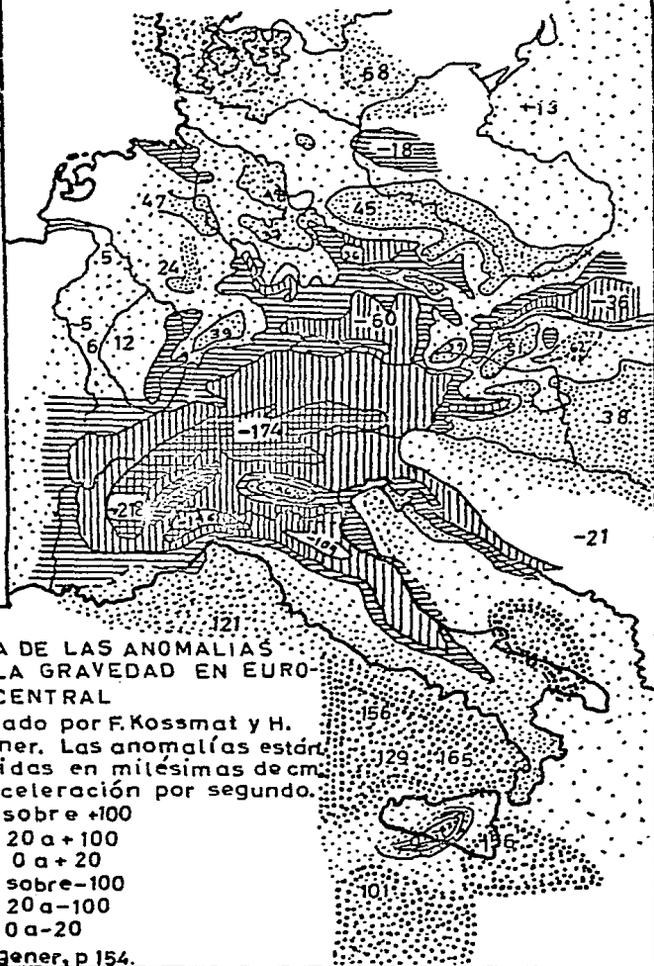
ii) La coexistencia por siempre de los ejes axiales de rotación y de - inercia.

iii) Rotación de la corteza terrestre dirigida en dos sentidos: hacia el sur (fuga polar) de la cual es consecuencia la cadena orogénica del ter- ciario del sur del continente Euroasiático; y hacia el oeste (momento de má xima inercia) entre el sial y el sima, prueba de ello son las islas y los - archipiélagos situados al este de las masas continentales.

Argumento reforzado por la medición de las anomalías gravitatorias de Europa Central. Kossmat y H. Lissner trazaron el mapa de las anomalías de - la región y de la cual se deduce que por medio de la distribución geográfica de las anomalías es posible conocer el espesor de las raíces de las monta- ñas, lo mismo que la dirección de corrimiento de los continentes.

Este mapa prueba a la luz de la gravimetría que Europa se desplaza -- hacia el suroeste, y que la corteza terrestre está dividida en masas síali- cas y masas simaicas.

Por otra parte, las máximas anomalías negativas se localizan sobre -- los relieves más elevados, en este caso sobre los Alpes, que corresponden - a las máximas acumulaciones de sial. Figura. 6.1.



MAPA DE LAS ANOMALIAS DE LA GRAVEDAD EN EUROPA CENTRAL

Trazado por F. Kossmat y H. Lissner. Las anomalías están medidas en milésimas de cm. de aceleración por segundo.

- ▨ sobre +100
- ▤ 20 a +100
- ▥ 0 a +20
- ▧ sobre -100
- ▩ 20 a -100
- 0 a -20

Wegener, p 154.

Wegener insiste que la fuerza de la fuga polar no es suficiente para producir la orogenia, pero sí aceptable para desplazar a los continentes; -- ya que en el primer caso la fuerza debe ser superior al peso de los continentes.

iv) La fuerza de viscosidad del magma subyacente es mayor que la influencia gravitatoria de las mareas; pero los efectos acumulados de la fricción mareal pueden llegar a producir desplazamientos considerables de la corteza terrestre.

v) Existe una fuerte interrelación entre los cambios axiales del eje de rotación y los ciclos transgresivos sistemáticos debido a la forma elipsoidal de la Tierra. En el cuadrante anterior al polo en migración debe producirse la transgresión y en el cuadrante posterior la regresión.

vi) Las fosas o grábenes de Africa se forman por fisuración superficial y dilatación inferior de la corteza terrestre.

Los escarpes verticales de los bordes recién formados suponen la compresión excesiva sobre las rocas que propicia la formación de fallas escalonadas de deslizamiento a lo largo de los bloques que se hunden. Como las fallas se abren siempre existe una fosa tectónica cuyo fondo está formado por los mismos tipos de rocas que afloran en las laterales elevadas de la fosa.

El modelo geográfico-tectónico de la corteza terrestre diseñado en la década de los sesentas por las teorías de la Expansión del Suelo Oceánico y Tectónica de Placas reafirma la Teoría de los Ciclos en sus fases de geosinclinal, de orogenia y de elevación.

En forma colateral se desarrollan la dictiogénesis, el dinamometamorfismo y el eustatismo, entre otros.

La circunvalación planetaria de los umbrales sub-mesoceánicos en su modalidad morfoestructural, las dorsales; y los sistemas de rift valleys o grábenes continentales neotectónicos permiten entrever que la riftogénesis es la causa de la talasogénesis planetaria.

Los sistemas de rift valleys neotectónicos planetarios se caracterizan por su alta sismicidad, con epicentros poco profundos de 40-50 km; acti

vidad hidrotermal, magmatismo efusivo central y marginal, adelgazamiento y esfuerzos de tensión de la corteza, incremento de la densidad y del flujo térmico, y anomalías gravimétricas de valores bajos.

En consecuencia, la riftogénesis es el estadio geoquímico-tectónico planetario de cizallamiento de la corteza terrestre la cual es disímil en espesor, densidad y composición geoquímica.

Con apoyo en el principio del uniformismo la talasogénesis planetaria encuentra su máxima expresión en los sistemas de rift valleys continentales como el golfo de California, el graben del lago Baikal, el golfo de Vizcaya, el graben del río Rin, el rift de Oslo; pero sobre todo en el triángulo de Afar, que es una región de convergencia triple talasocrática fanerozoica otrora suboceánica.

El sistema de rift valleys del noreste de Africa se debe a la conjunción del proceso de riftogénesis intercontinental extensivo subsecuente a la ruptura de la Pangea, y a la inflexión de las fracturas del rift del océano Indico.

Así, el modelo de riftogénesis suboceánica del neógeno (10 Ma) del noreste de Africa es extrapolado para explicar la talasogénesis del océano Atlántico, el cual es un rift maduro de más de 100 Ma, que separa Africa de América.

Laster C. King, geomorfólogo y geólogo surafricano indica que la convexidad de la corteza terrestre se debe a la existencia infrayacente de flujos hipotermales que originan esfuerzos de tensión, y que es la etapa tectónica neógena que precede a la riftogénesis.

Este argumento está confirmado por las flexiones relativamente superficiales de los gradientes sísmicos en la corteza de los rifts del este de Africa en donde el límite termal entre la corteza y la astenosfera se encuentra entre 30-50 km de profundidad, mientras que en otras partes del mismo continente el límite está entre 100-150 km de profundidad.

Acerca de la génesis del rifting hay dos puntos de vista; el primero, sostiene que el rift principia en la corteza a consecuencia de los esfuerzos de tensión por la separación de los continentes y en donde la astenos -

fera sólo cumple con la función de colmatación de las fisuras dejadas por la separación continental; el segundo, sostiene que el rift se origina por la existencia de crestas astenosféricas o anomalías termales (hot spots) -- subcorticales que al alcanzar a la corteza la elevan, la adelgazan, la fallan por extensión y posterior a lo último se presenta el colapso del techo cortical, y el resultado son los grábenes o rift valleys en donde el derrame y el vulcanismo magmático tiende a centrarse en el eje del rift. (ver figura 6.4).

Ahora bien, desde el punto de vista geográfico y geoquímico la riftogénesis es un proceso endógeno y exógeno que implica toda una serie de fases.

En primer término los grábenes del este de África se han formado por fallas de extensión debido al ascenso de protuberancias astenosféricas, al mismo tiempo que en la base de la corteza tiene lugar la mezcla entre el gabro y los minerales de granate y granulita. (Fig. 6.2.1).

En el norte del mar Rojo la corteza ha sido adelgazada y separada considerablemente; de tal forma que los gabros de la corteza son químicamente distintos porque han cristalizado a poca profundidad y a bajas presiones.

Los diques basálticos se han inyectado en las fisuras de la corteza, al mismo tiempo que la cresta astenosférica se adelgaza y expande. (Fig. -- 6.2.2).

En el sur del mar Rojo la zona de fusión-inyección magmática se ha centrado en el eje del rift que a manera de cuña separa los cratones de -- África y Arabia, de tal forma que una nueva corteza oceánica esta en la fase de formación en la zona de ruptura. (Fig. 6.2.3).

En el golfo de Aden el fondo oceánico se forma por extensión desde hace 10 Ma. (Fig. 6.2.4).

La figura 6.3, muestra los procesos endógenos de desfase geoquímico de la corteza continental y oceánica hasta una profundidad de más de 100 km y a la presión de 40 kilobares. En donde tiene lugar el ascenso del manto -- rocoso por efecto de menor presión y temperatura casi constante hasta la -- cercanía de la superficie.

La diagonal sólida muestra la relación temperatura-presión para la peridotita, ésta se mantiene totalmente sólida a la izquierda de la diagonal, y está parcialmente fundida a la derecha de la misma.

El grado de fusión aumenta a medida que decrece la presión. Bajo un rift naciente continental (1) la fusión parcial de la peridotita se eleva en la base de la corteza a una profundidad de 60 km, y comprende aproximadamente el 5 % de las rocas fundidas.

Bajo un rift naciente oceánico (2) donde la corteza es más delgada la peridotita por ser más caliente se eleva a profundidades menores, y más del 30 % está fundida.

La fusión de la peridotita deja en consecuencia un manto degradado en peridotita, así en la cámara magmática parte de este material se queda y otra parte es deyectado a la superficie que al enfriarse rápidamente forma el basalto.

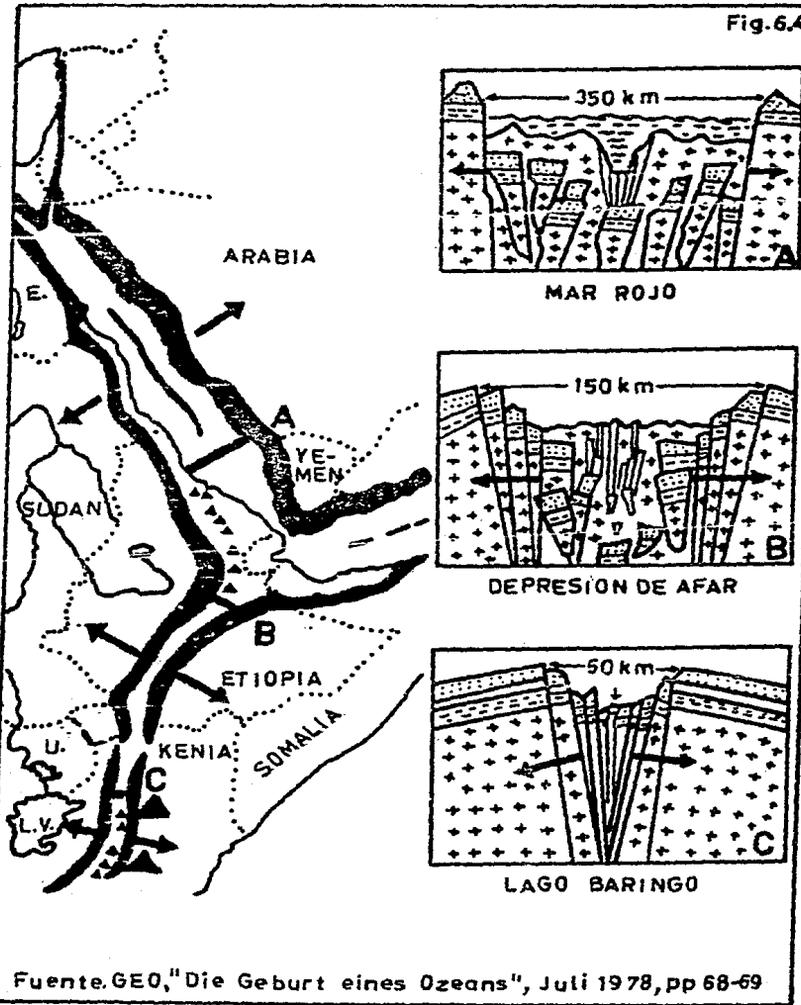
De aquí que la corteza oceánica consta de una capa de basalto yacente sobre una capa de gabbro material que se encuentra en la cámara magmática.

La composición de las rocas corticales y la peridotita del manto degradado depende del grado de fusión. Por ejemplo, los basaltos que se encuentran en los rifts continentales son más ricos en materiales alcalinos que el basalto degradado de los rifts oceánicos.

Desde el punto de vista geográfico los sistemas de rift valleys del este de Africa y Arabia ejemplifican los diferentes estadios de evolución de un rift. El graben del lago Baringo y la depresión de Afar en donde la corteza ha sido adelgazada permitiendo la subsidencia de los bloques del techo de la corteza, y en donde el vulcanismo central o marginal (triángulos-negros) contribuye en forma gradual a la separación de la región nororiental africana del resto del macizo continental.

El golfo de Aden que se originó por la flexión del rift del océano Índico el magma basáltico ha estado ascendiendo desde la astenosfera para formar la corteza oceánica. (tres líneas gruesas).

La transición de un rift oceánico tuvo lugar recientemente en el sur del mar Rojo, en el que ahora es el centro del mismo, donde la corteza oceánica



Fuente.GEO, "Die Geburt eines Ozeans", Juli 1978, pp 68-69

nica se forma en puntos aislados (línea gruesa continua).

La mayor parte del suelo oceánico del mar Rojo consiste de corteza -- continental plegada por fuerzas divergentes. (Fig. 6.4).

De esta manera, el modelo de expansión suboceánico embrionario y a -- cielo abierto del noreste de Africa es extrapolado para explicar a escala - planetaria la génesis del suelo oceánico en donde la convexidad cortical, - las anomalías termales subcorticales, los derrames y las deyecciones de ma- terial básico y ultrabásico a través de profundos, estrechos y alargados ca- nales (rift valleys), cuyas crestas y flancos laterales forman las dorsales son los accidentes morfoestructurales más importantes.

Sin embargo, John Tuzo Wilson introdujo en la tectónica global el con- cepto de falla transformante (en seis modalidades) como principio cinemático relativista planetario. En términos generales las fallas transformantes- son estructuras de corrimiento perpendiculares a las dorsales, las cuales - operan dextral y sinestralmente.

Con este marco de referencia que incluye todos los estadios de expansi- ón del suelo oceánico se elaboró el modelo de la tectónica de placas, que se apoya en el teorema de Euler que presupone para un cuerpo rígido en movi- miento la existencia de un eje de expansión distinto del eje de rotación, y sobre el que se alinean las dorsales o cordilleras axiales.

De tal forma, que el suelo oceánico comprende el área superficial ge- nerado en la dorsal durante la rotación alrededor del ángulo de rotación(ω).

Los paralelos, meridianos y el círculo máximo de rotación que conjun- tamente con el eje de rotación forman los diedros de expansión (fallas ---- transformantes) máximas en el ecuador y casi nulas en los polos.

Paralelas a las cordilleras axiales suboceánicas se localizan las zo- nas de infracorrimiento oblicuo o de subducción donde el área superficial - es destruida por efecto de la rotación. (Figs. 6.5-6.6).

Por la geofísica la teoría de la tectónica de placas fue sacada a la- luz por la distribución geométrica y zonal de los focos sísmicos clasifica- dos en orden a la profundidad en superficiales (entre -10 a -70 km), interme- dios (entre -70 a -300 km) y profundos (entre -300 a -700 km).

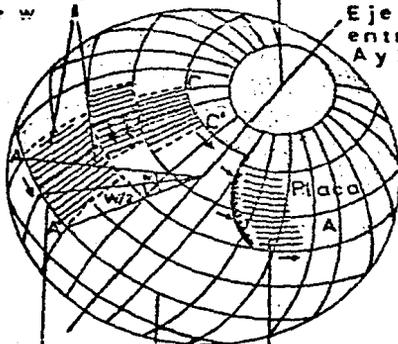
LOS EJES DE ROTACION

Fig.6.5 ⁹⁵

Area superficial generada en la cordillera axial durante la rotación alrededor de w

Polo de rotación

Eje de rotación entre las placas A y B



Antigua falla de transformación

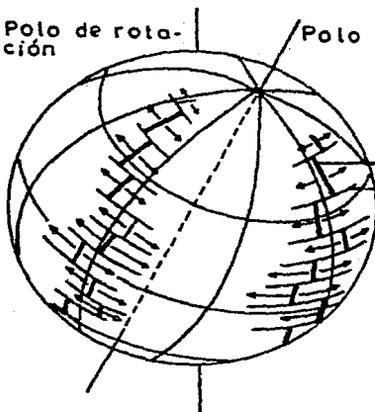
Círculo máximo de rotación

Area superficial de la placa A destruida por subducción

Polo de rotación

Polo de expansión

Fig.6.5



Dorsal
Falla transformante

Los focos sísmicos superficiales se localizan en las zonas de las dorsales mesoceánicas en contraposición con los focos sísmicos profundos que se localizan en las zonas de sutura continental, y en donde el infracorrimiento oblicuo de los focos del suelo oceánico buzante origina la zona de subducción o consumo.

Así, la descompenzación entre los niveles de profundidad de los focos sísmicos propicia la transferencia de masas entre las zonas de apertura y consumo. (letras M y N de la figura 6.7).

Por otra parte, las fuertes flexiones de los gradientes sísmicos principalmente de las ondas S debajo de la discontinuidad de Mohorovicic hasta una profundidad de 400 km indica la existencia virtual de una amplia zona de anomalía termal la astenosfera.

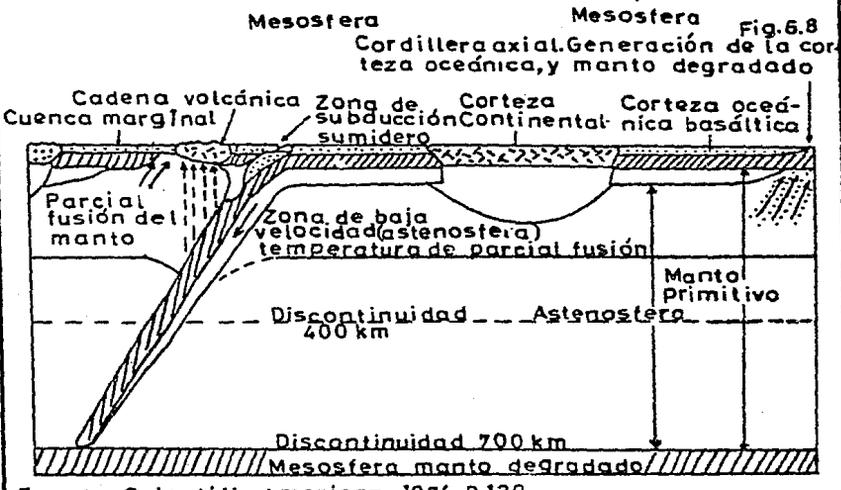
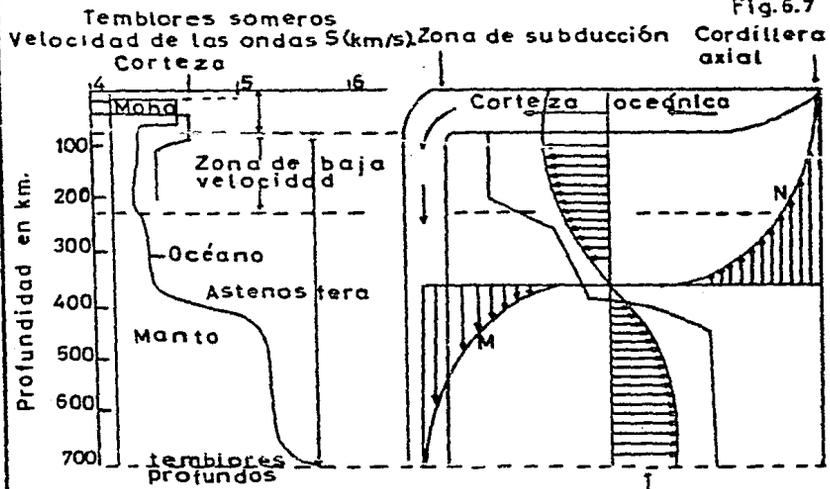
De acuerdo a la teoría de las placas, la corteza terrestre y el manto superior están divididas en unas cuantas placas o casquetes esféricos rígidos y delgados que se mueven tangencialmente unas con respecto a otras y cuyo espesor se estima en 60 km para las áreas oceánicas, y 100 km para las áreas continentales, que cubren la totalidad del planeta.

En los bordes de estas placas es donde tiene lugar la mayor actividad tectónica y ahí se encuentran asociados fenómenos de vulcanismo, sísmicidad y formación de montañas, así como la generación de depósitos minerales.

Estas placas flotan sobre una capa viscosa de roca parcialmente fundida como es la astenosfera. (Fig. 6.8).

En términos generales la teoría de las placas estriba en cuatro conceptos fundamentales, a saber:

- i) Cordillera oceánica en expansión. Las placas se separan; la roca fundida asciende añadiendo nuevo material a cada placa.
- ii) Zona oceánica de reducción. Una placa es empujada por debajo de otra. El borde de una de ellas, impelida hacia abajo, se incrusta en el manto donde se funde y es reciclada.
- iii) Zona de colisión o sutura. Incrustándose debajo de otra, una placa une a dos continentes, formando un cinturón de alta montaña.
- iv) Falla de transformación. Dos placas se deslizan sobre otra sin --



Fuente: Scientific American, 1974, P 130

añadir ni destruir materia.

6.2.1 GEOGRAFIA TECTONICA DEL SUELO SUBMARINO

La dorsal del Atlántico está situada en el centro de la cuenca del -- océano Atlántico, y se extiende desde el Artico hasta la isla Bouvet en el Atlántico Sur.

La dorsal del Atlántico está formada por un rift valley que corre en el centro de la dorsal. Sin embargo, la dorsal esta discontinuada dextral y sinistralmente por fallas transformantes activas e inactivas de tipo dorsal -dorsal, que delimitan la nomenclatura regional del umbral mesoceánico.

De norte a sur la dorsal presenta los accidentes morfoestructurales - más activos, a saber:

i) Dorsal de Monhs. Se localiza entre los mares epicontinentales de - Noruega y Groenlandia, y está limitada en el norte por una falla activa y - en el sur por la falla Jan Mayen.

ii) Dorsal Kobleinsey. Esta entre Islandia y la falla Jan Mayen. En - Islandia la actividad sísmica, volcánica y los flujos hipotermales son más- activos. La expansión suboceánica es a razón de 12-26 mm/año con dirección- NW-SE.

iii) Dorsal Reykjanes. Esta delimitada por Islandia y la falla Char - lie-Gibbs. La expansión suboceánica es a razón de 21 mm/año. En ambos extre- mos de la dorsal se localizan las cuencas del Labrador (-3803 m) y de Islan- dia (-3000 m).

iv) Dorsal del Atlántico Central. Se localiza entre la falla Charlie- Gibbs y el ecuador terrestre. La dorsal esta cruzada por la falla Oceanógra- fo (35°N). En ambos extremos de la dorsal se localizan las cuencas de New - foundland (-4000 m), del Caribe (-7680 m), de Guyana (-4000 m), el graben - de Puerto Rico (-2341 m), de Europa Occidental (-4500 m), Ibérica (-6325 m) de las Canarias (-6501 m).

Entre la dorsal mesoatlántica y la cuenca ibérica se localiza el maci- zo de las Azores que se caracteriza por su vulcanismo activo de basaltos al

calino y flujos hipotermiales. El macizo está intersectado por una gran falla activa que alcanza el extremo NW de Africa y termina en el SW del mar Caspio.

En el recodo de las Azores se separan las placas americana, euroasiática y africana; de ahí, que la falla transformante se le clasifica de unión triple de tipo dorsal-dorsal-dextral. Falla que al adentrarse en el continente se convierte en el frente de suoducción de la placa africana que subduce debajo de la placa euroasiática.

A la altura de la zona ecuatorial la dorsal mesoatlántica está intersectada por un sistema precámbrico de fallas de tipo dorsal-dorsal conocido como PELUSIUM MEGASHEAR SYSTEM. Geosuturas planetarias que principian dentro del sistema Alpino en Anatolia corren por Africa desde el delta del Nilo hasta el delta del Níger cruzan el Atlántico e intersectan Suramérica por el delta del Amazonas.

Entre las geosuturas del sistema pelusium se encuentran de norte a sur: San Pablo, Vema, Romanche, Chain, Charcot y Pernambuco.

La falla Romanche está situada en el ecuador terrestre, y tiene aproximadamente 7000 metros de profundidad y 1000 metros de anchura. En los flancos de la falla se encuentran rocas basálticas, peridotitas y gabros.

v) Dorsal del Atlántico Sur. Se localiza entre el sistema pelusium y la isla Bouvet. La dorsal está intersectada por fallas de tipo dorsal-dorsal entre las que destaca la gran falla Falkland-Angulhas (geosutura) que se inicia en la cresta suooceánica de Chile en el este del Pacífico, cruza el extremo meridional de Suramérica, el Atlántico Meridional, toca el extremo SE de Africa, se interna en el canal de Mozambique y se prolonga hasta el NW del océano Indico con el nombre de falla Owen para terminar en el sur del Tien Shan. Esta megasutura en la falla Owen se convierte en una falla de unión triple entre las placas africana, arábica e indo-australiana.

Inmersas o distantes de la dorsal del Atlántico Sur se localizan las plumas o flujos hipotermiales (hot spots) de: Ascensión, con corrimiento hacia el NE a razón de 9 mm/año; Tristan de Cunha, con corrimiento hacia el NE a razón de 22 mm/año; Trinidad, con corrimiento hacia el W a razón de --

25 mm/año.

En los extremos de la dorsal se localizan las cuencas de Brasil (-50-00 m), de Argentina (-6212 m) ambas están separadas por la cresta de Río Grande; de Guinea, de Angola (-6013 m), del Cabo (-5457 m) estas dos últimas están separadas por la cresta de Walvis que junto con la de Río Grande forman una especie de Y, las cuales se desprenden de la dorsal mesoatlántica meridional a la altura de la pluma de Tristán de Cunha.

En el extremo SW de Atlántico Meridional se localiza la dorsal de las Antillas del Sur, que es de hecho una bifurcación hacia el SW de la dorsal del Atlántico; y en la que se localiza el graben del archipiélago Sandwich (-3264 m) de tipo arqueado del que se desprenden dos grandes fallas transformantes de tipo dorsal-arco que bordean a la microdorsal Sandwich y a la placa de Escosia o cuenca de las Antillas del Sur (-4000-3000 m).

Así, el extremo meridional de la dorsal mesoatlántica termina en fallas transformantes de unión triple de tipo dorsal-dorsal, las cuales marcan el punto de convergencia de las placas americana, africana y antártica.

En la geodinámica planetaria las fallas transformantes desempeñan un papel de primera importancia, ya que al actuar dextral y sinistralmente sobre las dorsales determinan la dirección del corrimiento del suelo oceánico y por ende de las placas corticales.

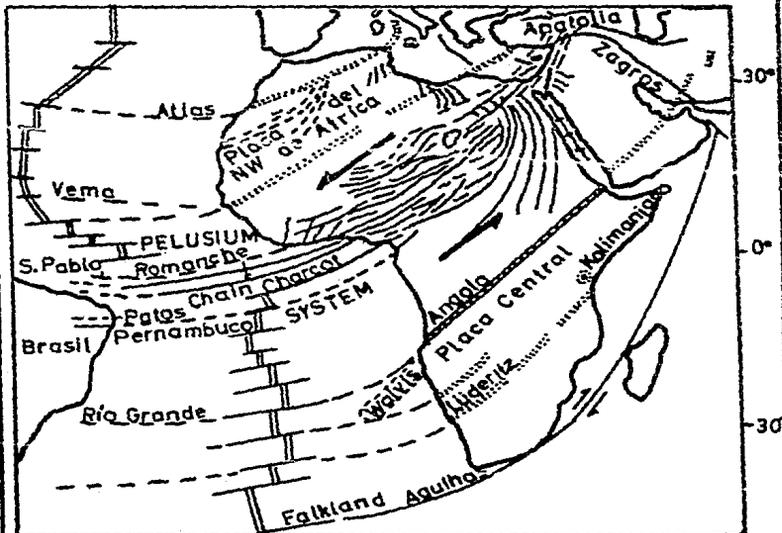
La geografía tectónica del suelo del Atlántico principalmente lleva a considerar que:

- i) Las fallas transformantes son parecidas a las fallas transcurrentes continentales.
- ii) Las dorsales son estacionarias y las placas divergen sólo a lo largo de la línea de separación entre los segmentos del eje de la dorsal.
- iii) El corrimiento opuesto de dos placas hace posible la conjunción de rifts y por lo tanto la formación de una zona de elevación.

En consecuencia, la dinámica de la Tierra y específicamente las zonas neotectónicas suboceánicas entre ellas el océano Atlántico está determinada por la pre-existencia de ingentes geosuturas planetarias conocidas como fallas transformantes.

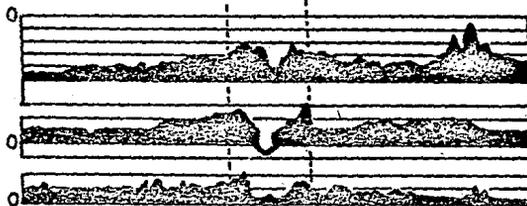
MEGASHEARS PLANETARIOS

Fig.6.9 101



Journal of Geophysical Research, December 1982, p10690.

Zona sísmica



Perfil de la dorsal del Atlántico. Paralelo 30° N.
 Perfil del lago Tanganica. Paralelo 8° S.
 Perfil del lago Nyassa. Paralelo 14° S.

Willian Glen. p97

Justo en la unión triple de la dorsal del Atlántico Sur marcada por una pluma se deriva con dirección NE la dorsal del Suroeste del Indico, la cual termina en la unión triple del centro del océano Indico.

Paralelas a la dorsal se localizan las cuencas marginales de Madagascar, de Natal (-5778 m), del Indico Occidental (-6000 m) y del Atlántico Surpo ar (-6972 m).

En ambos lados de la dorsal se localizan las plumas de la isla Reu -- nión, con corrimiento hacia el NE a razón de 22 mm/año; de la isla Kerguelen, con corrimiento hacia el SE a razón de 6 mm/año; del Caño, con corrimiento hacia el E a razón de 3 mm/año.

La unión triple de las dorsales mesoceánicas en el centro del océano Indico señalan la convergencia de las placas africana, indo-australiana y -- antártica.

De esta unión triple mesoceánica se desprende hacia el norte la dorsal Central del Indico-Carlberg, la cual es intersectada por la falla Owen, que al flexionarse hacia el NE el rift de la dorsal se introduce en el golfo de Aden.

Hacia el norte de la unión triple se extiende la meseta Chagos-Laccadive, que recorre el oeste de India.

Al este de la dorsal del Indico Central se localiza la dorsal del Indico Oriental y entre ambas se encuentra la cuenca del Indico-Central (-6090 m) y hacia el NW está la cuenca de Arabia.

Por último de la unión triple del Indico se prolonga hacia el sur la dorsal del Indico del Sureste, con un promedio de expansión a razón de 69--70 mm/año, la cual termina en la cresta Maquarie justo en la intersección de la zona de subducción y la falla transformante tipo dorsal-arco de Maquarie. La dorsal está bordeada por las cuencas de Australia del Sur (-6857 m) e Indica-Antártica (-4500 m).

Esta dorsal suboceánica continua por el sur del océano Pacifico con el nombre de Pacífica-Antártica, con un promedio de expansión a razón de 70 mm/año, y está también dislocada por fallas transformantes entre las que -- destaca la gran falla Eltanin (geosutura planetaria, que se extiende desde

el Tien Shan hasta Japón. La dorsal está bordeada por las cuencas del Pacífico Sur (-5000 m) y del Pacífico-Antártico (-5000 m).

A partir de la falla Eltanin, la dorsal tuerce ligeramente hacia el norte y recibe el nombre de dorsal del Pacífico Oriental, con un promedio de expansión a razón de 170-130 mm/año, la cual termina en el NW de México (golfo de California).

De esta dorsal se desprenden dos ramales; el primero, corre hacia el extremo sur de Suramérica con el nombre de cresta de Chile, que delimita por el sur a la placa de Nazca; y el segundo, corre a la altura de las islas Galápagos (pluma del mismo nombre con corrimiento hacia el NE a razón de 91 mm/año) con el nombre de dorsal de Cocos, que delimita por el sur a la placa del mismo nombre. Esta dorsal termina en la falla transformante de tipo dorsal-arco del sur de Panamá.

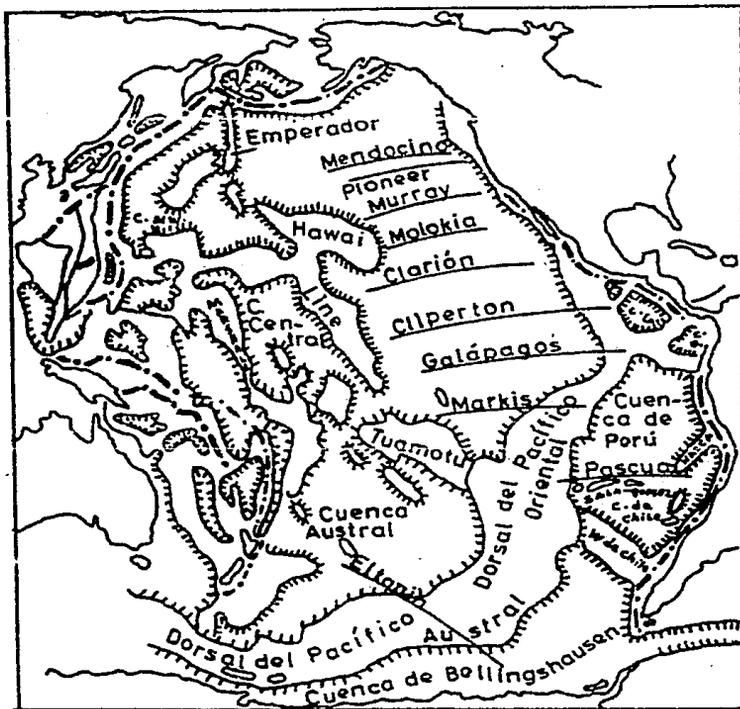
En ambos lados de la dorsal del Pacífico se localizan las cuencas de Chile (-4000 m), de Perú (-4000 m) y del Pacífico (-4500,-5000 m).

Ahora bien, desde el punto de vista geométrico y tectónico los golfos de Aden y California son semejantes. Sin embargo, el golfo de California presenta la transición entre cortezas antiguas y maduras continentales adelgazadas por extensión.

El joven rift del golfo de California está dislocado por fallas transformantes oblicuas; de donde se deduce que la cuenca oceánica es más reciente en la dirección de la propagación del rift.

Donde termina el rift del golfo de California principia la célebre falla transcurrente de San Andrés, falla de tipo dorsal-arco por unir el rift de California y la zona de subducción de la placa Juan de Fuca. Esta zona de infracorrimiento origina la falla transformante de tipo arco-arco Reina Carlota, que se une a la trinchera de las Aleutianas.

Las trincheras oceánicas peripacíficas se explican a la luz de la tectónica de placas uno de cuyos principios estriba en la existencia de zonas oceánicas de reducción. De tal forma, que los sismos profundos que son comunes en las trincheras se deben a la compresión y a la tensión a la que es sometida la placa buzante, el plano Wadati-Benioff.



⚡ Elevaciones. ☉ Depresiones. — Fracturas. - - - - Trincheras



Perfiles del sistema montañoso de Hawai

Los accidentes geográficos de Asia Oriental son las trincheras, las cadenas volcánicas y las cuencas marginales. Las cuencas marginales se originan por la extensión de la corteza y se caracterizan por altos flujos de calor.

Entre las trincheras peripacíficas importantes se encuentran la de -- las Aleutianas (-7822 m), las Kuriles (-10542 m), de Japón (-8412 m), de Bering (-10340 m), las Marianas (-10793 m), de Japón (-8138 m), de Ryukyu (-7507 m), de Filipinas (-10540 m), de Nueva Guinea, de Nuevas Hébridas, de Tonga-Kermadec (-10882 m), de Puysegur, de Chile-Perú (-8066 m) y de Centroamérica (-6662 m).

En la cuenca del Mediterráneo se localiza la trinchera Melénica. En el océano Atlántico se encuentran las trincheras de Puerto Rico (-8526 m), de las Antillas Menores (-4000 m), y de las Antillas del Sur. En el océano Índico se localizan las trincheras de Java (-7455 m) y de las Molucas.

La cuenca del océano Pacífico que comprende el 46 % del océano mundial encierra ingentes secretos tectónicos, entre los que se encuentran las cadenas de islas y las plumas hipotermales (hot spots), que señalan la dirección y velocidad de corrimiento e infracorrimiento del suelo oceánico de la otrora Panthalasa.

Las cadenas de islas de la placa pacífica encuadran su exégesis en tres plumas subcorticales, que han originado tres cadenas de islas paralelas: las de Hawaii y los montes submarinos Emperador, las islas Tuamotu y Línea, y las islas australes de Gilbert y Marshall. (Fig. 6.10).

6.2.2 GEOGRAFIA DE LAS PLACAS DE LA CORTEZA TERRESTRE

Con el advenimiento de las teorías geodinámicas se vislumbra para la geografía un nuevo horizonte metodológico, al considerar que la corteza terrestre está formada por grandes unidades morfoestructurales de naturaleza continental-oceánica interactuantes, las placas tectónicas.

i) Placa Pacífica (PCFC). Tiene una área de 108 millones de km^2 , área continental 1.9 millones de km^2 . Esta bordeada por el oeste por arcos islas

y por profundas trincheras de tipo convexo rectilíneo de Asia Oriental, y hacia el sur y este por la dorsal del Pacífico Oriental y por el frente de subducción Juan de Fuca en Norteamérica, y en el norte por el frente de subducción de las Aleutianas.

En el espacio geográfico de la placa pacífica emergen los puntos calientes o plumas hipotermales activos de: Kilawea, Mauna Loa, Tanití y Samoa.

ii) Placa Euroasiática (EURÁ). Es de tipo continental-oceánica y abarca una área de 68 millones de km^2 , área continental 59.4 millones de km^2 .

Esta delimitada hacia el este por los arcos islas de Asia Oriental, en el sur y sureste por la gran zona orogénica Alpino-Himalaya, por el oeste por la dorsal del Atlántico y hacia el norte por el océano glacial Ártico. Los accidentes morfoestructurales de la placa euroasiática son las cadenas orogénicas precámbricas, paleozoicas y mesozoicas; y los sistemas de rift valleys del Baikal, del Rin y los grábenes de Oslo y Vizcaya.

iii) Placa Africana. Es de tipo continental-oceánica y tiene una área de 73.4 millones de km^2 , área continental 35.4 millones de km^2 . La plataforma continental africana se caracteriza por la ausencia de cadenas orogénicas importantes (con excepción del noroeste, los montes Atlas; y del sureste, los Drakensberg) de ahí su relativa estabilidad sísmica.

Sin embargo, en el espacio geográfico de la placa africana se localizan los accidentes tectónicos-morfológicos más espectaculares del planeta: los puntos calientes y las grandes disyunciones de la corteza.

Los volcanes aislados no relacionados con el vulcanismo en los límites de las placas reciben el nombre de puntos calientes (PC). Estas erupciones representan menos de 1 % de la actividad volcánica de la Tierra y las lavas pertenecen a los basaltos alcalinos característicos de zonas de altas presiones, de ahí su origen profundo.

Según la hipótesis de Morgan, los puntos calientes son chorros de materia caliente que se levantan de lo profundo del manto al piso de la corteza.

De los 122 PC localizados sobre la superficie terrestre, 69 correspon-

den a los continentes de los cuales 43 se encuentran en Africa.

Laster C. King considera que la convexidad de la corteza terrestre es consecuencia de la existencia subcortical de los PC que por ser anomalías - termales dilatan a la corteza. Así, los volcanes que se localizan en el --- área de los rift valleys indican el suministro de material caliente prove - niente del manto.

Este es otro argumento que avala la riftingogénesis planetaria y especí - ficamente de Africa Oriental.

iv) Placa de Arabia (ARAB). Tiene una área de 4.9 millones de km^2 , -- área continental 4.2 millones de km^2 .

v) Placa Indica (INDI)-Australiana (AUST). Es de tipo continental- -- oceánica y tiene una área de 61 millones de km^2 , área continental 21.7 mi - llones de km^2 . El accidente tectónico-morfológico de esta placa es que ha - cia el norte, este y sureste se localiza una vasta zona de colisión y reduc - ción que se extiende desde el Himalaya hasta el sistema Tonga-Kermadec.

vi) Placa de Filipinas. Cuenta con una superficie de de 5.7 millones - de km^2 y está bordeada por arcos islas y profundas trincheras.

vii) Placa de Norteamérica (NOAM). Cuenta con una superficie de 58.8 - millones de km^2 , superficie continental 35 millones de km^2 .

viii) Placa de Suramérica (SOAM). Cuenta con una superficie de 42.7 - millones de km^2 , superficie continental 25.6 millones de km^2 .

Las placas NOAM y SOAM son de tipo continental-oceánica. En el espa - cio continental de estas placas se localiza el complejo orogénico Rocallo - sas-Andes y en el margen occidental de la misma se encuentra una vasta zona de reducción oceánica que se caracteriza por su alta sismicidad y vulcanis - mo.

ix) Placa del Caribe (CARB). Es de tipo continental-oceánica y tiene - una superficie de 3.5 millones de km^2 , superficie continental 1.4 millones - de km^2 . Está bordeada por arcos islas y las trincheras de Puerto Rico y las Antillas Menores.

x) Placa de Cocos (COCO). Es de tipo oceánica y tiene una área de 3.1 - millones de km^2 . Hacia el norte está delimitada por la zona de subducción -

de Centroamérica, que se caracteriza por una intensa actividad sísmica y -- volcánica.

El accidente tectónico de la placa de COCO es la trinchera de Centroamérica, la cual se extiende desde Colima hasta Costa Rica.

La trinchera está comprendida en la zona de subducción de Centroamérica y se enlaza con la dorsal del Pacífico Oriental por medio de una falla transformante de tipo arco-dorsal, y con la trinchera de los Andes a través de una falla transformante de tipo arco-arco.

El devastador terremoto de México, del 19 de Septiembre de 1985 fue causado por la subducción de una parte de la placa de COCO debajo del territorio mexicano.

xi) Placa de Nazca (NAZC). Es de tipo oceánica principalmente y abarca una superficie de 16.4 millones de km^2 .

La majestuosidad de los conos volcánicos de la cadena orogénica de -- los Andes contrasta tristemente con el número de poblaciones devastadas a consecuencia de intensos terremotos y erupciones volcánicas, la más reciente erupción paroxismal fue la del Nevado del Ruiz, en Colombia, el 13 de Noviembre de 1985.

Los volcanes de los Andes son el resultado del descenso del suelo del Pacífico (placa de Nazca) que subduce debajo del continente suramericano.

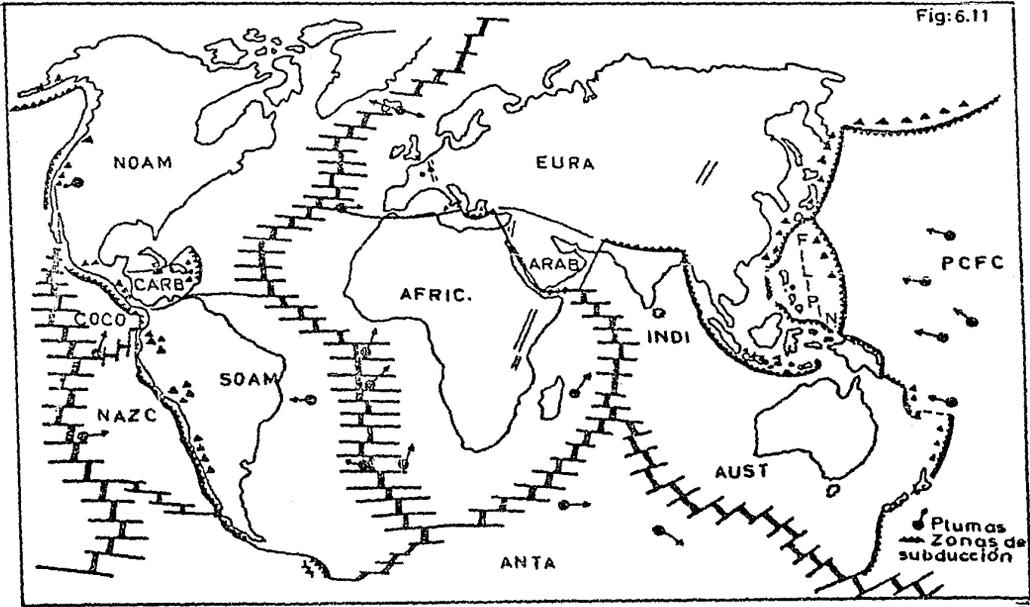
El magma que se genera en las zonas de subducción es la andesita, que se caracteriza por su alto contenido de dióxido de silicio (54 %). Otra de las características de las erupciones andinas son los flujos piroclásticos, que son avalanchas turbulentas de detritos volcánicos calientes (lahar).

El Nevado del Ruiz (5200 m) se localiza en la cordillera Central de -- Colombia, y es parte del complejo volcánico Ruiz-Tolima, que es un arco formado por siete volcanes constituidos por flujos de lava tipo andesita-dacita y detritos piroclásticos yacentes sobre un basamento precámbrico y paleozoico.

xii) Placa Antártica (ANTA). Es de tipo continental-oceánica y tiene una superficie de 17.4 millones de km^2 .

xiii) Microplacas: Helénica, Adriática, Nueva Escosia, Turca, Iraní, --

Fig:6.11



Salomón, Fiji, Bismarck y Juan de Fuca (Fig. 6.11).

6.3 LOS GEOSINCLINALES LAS MONTAÑAS Y LA FORMACION DE LOS CONTINENTES

El margen continental comprende tres unidades estructurales: la plataforma continental, de 0 a -200 m; el talud continental, de 200 a -3000 m para márgenes estables y de -5000 a 10000 m para márgenes activos; y el glacis continental, de -4000 a -5000 m. Estas unidades adosadas a los continentes son el espacio geográfico suboceánico de contrapeso isostático en donde se gestan in situ las grandes revoluciones orogénicas.

Así, la subsidencia cronológica y por sobrecarga sedimentaria son los fenómenos geodinámicos que rigen la evolución de los márgenes estables tipo Atlántico del Norte.

A la luz de la tectónica de placas las cuencas abisales se originan por enfriamiento de la corteza oceánica ya que en ambos lados de las dorsales la corteza oceánica se hunde a medida que envejece.

En esta zona de subsidencia es donde se forman los geosinclinales, -- que son artesas prismáticas pericontinentales, los cuales evolucionan en ca cadenas montañosas.

Ahora bien, el geosinclinal presenta dos fases: el eugeosinclinal, -- que yace en el talud continental y que contiene facies pelágicas y flychs; y el miogeosinclinal, que se localiza en la plataforma continental en donde se encuentran potentes series sedimentarias de facies neríticas.

De los tres tipos de articulaciones de las placas es la convergencia la que explica la orogénesis de los geosinclinales, la cual está siempre -- acompañada de vulcanismo y metamorfismo.

J. H. Pratt, George Airy y Félix Vening-Meinsz indican que el mecanismo de la orogenia estriba en el equilibrio isostático entre la viscosa corteza y la boyante astenosfera.

Pratt argumenta que los sistemas montañosos se forman donde la corteza es menos densa; así, el exceso de masa de una cordillera montañosa es -- compensado por un déficit de la misma debajo de la cordillera.

Airy considera que la corteza terrestre tiene densidad uniforme, pero que esta es más gruesa debajo de las montañas; y compara a éstas con los -- icebergs.

Vening-Meines sugiere que la carga topográfica de las cordilleras montañosas flexionan negativamente a la litosfera. De tal forma que la flexión suele originar una artesa paralela a la cordillera montañosa; por lo tanto la diferencia de masas explica el equilibrio isostático.

A la luz de la tectónica de placas el sistema orogénico Alpino-Himalayo-Tibetano se explica a través de procesos graduales de colisión, sutura, repliegue e infracorrimiento oblicuo entre las placas circundantes.

La tectónica de placas contempla por otra parte que las morfoestructuras interoceánicas del Pacífico, los contrafuertes y núcleos de los macizos continentales peripacíficos corresponden a tectofacies marinas específicas: los terrenos o retazos litosféricos, los cuales son formaciones donde predomina uno o varios grupos de rocas delimitadas por fallas.

En Suramérica, los Andes son de naturaleza distinta y todo parece indicar que el orógeno yace sobre una boyante raíz subcortical de más de 70 - km de profundidad.

El engrosamiento subcortical de los Andes se explica por la acción simultánea de dos procesos endógenos: por intrusiones magmáticas y por el - estrujamiento de los bordes del orógeno a través del infracorrimiento de la placa de Nazca debajo del continente, y del cabalgamiento forzado del Escudo Brasileño.

6.4 LOS ARCOS ISLAS

Las cuencas marginales, los arcos islas, los arcos volcánicos y las - profundas trincheras son los accidentes geográfico-estructurales periféricos del gran océano mundial, el Pacífico.

Las trincheras oceánicas se forman por la convergencia de dos placas - una cabalgante que permanece en la superficie y otra boyante que se hunde - en la astenosfera.

Esta zona oceánica de reducción consecutivamente da lugar a trincheras oceánicas tipo cordillera o tipo arco isla. El cabalgamiento e infracarriamiento son interactuantes y por ende originan las zonas de subducción plangtarias.

Ahora bien, el buzamiento oblicuo y gradual del suelo oceánico explica la alta sismicidad y el vulcanismo activo de los arcos islas. Por lo tanto, un arco isla es un cinturón tectónico de alta actividad sísmica, caracterizado por un alto flujo de calor con volcanes activos y bordeado por una trinchera submarina.

Las cuencas marginales situadas entre los macizos continentales y los arcos islas se originan por expansión cortical y son zonas de colmatación - sedimentaria.

Tabla 3. Correlación entre la actividad y las series de rocas volcánicas en los arcos islas:

Grupo	Arco y Trinchera	Prom. de conv. cm/año	Máx. prof. temblores	Max. prof. de las fosas km	Series de rocas volcánicas.
I	Tonga	9	700	11	Th
	Izu-Bonin	9	600	11	Th+(C)+(A)
	NE de Japón	9	600	11	Th+C+(A)
	Kuriles-Kamchatka	8	600	10	Th+C+A
	Aleutianas	6	300	8	(Th)+C+A
	Indonesia	5-6	600	7	(Th)+C+A
II	Ryukyu	?	300	7	(Th)+C
	North Island				
	(Nueva Zelanda)	Bajo(3 ?)	300	4	C+A
	Helénica (Egeo)	Bajo(3 ?)	200	4	(Th)+C+A
III	Calabria	Muy bajo (2)	300	Profundo	A
	Maquarrie	Muy bajo	100	Somero	(Th)+(C)+A

Nota: La actividad de los arcos decrece en el orden: grupo I-II-III. Th=serie tefítica, C=serie cálcico-alcalina, Serie alcalina. Las series de rocas que se muestran en paréntesis no son típicas. Tomado de Le Pichon, 1968- y citado por Windley, 1977, p 244.

La figura 6.12, muestra los perfiles de las trincheras principales, - las anomalías de la gravedad en el borde de los márgenes continentales activos y los arcos insulares (los puntos negros representan las anomalías al aire libre y los puntos blancos las anomalías isostáticas), y la situación de los focos sísmicos oajo los márgenes y los arcos islas activos.

Perfiles de las trincheras: 1, Aleutianas; 2, Volcano; 3, Vityaz ($10^{\circ} 27' S$); 4, Tonga; 5, Caimán; 6, Kuriles-Kamchatka; 7, Marianas; 8, Bugamvilia ($6^{\circ} 15' S$); 9, Kermadec; 10, Puerto Rico; 11, Japón; 12, Jap; 13, Nueva-retaña; 14, Chile; 15, Sandwich Austral; 16, Izú Bonin; 17, Palau; 18, Nuevas Hébridas; 19, Perú; 20, Nausey ($24^{\circ} 30' N$); 21, Filipinas; 22, Sonda. (Tomado de Agapova, 1979; citado por Lugo Hubp José, 1986, p 76).

Las zonas de convergencia de placas coinciden siempre con fuertes anomalías gravimétricas que se traducen en desequilibrios isostáticos. Así, -- una ligera anomalía positiva (50 miligales) se asocia a la convexidad positiva y se explica por el ascenso local del fondo marino y de la Moho.

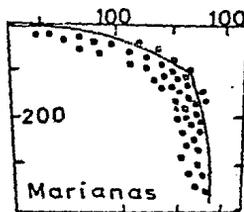
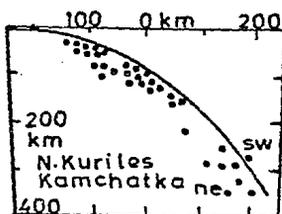
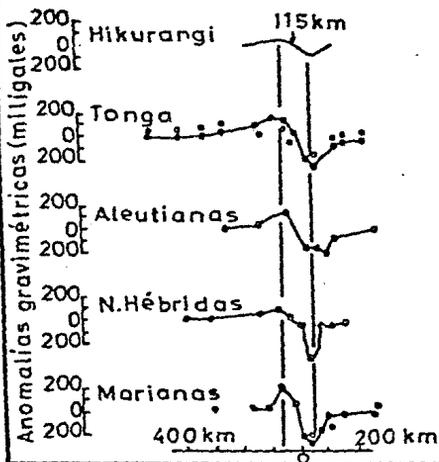
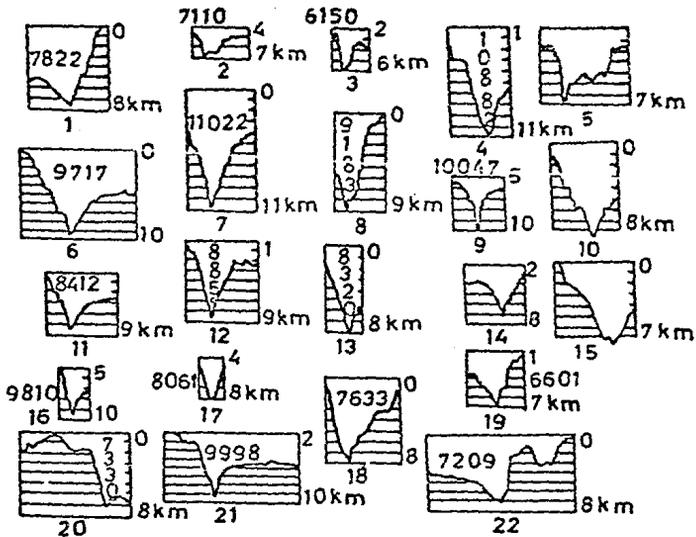
Las anomalías negativas fuertes son propias de las trincheras y de -- los arcos sedimentarios externos. En estas zonas las anomalías alcanzan o -- sobrepasan -200 miligales.

Esta disminución de la gravedad es consecuencia de la subducción, de forma que la placa buzante aleja de la superficie a la Moho y el manto formado de rocas densas; en contraposición con la capa de agua en la fosa o de sedimentos en el prisma de acreción que se engrosan. Ambos fenómenos originan el defecto de masa y son causa de las anomalías gravimétricas.

Por otra parte, las anomalías positivas del arco volcánico se explica por el levantamiento del borde de la placa cabalgante y por las intrusiones magmáticas y el vulcanismo.

La figura correspondiente muestra que las zonas de subducción están -- en profundo desequilibrio isostático.

Por último, los perfiles de las trincheras Kuriles Kamchatka y Marianas muestran el infracorrimiento oblicuo del suelo oceánico por el descenso gradual de los focos sísmicos a lo largo del plano Wadati-Benioff.



C O N C L U S I O N E S

A. Hallam escribió en la revista Scientific American (1975, 232-2) el artículo: "Alfred Wegener and the Hypothesis of Continental Drift" en el -- que se confrontan los fundamentos conceptuales derivistas y antiderivistas-- acerca de la geodinámica. Este controvertido artículo fue el punto de parti-- da del presente trabajo.

Así, desde la tranquilidad de nuestro gabinete y teniendo siempre en-- mente el principio del Uniformismo, recorrimos a saltos el devenir de la -- Tierra. De esta forma llegamos a la misma conclusión a la que otros tambie-- n llegaron hace cientos de años: la Tierra es una sucesión de negaciones. El-- problema era que desconocíamos el origen de éstas palabras.

Este célebre principio nos permitió vislumbrar que el camino no era -- fácil, que era imprescindible contar con un buen apoyo.

En las ciencias de la Tierra a nuestro entender hay tres obras monu-- mentales de trascendencia histórica: la de Wegener, la de Jeffreys y la de-- Belousov; por consabidas razones decidimos por la primera.

La hipótesis de la deriva continental propuesta por Wegener es juzga-- da por la historia como la primera gran revolución en las ciencias de la -- Tierra, que hoy por hoy ha culminado en la novísima teoría de la expansión-- del suelo oceánico y tectónica de placas. Como ambas son complementarias -- por primera vez ofrecen no sólo a las academias sino a toda la humanidad y-- esto es lo más importante, una nueva visión de su única morada, la Tierra.

Por centurias amañadamente se ha escrito y enseñado que la Tierra es-- un planeta finito desde el punto de vista de sus recursos, y que por lo tan-- to en un futuro no muy lejano llegaría para la humanidad el día apocalípti-- co en el que estaría en juego su sobrevivencia; en virtud de que la tasa de-- consumo excedería a la tasa de producción de los recursos.

Sin embargo, estas dos corrientes de pensamiento tectónico corren el-- velo de la falacia catastrofista y anteponen el contundente argumento de -- que la Tierra y sus recursos deben medirseles a partir de la tasa de renova-- ción.

Regeneración que está avalada por la coexistencia sobre la superficie terrestre de paleo-neoformaciones armónicas y disarmónicas, las cuales son derivaciones de procesos tectónicos y fases geoquímicas que revierten la materia.

Por esto, la tasa de renovación de la corteza en la que que están implícitos los recursos se mide a la luz de la expansión, subducción, colisión, fallamiento, acreción y protuberancias termales que si bien ocurren en miles de millones de años en ellas se origina la metalogénesis.

Con este marco de referencia que la tectónica global ofrece y que ---afortunadamente no es instrumento de penetración hegemónica de los centros de poder económico, sino que en ella concurren todas las ciencias afines --- con la finalidad de comprender mejor la dinámica de la Tierra.

Consideramos que ésta es la coyuntura que debe aprovechar la disciplina que profesamos para revestirse con la definición acuñada por la escuela alemana que dice: la geografía es la conquista de la Tierra por el intelecto humano.

Conquista que se limita a la exploración y a la búsqueda de alternativas racionales para el óptimo aprovechamiento de los recursos presentes en la Naturaleza que como sabemos siempre opone resistencias pero cuando el -- hombre utiliza su capacidad mental y su fuerza física vence las resisten -- cias y transforma los recursos en satisfactorios.

Definición que incluimos no como un mero concepto retórico sino por -- que a nuestro entender la geografía sólo se justifica si se apoya en el conocimiento problemático de la realidad objetiva del mundo físico o biológico.

El análisis geográfico de los mosaicos del mundo físico-biológico y -- los perfiles verticales del interior del planeta indican con precisión que la Tierra es un perfecto código estructurado, desentramar sus interconexiones es un reto intelectual para el geógrafo.

Sin embargo, desconocemos la causa por la que los geógrafos profesionales del mundo son ajenos al intrincado y vasto campo de la geofísica y la

geotectónica.

Ante esta realidad y desde este espacio hacemos un atento llamado a las autoridades correspondientes que comprometidas con la disciplina que -- profesan y para la superación académica de los geógrafos se incluyan las materias de geofísica y geotectónica en el curriculum de la carrera correspondiente.

Materias que por ser las más actualizadas y por el peso de sus contenidos darían a la profesión cohesión y sobre todo filosofía.

Honorable sínodo, fueron tres las preguntas que nos animaron a realizar el presente trabajo: Qué es la Tierra ? De qué está hecha ? y Cómo funciona ?

Si en el curso de la presente exposición respondimos a éstas preguntas, bien, sino me remito a las palabras de Lenin: "El conocimiento, por -- tanto, es una reproducción mental de la realidad objetiva, y si esta no es estática, el conocimiento sobre ella tiene necesariamente que ajustarse, enriquecerse o eliminarse para dar paso a otro que mejor explique la realidad objetiva".

G L O S A R I O

ANISOTROPIA: Propiedad de los cuerpos que no presentan idénticas características físicas y mecánicas en todas sus direcciones./ Isotropía.

ANOMALIA: Es toda desviación de los valores normales que se hace presente en un determinado lugar. Anomalía magnética. Si se trata de una desviación del magnetismo terrestre. En zonas de gran actividad sísmica existe la anomalía de la gravedad.

BENIOFF (ZONA): Un plano de actividad sísmica inclinado cerca de 45° , y que se extiende desde la trinchera oceánica hasta 700 km de profundidad.

CAMPO MAGNETICO: Región del espacio en la cual las substancias magnéticas experimentan la acción de una fuerza engendrada por los imanes, las corrientes eléctricas y los planetas.

CORRELACION: Una demostración de que las unidades de rocas ahora separadas se formaron al mismo tiempo. Las equivalencias en edad se determina por los fósiles o por mediciones de las proporciones de ciertos elementos químicos los cuales se transforman por radioactividad.

DIASTROMA: Separación, intersticio o despegue entre dos estratos.

DORSAL: Cresta formada por una elevación longitudinal del fondo de los océanos.

FACIES: Conjunto de caracteres petrográficos y paleontológicos que definen un depósito o una roca. A veces se la divide en litofacies y biofacies.

GAL: Unidad que sirve para medir las aceleraciones debidas a la gravedad, - igual a la aceleración de 1 cm/s por segundo (1 cm/s^2).

GRADIENTE: Aumento o disminución de una magnitud física cuando se pasa de un punto a otro del espacio.

HISTERESIS: Retraso de la imantación de un cuerpo magnético respecto a las variaciones del campo magnetizante, al cual se debe que la imantación en un momento dado depende de los estados magnéticos anteriores.

INTERFEROMETRIA: Técnica relativa a la medición de las franjas de interferencia. Interferómetro. Instrumento para medir con precisión las coordenadas celestes de las zonas radiantes que emiten ondas electromagnéticas en -

G L O S A R I O

ANISOTROPIA: Propiedad de los cuerpos que no presentan idénticas características físicas y mecánicas en todas sus direcciones./ Isotropía.

ANOMALIA: Es toda desviación de los valores normales que se hace presente - en un determinado lugar. Anomalia magnética. Si se trata de una desviación del magnetismo terrestre. En zonas de gran actividad sísmica existe la anomalía de la gravedad.

BENIOFF(ZONA): Un plano de actividad sísmica inclinado cerca de 45° , y que se extiende desde la trinchera oceánica hasta 700 km de profundidad.

CAMPO MAGNETICO: Región del espacio en la cual las sustancias magnéticas - experimentan la acción de una fuerza engendrada por los imanes, las corrientes eléctricas y los planetas.

CORRELACION: Una demostración de que las unidades de rocas ahora separadas se formaron al mismo tiempo. Las equivalencias en edad se determina por los fósiles o por mediciones de las proporciones de ciertos elementos químicos - los cuales se transforman por radioactividad.

DIASTROMA: Separación, intersticio o despegue entre dos estratos.

DORSAL: Cresta formada por una elevación longitudinal del fondo de los océanos.

FACIES: Conjunto de caracteres petrográficos y paleontológicos que definen un depósito o una roca. A veces se la divide en litofacies y biofacies.

GAL: Unidad que sirve para medir las aceleraciones debidas a la gravedad, - igual a la aceleración de 1 cm/s por segundo (1 cm/s^2).

GRADIENTE: Aumento o disminución de una magnitud física cuando se pasa de - un punto a otro del espacio.

HISTERESIS: Retraso de la imantación de un cuerpo magnético respecto a las variaciones del campo magnetizante, al cual se debe que la imantación en un momento dado depende de los estados magnéticos anteriores.

INTERFEROMETRIA: Técnica relativa a la medición de las franjas de interferencia. Interferómetro. Instrumento para medir con precisión las coordenadas celestes de las zonas radiantes que emiten ondas electromagnéticas en -

el espacio cósmico.

MAGNETISMO/GEOMAGNETISMO: Propiedad magnética de la Tierra (aprovechada por la brújula para descubrir el norte) que origina la mayor parte del campo geomagnético. La declinación es la desviación de la aguja magnética hacia la dirección norte, y la inclinación es la tendencia de la aguja magnética hacia la horizontal. El polo magnético Sur se encontraba en 1964 hacia los $75^{\circ} 5^{\circ}$ de lat. N y $100^{\circ} 5^{\circ}$ de long. W. El campo principal y la variación secular representa, aproximadamente, el 94 % del total y están determinados probablemente, por corrientes de materia en el interior de la Tierra.

MAGNETOHIDRODINAMICA: Es el estudio de la interacción de un movimiento, un fluido conductor eléctrico y un campo magnético.

NUCLEOSINTESIS: Las estrellas supermasivas, de alrededor de 30 masas solares o más cuando llegan al final catastrófico de su evolución, expulsan una gran cantidad de masa hacia el medio interestelar en la forma de productos de reacciones nucleares. Al conjunto de procesos responsables de la formación de elementos pesados de estas estrellas se les conoce como nucleosíntesis explosiva.

POISE: Unidad de medida de la viscosidad dinámica en el sistema C. G. S. El poise vale la décima parte del poiseuille. Poiseuille es la unidad de viscosidad dinámica en el S. I.

RIFT: Es una estructura tectónica disyuntiva de la corteza terrestre, que se extiende linealmente, con longitudes de cientos y miles de kilómetros, por decenas o algunas centenas de amplitud. Se originan por una expansión lateral de bloques gigantes, en dirección transversal a la falla que forma el rift, proceso que va acompañado de material mántico.

VISCOSIDAD: Propiedad de los fluidos en los cuales el roce de unas moléculas con otras, oponen una resistencia al movimiento de su masa.

VISCOSIDAD (COEFICIENTE): Una expresión cuantitativa de la fricción entre las moléculas de agua en movimiento. Este decrece con el incremento de la temperatura.

BIBLIOGRAFIA

I CONSIDERACIONES GENERALES

- Bartch, Wolfgang. (1981): "Grandes Alemanes", Scala, Werner-wirthele, Frankfurt, 2, 46-47.
- Belousov, Vladimir V. (1971): "Principales hipótesis geotectónicas", Problemas básicos de geotectónica, Ed. Omega, Madrid, 854 págs.
- Gortari, Elí de. (1987): "Estructura del conocimiento", Introducción a la lógica dialéctica, Ed. Grijalbo, México, 338 págs.
- Hallam, A. (1975): "Alfred Wegener and the hypothesis of continental drift" Scientific America, W. H. Freeman, New York, 232-2, 88-97.
- Jeffreys, Harold. (1924): The Earth Origin History and Physical Constitution, Cambridge University Press, London, 278 págs.
- Neumann, Fred R. (1963): "Summary of General Principles", Historical Geology Notes, California, 128 págs.
- Rey, Pastor. (1952): Diccionario Filosófico, Ed. Espasa Calpa, Argentina.
- Rojas, Soriano Raúl. (1984): "La aventura del conocimiento humano", El proceso de la investigación científica, Ed. Trillas, México, 150 págs.
- Scheidegger, Adrian. (1963): "The Contraction hypothesis", Principles of Geodynamics, Springer-Verlag, Berlin, 362 págs.
- Sitter, L. U. de. (1970): "Tectónicas sobre la causa de la orogénia", Geología estructural, Ed. Omega, Barcelona, 527 págs.
- Skinner, Brian J. (1985): "Can you really believe the evidence", American Scientist, Washington, D. C., 74, 401-409.
- Uyeda, Seiya. (1980): La teoría de la deriva continental su alumbramiento, muerte y restablecimiento", La Nueva Concepción de la Tierra, Ed. Blume.
- Wegener, Alfred. (1966): "Historical Introduction", The Origin of Continents and Oceans, Dover Publications, New York, 246 págs.
- Wilhelm, Treue. (1957): "Groenlandia", La Conquista de la Tierra, Ed. Labor Barcelona, 546 págs.

II LA FINA ESTRUCTURA DEL INTERIOR DE LA TIERRA

- Academia Nacional de Ciencias. (1966): "Sismología", Geofísica de la Tierra Sólida, IPGH, Washington, 130 págs.
- Aubouin, J. (1981): "La Estructura del Globo Terrestre", Tectonofísica, Ed Omega, Barcelona, 422 págs.
- Bullen, Keith. (1955): "El interior de la Tierra", Deriva Continental y Tectónica de Placas. Selecciones de Sci. Am., Ed. Blume, Madrid, 271 págs.
- Cameron, Alastair. (1982): "De la formación de los elementos al nacimiento de la Tierra", El redescubrimiento de la Tierra, CONACYT, México, 279 págs.
- Carrigan, Charles. (1979): "The source of the Earth's magnetic field", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 240-2, 92-101.
- Diccionarios RIDDUERO. (1974): Geología y Mineralogía, Madrid, 238 págs.
- Elsasser, Walter M. (1974): "The Earth as a Dynamo", Planet Earth, Reading from Scientific American, W. H. Freeman, San Francisco, 252-256 págs.
- Franco, José. (1985): "El nacimiento de las estrellas", La Nueva Astronomía UNAM, México, 240 págs.
- Jeanloz, Raymond. (1983): "The Earth Core", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 249-3, 40-49.
- Llopis, Lladó Neol. (1983): "Geofísica y Geotectónica", Historia Natural, - Instituto Gallach, Barcelona,
- Lewis, John. (1974): "The Chemistry of the Solar System", Planet Earth, Reading from Scientific America, W. H. Freeman, 283-292.
- Mackenzie, D. P. (1976): "The Earth's Mantle", Scientific American, W. H. Freeman, 72-89.
- Nagata, Takesi. (1982): "El campo magnético terrestre y sus variaciones", El redescubrimiento de la Tierra, CONACYT, México, 279 págs.
- O'Nions, R. K. (1980): "The Chemical Evolution of the Earth's Mantle", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 242-5, 90-101.
- Paimbert, Manuel. (1984): "Evolución química del Universo", Temas selectos de Astrofísica, UNAM, México, 333 págs.
- Passachoff, Jay M. (1975): "The Solar Corona", New Frontiers in Astronomy, - W. H. Freeman, New York, 369, 70-80.
- Pequeño Larousse. (1984): "Ciencias y Técnicas", México, 1056 págs.

Pérez, Peraza José. (1984): "Campo Magnético y Ciclo Solar", Información -- Científica y Tecnológica, CONACYT, México, 64 págs.

Sagan, Carl (1975): "The Solar System", Scientific American, W. H. Freeman - New York, 233-3, 23-41.

Wegener Alfred. (1966): "Geophysical Arguments", The Origin of Continents, and Oceans, Dover Publications, New York, 246 págs.

III MORFOGENESIS DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Belousov, Vladimir V. (1971): "Causas de los procesos tectónicos", Problemas Básicos de Geotectónica, Ed. Omega, Barcelona, 854 págs.

Boillot, G. (1984): "Generalidades: Océano y Continentes", Geología de los márgenes continentales, Ed. Masson, Barcelona, 141 págs.

Bombach, Richard. (1980): "Before Pangea: The Geographies of the Paleozoic World, American Scientist, Washington, D.C., 26-38 págs.

Burchfiel, Clark. (1983): "The Continental Crust", Scientific American, W - H. Freeman, New York, 86-98.

Carter, William E. (1986): "Studying the Earth by Very-Long-Baseline Interferometry", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 255-5, 46-54.

Dietz, Robert. (1972): "La disgregación de la Pangea", Deriva Continental y Tectónica de Placas, Selección de Sci. Am., Ed. Blume, Barcelona, 271 pág

Jain, V. E. (1973): "Tectonósfera, estructura y origen", Geotectónica General, Ed. Mir, 303 págs.

Jordan, Thomas H. (1979): "The Deep Structure of Continents", Scientific -- American, W. H. Freeman, New York, 240-1, 70-82.

Lugo, Hupp José. (1986): "Las estructuras principales de los continentes", - UNAM, México, 133 págs.

Mattauer, Maurice. (1976): "Evolución tectónica del globo y sus mecanismos" Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre, Ed. Omega, Morbath, Stephen. (1977): "The Oldest Rocks and the Growth of Continents", - Scientific American, W. H. Freeman, New York, 236-3, 92-104.

Morbath, Stephen. (1982): "La primera corteza terrestre", El redescubrimiento de la Tierra, CONACYT, México, 279 págs.

- O'Nions, R. K. (1980): "The Chemical Evolution of the Earth's Mantle", --- Scientific American, W. H. Freeman, New York, 242-5, 90-101.
- Seyfert, Carl K. (1973): "Polar Wandering, Continental Drift and Sea-Floor-Spreading", Earth History and Plate Tectonics, H.R.P., New York, 503 págs.
- Zharkov, V. H. (1985): "Investigación de los materiales geofísicos a presiones altas", Estructura Interior de la Tierra, Ed. Mir, Moscú, 479 págs.
- Windley, Brian F. (1977): "Archaen High-grade Regions", The Evolving Continents, Wiley and Sons, New York, 385 págs.
- Wegener, Alfred. (1966): "Geological Arguments", The Origin of Continents and Oceans, Dover Publications, New York, 246 págs.

IV CORRELACIONES PALEONTOLOGICAS Y BIOLOGICAS ENTRE LOS CONTINENTES DE LAURASIA Y GONDWANA

- Colbert, Edwin A. (1982): "La vida sobre los continentes a la deriva", El redescubrimiento de la Tierra, CONACYT, México, 279 págs.
- Glen, William. (1975): "Fossil Life and Climates of the Past", Continental Drift and Plate Tectonics, Charles. Merrill, Ohio, 188 págs.
- Hones, Edward W. (1986): "The Earth's Magnetotail", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 40-47.
- Kurten, Bjorn. (1969): "Deriva Continental y Evolución", Deriva Continental y Tectónica de Placas, Selecciones de Sci. Am., Ed. Blume, Madrid, 114-124.
- Seyfer, Carl K. (1973): "Methods of Correlation", Earth History and Plate Tectonics, H.R.P., New York, 503 págs.
- Wegener, Alfred. (1966): "Paleontological and biological Arguments", The Origin of Continents and Oceans, Dover Publications, New York, 246 págs.

V FUNDAMENTOS PALEOCLIMATICOS DE LA DERIVA CONTINENTAL

- Adem, Julián. (1985): "Las causas de los cambios climáticos", Gaceta, UNAM.
- Covey Curt. (s.f.): "The Earth's Orbit and the Ice Ages", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 58-66.
- Derbyshire, Edward. (1983): "The Climatic Inheritance", Geographical Magazine, Geographical Press, London, 628-633.

Deynoux, Max. (1985): "Las Glaciaciones del Sahara", Mundo Científico, Madrid, 52-5, 1072-1083.

Fairbridge, Rhodes W. (1982): "Historia del clima en la Tierra", El redescubrimiento de la Tierra, CONACYT, México, 279 págs.

Windley, Brian F. (1977): "Paleoclimatology and the Fossil Record", The Evolving Continents, Windley and Song, New York, 355 págs.

Wegener, Alfred. (1966): "Paleoclimatic Arguments", The Origin of Continents and Oceans, Dover Publications, New York, 246 págs.

VI TEORIA DE LA EXPANSION DEL SUELO OCEANICO Y TECTONICA DE PLACAS

Anderson, J. C. (1986): "Strong Ground Motion from the Michoacan Mexico Earthquake", Science, American Association for the Advancement of Science, Washington, 233, 1043-1048.

Boillot, G. (1984): "Efectos morfológicos Estructurales de la Subducción", Geología de los márgenes continentales, Ed. Masson, Barcelona, 141 págs.

Bonatti, Enrico (s.f.): "Oceanic Fracture Zones", Scientific American, W.H. Freeman, 40-79.

Bonatti, Enrico. (1987): "The Rifting of Continents", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 97-103.

Clapperton, Chalmer. (1986): "Fire and Water in the Andes", The Geographical Magazine, Geographical Press, 74-79.

Dewey, John F. (1972): "Plate Tectonics", Planet Earth, Reading from Scientific American, W. H. Freeman, San Francisco, 123-135.

Dickinson, William R. (1982): "Tectónica de las placas y cadenas montañosas El redescubrimiento de la Tierra, CONACYT, México, 279 págs.

Dietz, Robert S. (1972): "Geosinclinales, Montañas y Formación de los Continentes", Deriva Continental y Tectónica de Placas, Ed. Glume, Madrid, 168.

Douglas, Ian. (1984): "The forces that created Britain", The Geographical Magazine, Geographical Press, London, 304-309.

Geo, Das Neue Bild der Erde. (1982): "Geburt eines Ozeana", Hamburg, 10-42.

Guerrero, José. (1985): "La erupción del Nevado del Ruiz", Gaceta, UNAM, 14.

Howell, David G. (1985): "Terranes", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 253-5, 90-103.

- King, Lester. (1962): Morphology of the Earth, Hafner Publising, New York.
- Molnar, Peter. (1977): "The Collision between India and Eurasia", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 236-4, 30-41.
- Molnar, Peter. (1986): "The Structure of Mountain Ranges", Scientific American, W. H. Freeman, New York, 255-1, 70-79.
- Neev, David. (1982): Journal of Geophysical Research, American Geophysical-Union, Washington, 87-13, 10,689-10,705.
- Vink, Gregory E. (1982): "Continental Rifting and Implications for Plate -- Tectonics", Journal of Geophysical Research, 87-13, 10, 677-10,688.
- Vink, Gregory E. (1985): "The Earth's Hot Spots", Scientific American, W. H Freeman, New York, 32-39.
- Wegener, Alfred. (1966): "Fundamentals of Continental Drift and Polar Wandring", The Origin of Continents and Oceans, Dover Publications, New York, - 246. págs.
- Zharkov, V. N. (1985): "Tectónica de las placas", Estructura Interior de la Tierra, Ed. Mir, Moscú, 479 págs.
- Alexander Weltatlas. Stuttgart.
- Knaurs Welt-Atlas (1939) Berlín.
- National Geographic (1985) National Geographic Society, Washington.
- The Times Concice Atlas of the World (1980) London.

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
 COLEGIO DE GEOGRAFIA

FE DE ERRATAS

Página	Replón	Dice	Debe decir
Prólogo. Ul- tima página.	2 der.	hipofocus	hipocentros
"	4 izq.	Asi mismo	Asimismo
6	7 izq.	investgación	investigación
14	15 der.	en interior	en el interior
17	17 izq.	taxor	taxar
21	18 izq.	El cambio	En cambio
42	9 izq.	plataform.	plataformas.
61	19 izq.	Idostón	Indostón
88	26 izq.	eustotatismo	eustatismo
99	22 der.	Falkland-Angulhas	Falkland-Aguilhas
99	18 izq.	1000 metros	25 kilómetros

poza rica
VERACRUZ

236

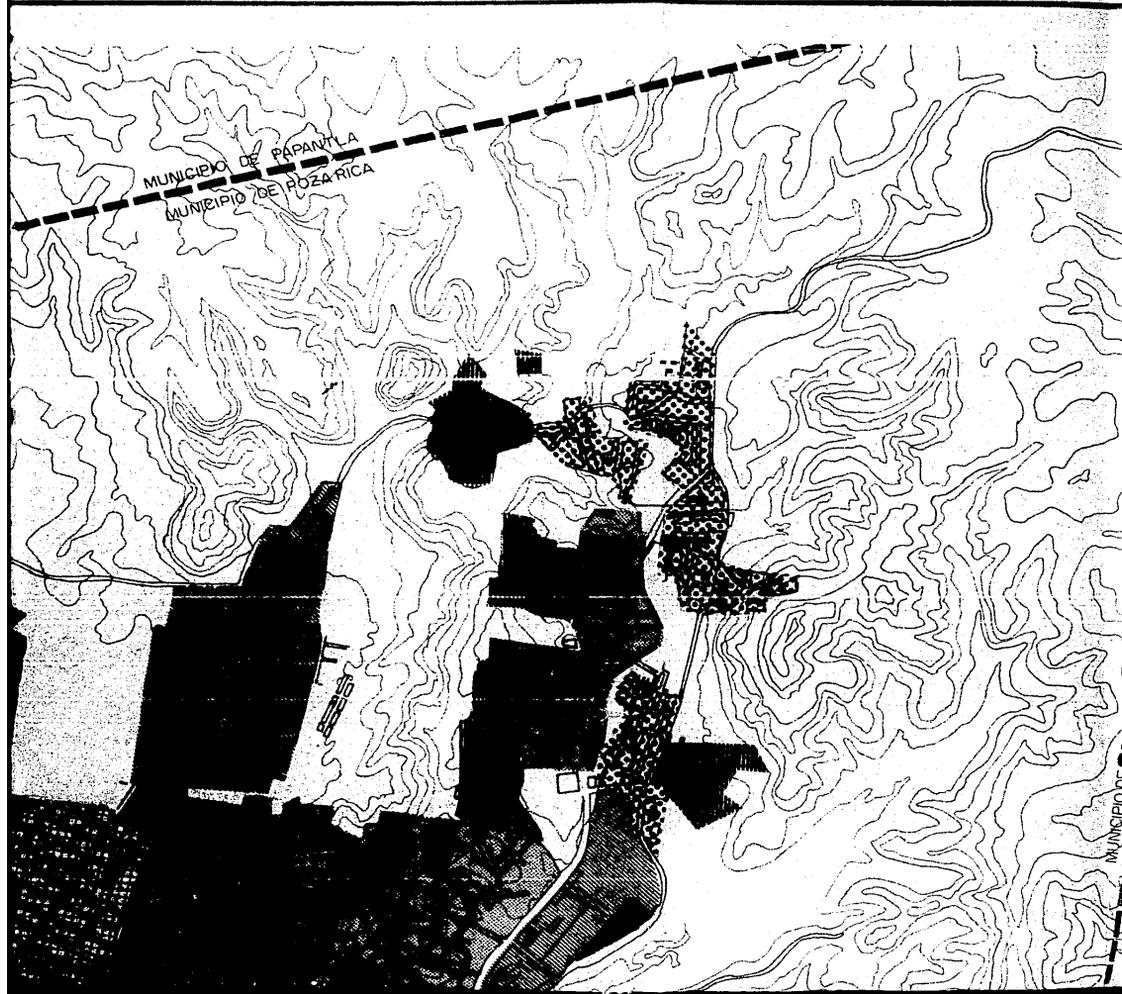
**anexo
grafico**

**ESTRUCTURA URBANA
DE UNA
CIUDAD PETROLERA**

CONTENIDO

Plano No. 1	Crecimiento Histórico
Plano No. 2	Uso del Suelo
Plano No. 3	Uso Habitacional
Plano No. 4	Uso Industrial
Plano No. 5	Otros Usos





POZA RICA,

SIMBO



1930



1940-1949



1950-1959



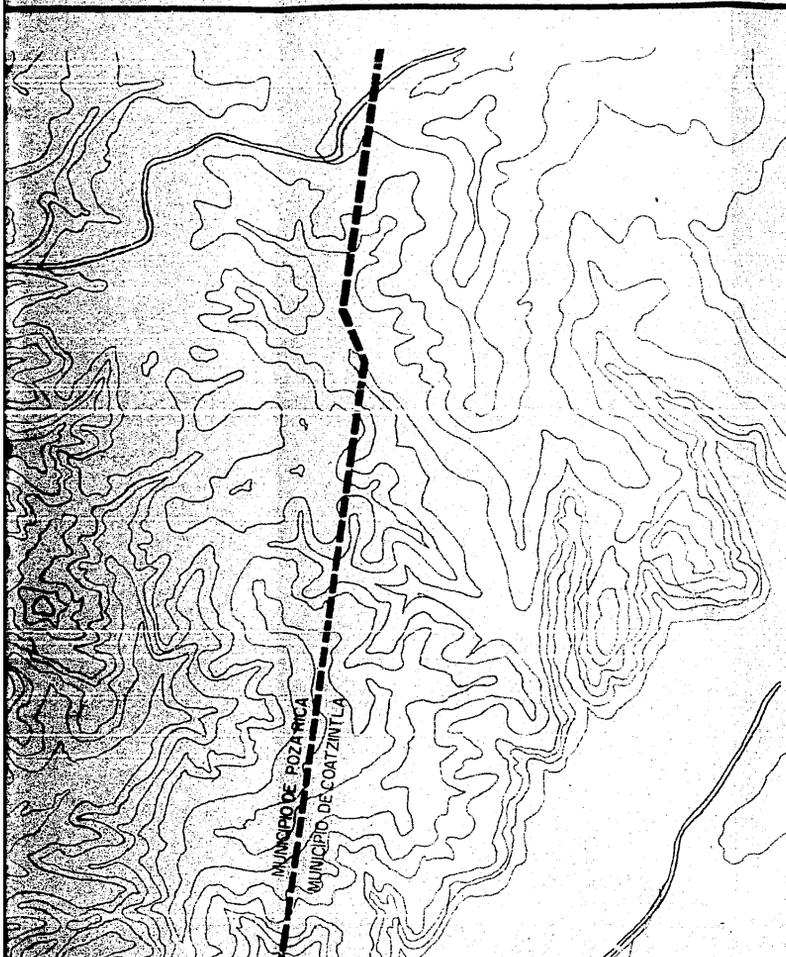
1960-1969



1970-1979



1985



POZARICA, VER.

SIMBOLOGIA

 1930-1940

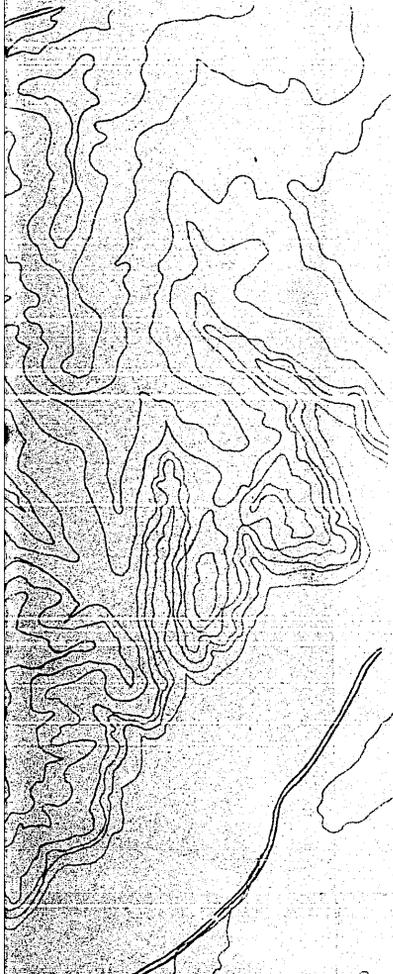
 1940-1950

 1950-1960

 1960-1970

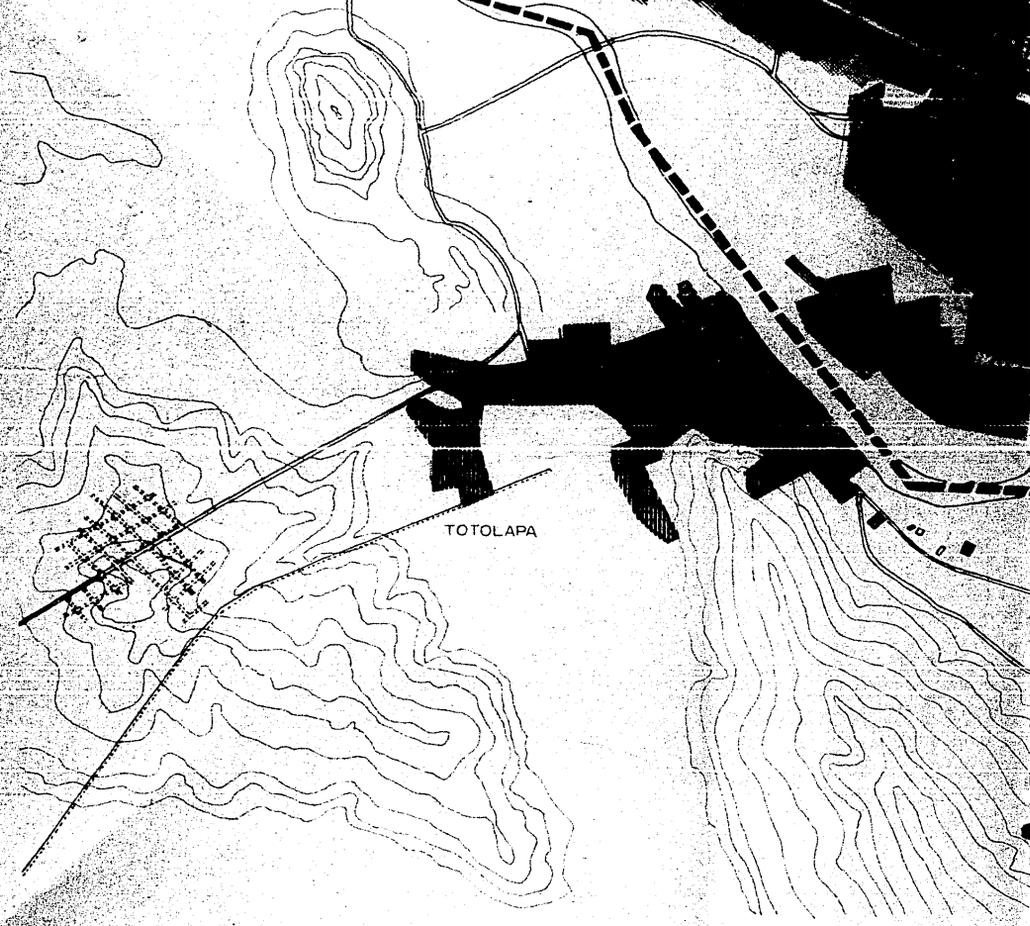
 1970-1980

 1985



PLAN DE AYALA

TOTOLAPA



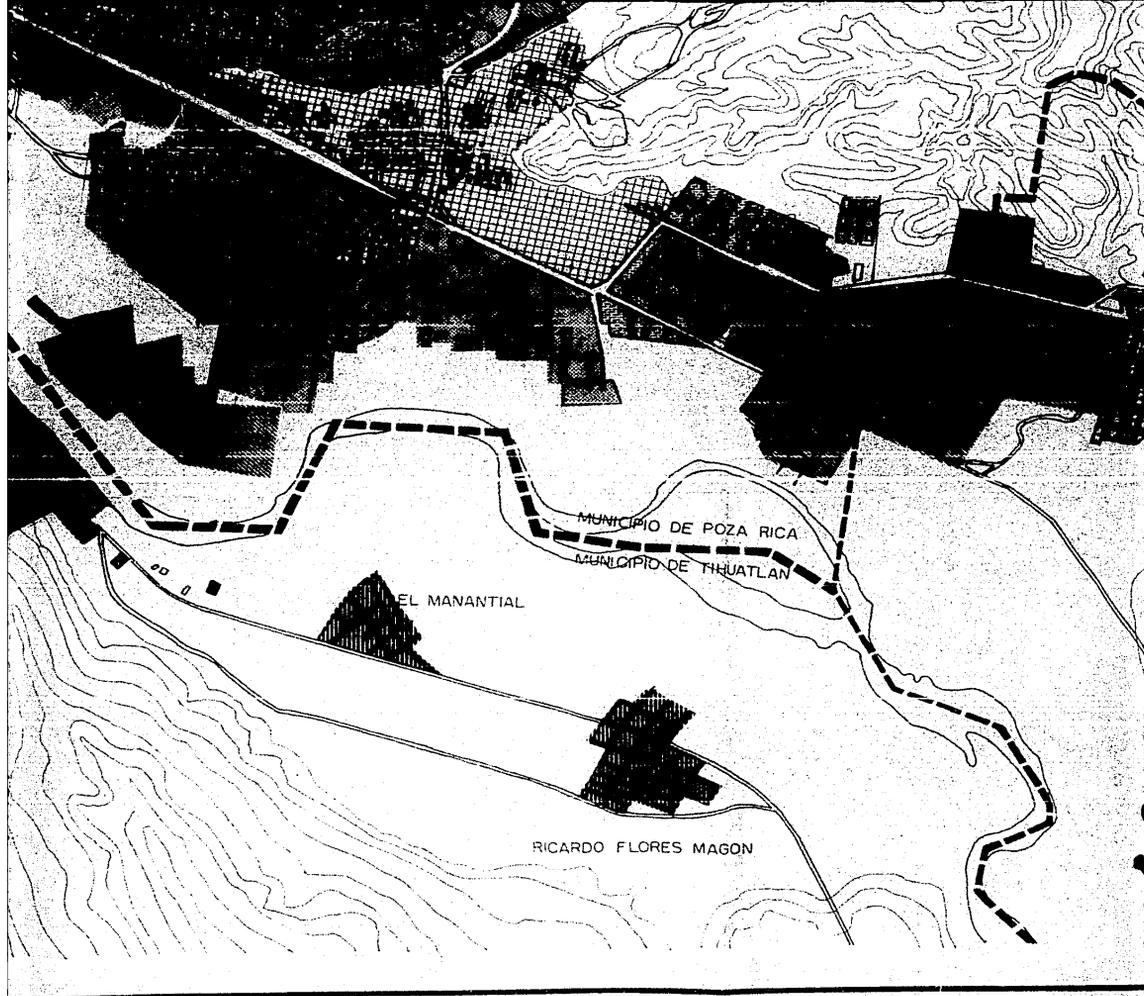
PLAN DE AYALA



TOTOLAPA

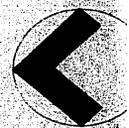
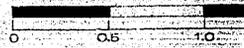
5







ESCALA APROX. 1:20 000



FACULTAD DE FILOSOFÍA

una

COLEGIO DE GEÓLOGOS

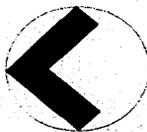
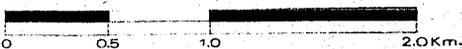
**ESTRUCTURA
DE UNA (C)
PETROLERA**

1

**CREC
HIS**

MA. EUGENIA CASTILLO AY

ESCALA APROX. 1:20 000



COATZINTLA

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

unam

COLEGIO DE GEOGRAFIA

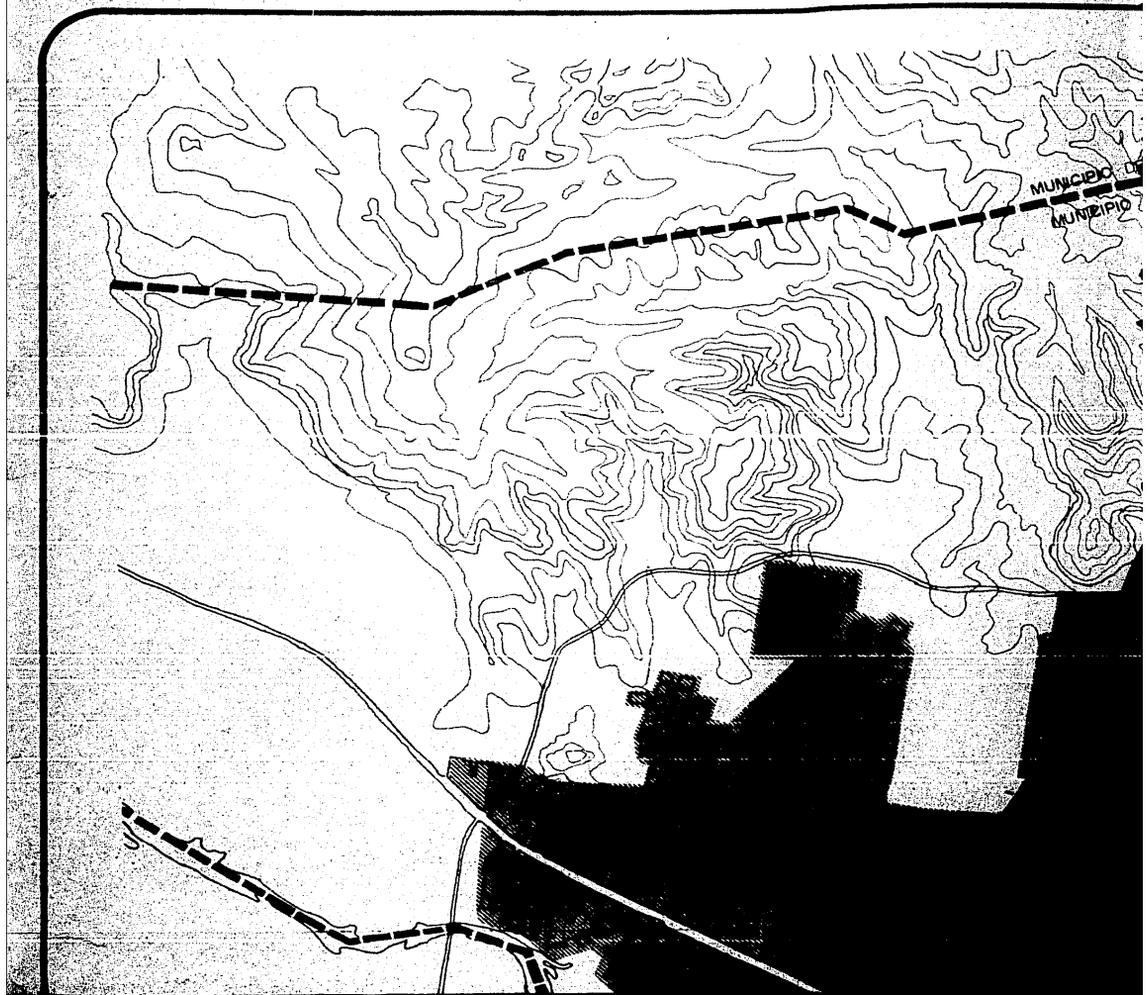
**ESTRUCTURA URBANA
DE UNA CIUDAD
PETROLERA**

1

**CRECIMIENTO
HISTORICO**

MA. EUGENIA CASTILLO AYALA

MAYO 1987



MUNICIPIO DE
MUNICIPIO



POZA RICA,

SIMBOLOS



Uso Comer



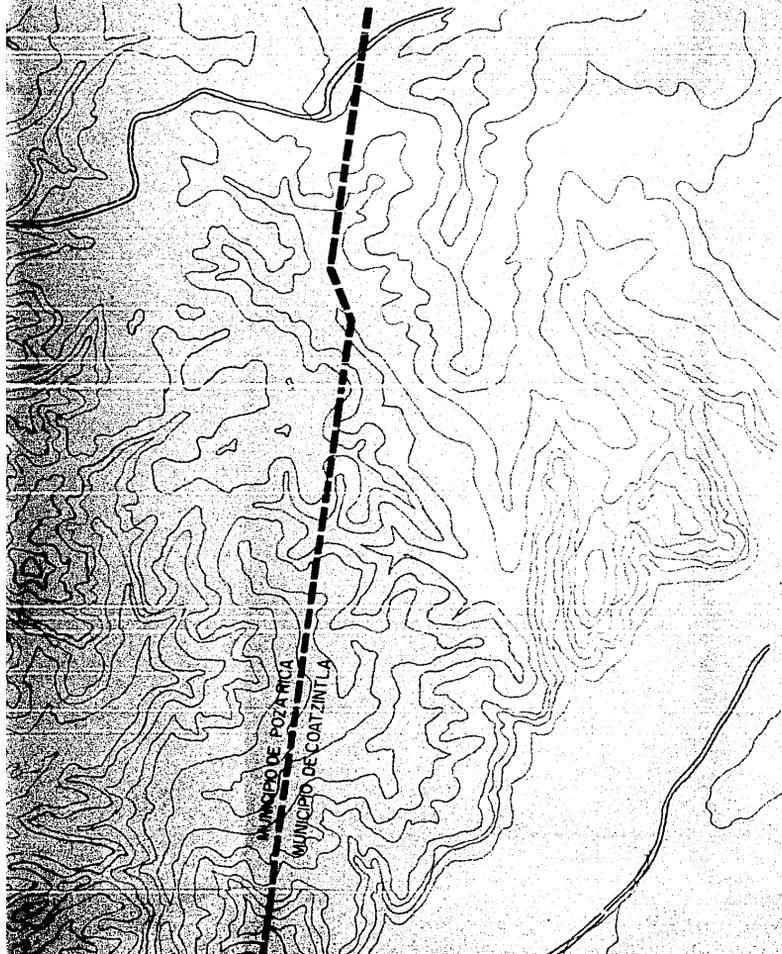
Uso Habita



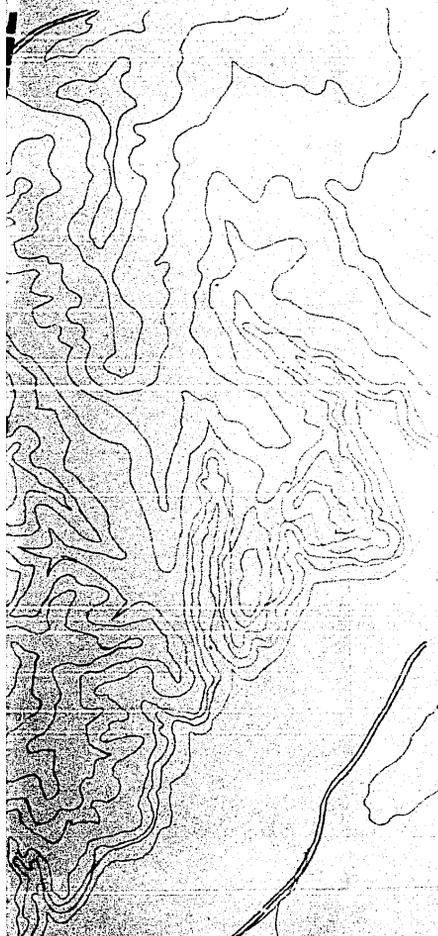
Uso Indust



Pozos Pet



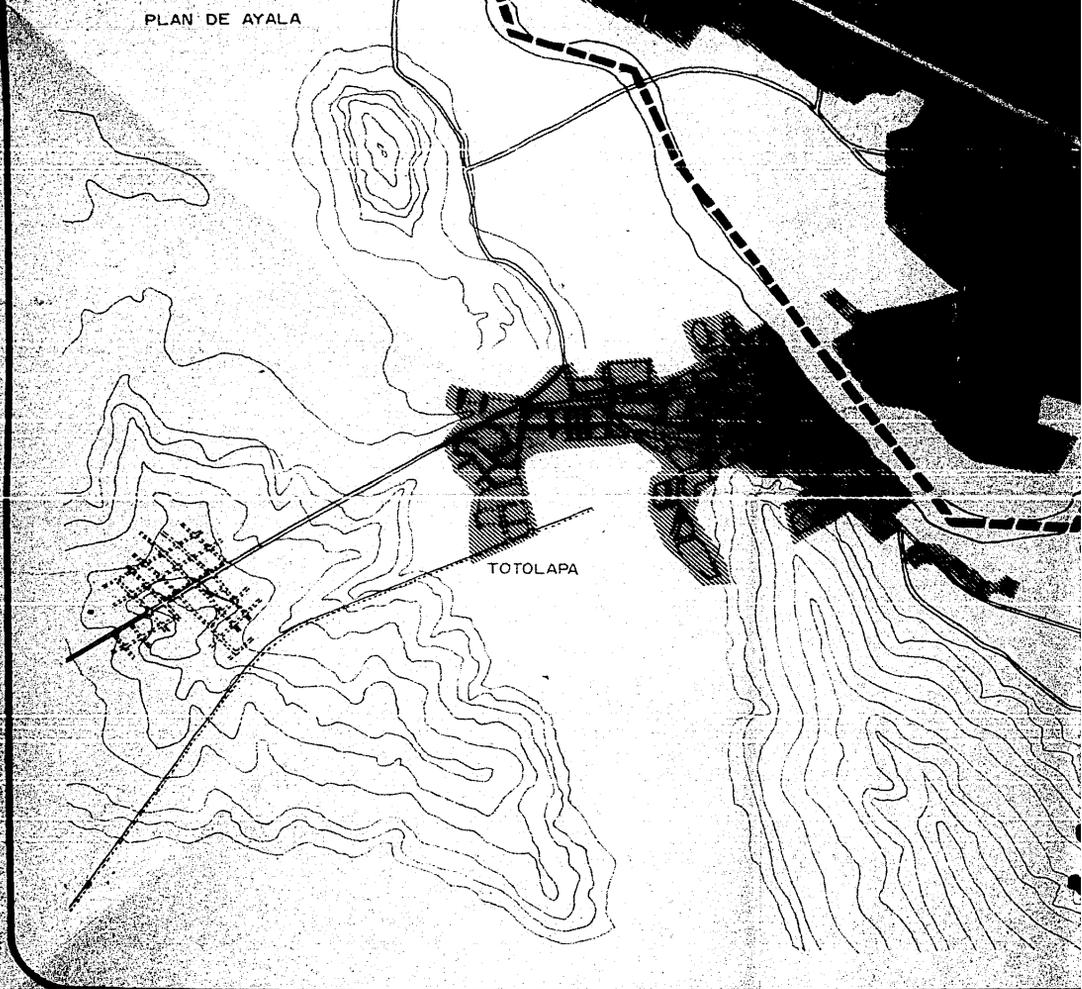
POZA RICA, VER.



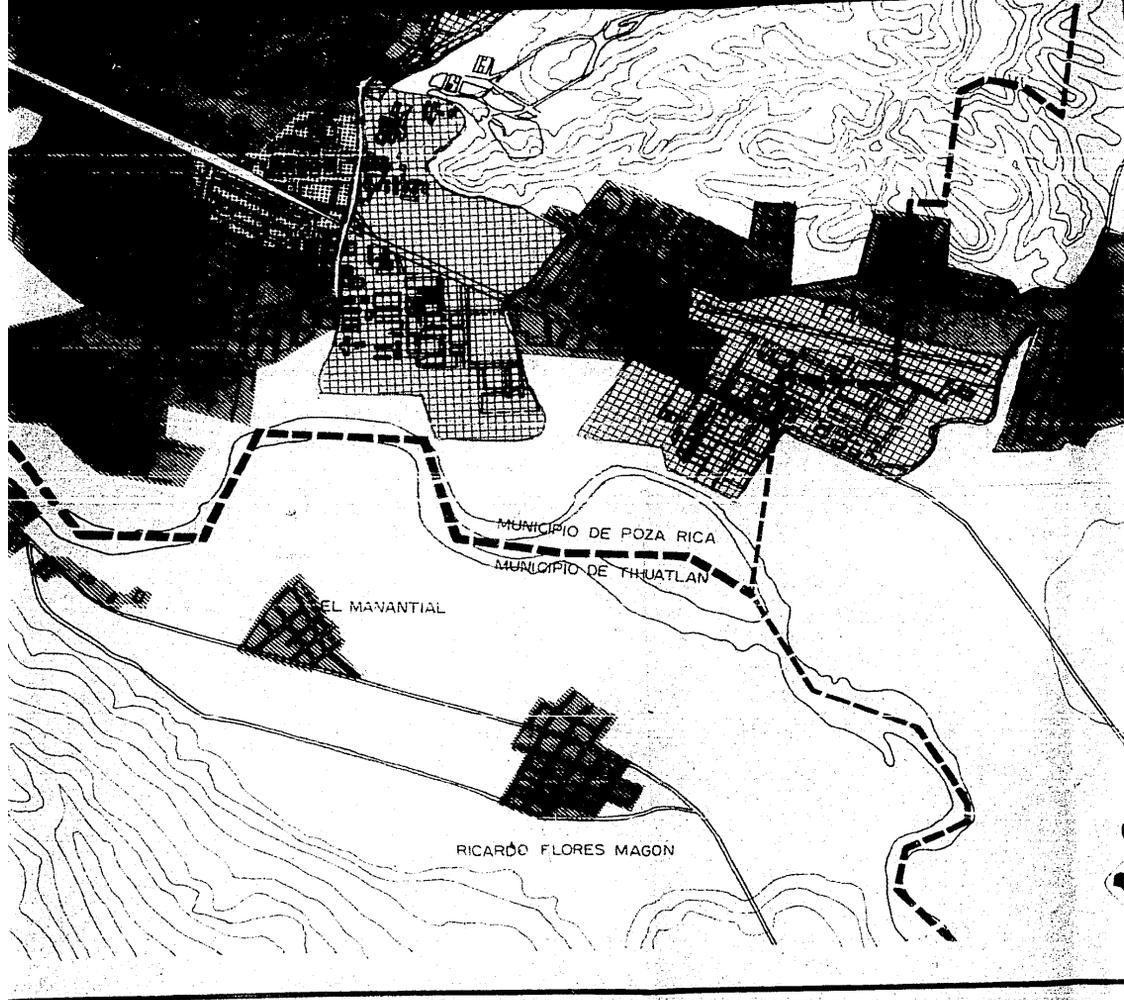
SIMBOLOGIA

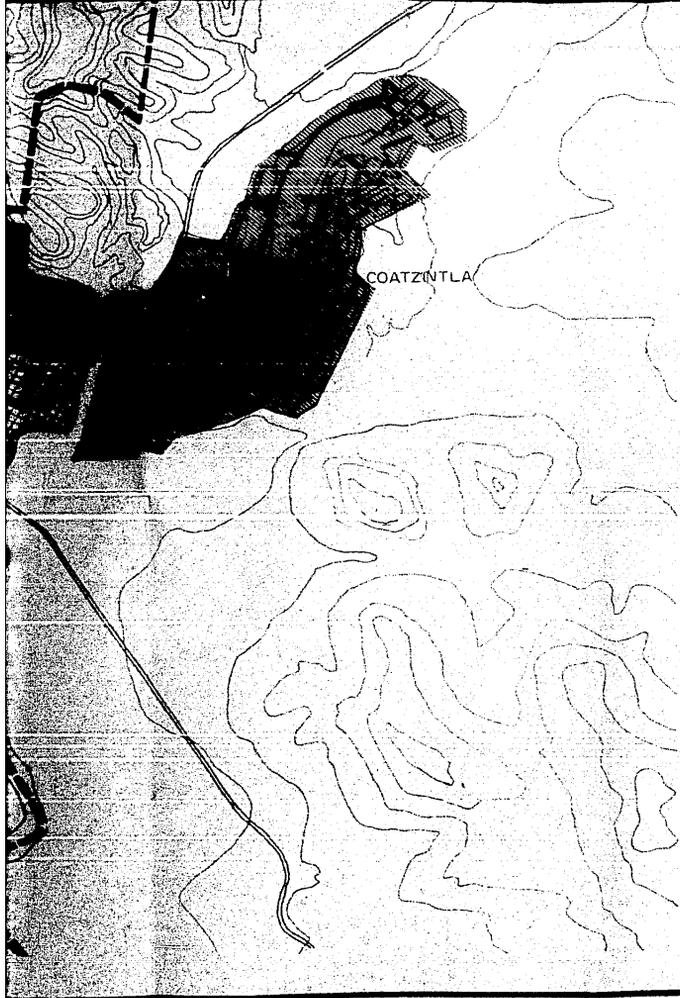
-  Uso Comercial
-  Uso Habitacional
-  Uso Industrial
-  Pozos Petroleros

PLAN DE AYALA

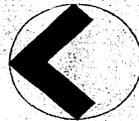


TOTOLAPA





ESCALA APROX. 1:20,000



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LET

unam

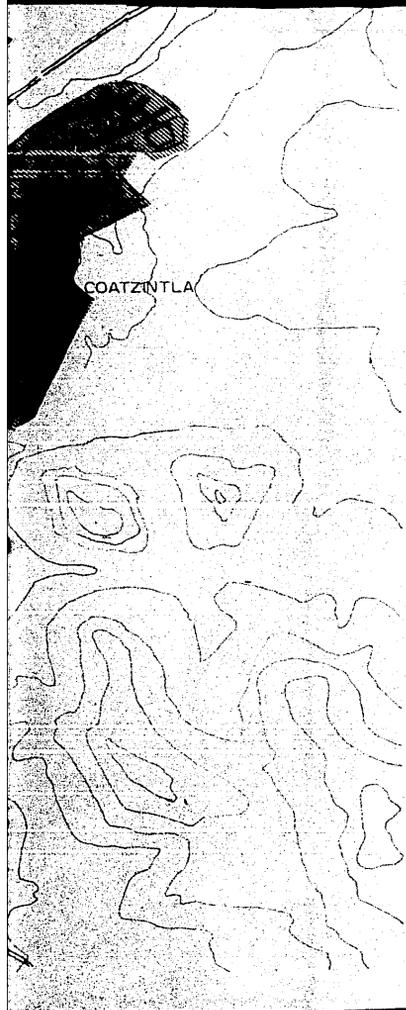
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**ESTRUCTURA URB
DE UNA CIUDAD
PETROLERA**

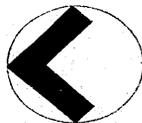
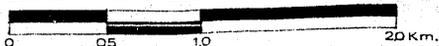
2

**USOS
DEL SUELO**

MA. EUGENIA CASTILLO AYALA MA



ESCALA APROX. 1:20,000



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

unam

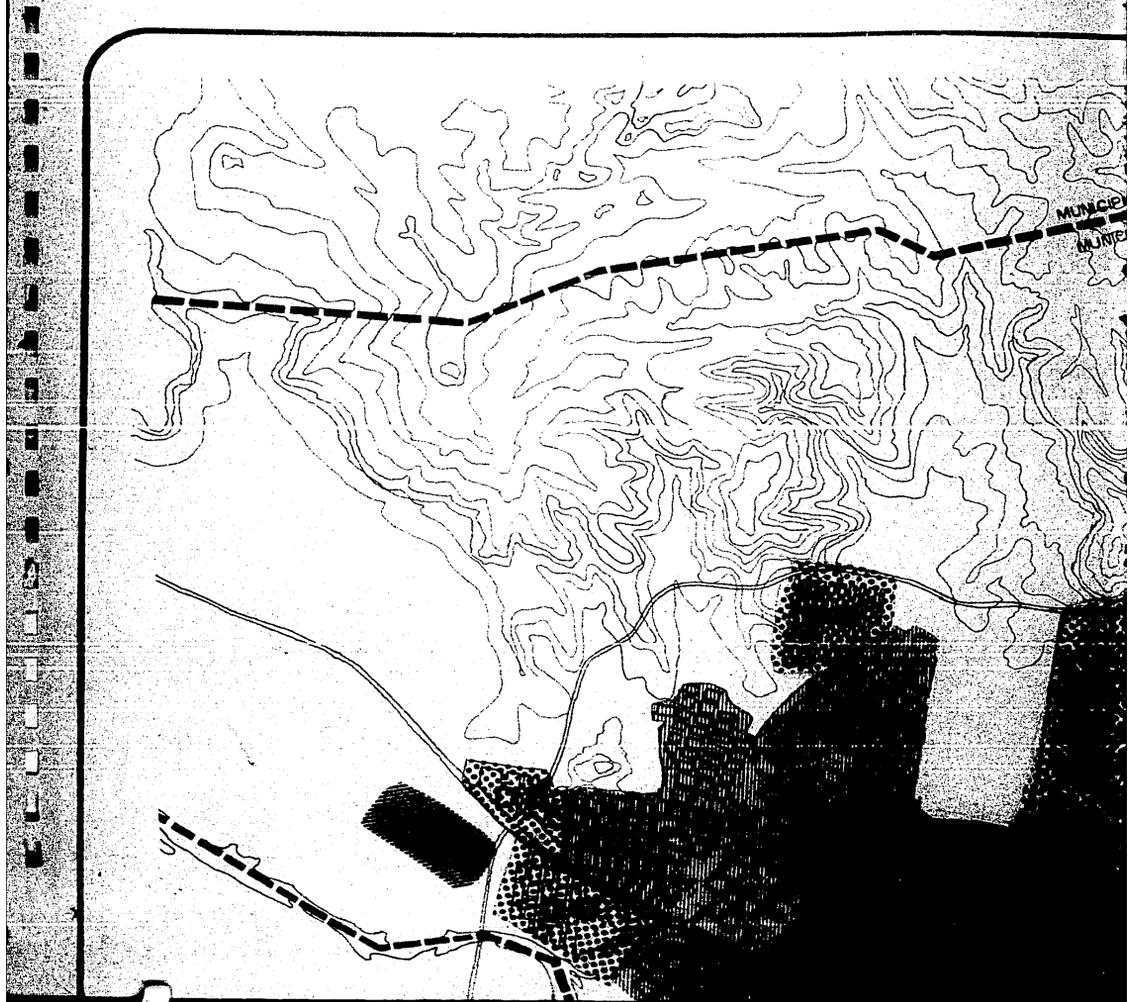
COLEGIO DE GEOGRAFIA

**ESTRUCTURA URBANA
DE UNA CIUDAD
PETROLERA**

2

**USOS
DEL SUELO**

MA. EUGENIA CASTILLO AYALA MAYO 1987.



MUNICIPIO DE PAPANTLA
MUNICIPIO DE POZARICA

This is a black and white topographic map showing contour lines. A dashed line runs diagonally from the upper left towards the center. A large area in the lower-left and center is shaded with a dense dot pattern. The map is divided into two municipal areas by a dashed line.

MUNICIPIO DE POZARICA

At the bottom right, there is a vertical dashed line with the text 'MUNICIPIO DE POZARICA' written vertically along it. Below this, there is a small, illegible label.

MUNICIPIO DE PAPANTLA
MUNICIPIO DE POZARICA

MUNICIPIO DE POZARICA

POZA RICA, VER

SIMBOLOGIA

VIVIENDA

 Alta

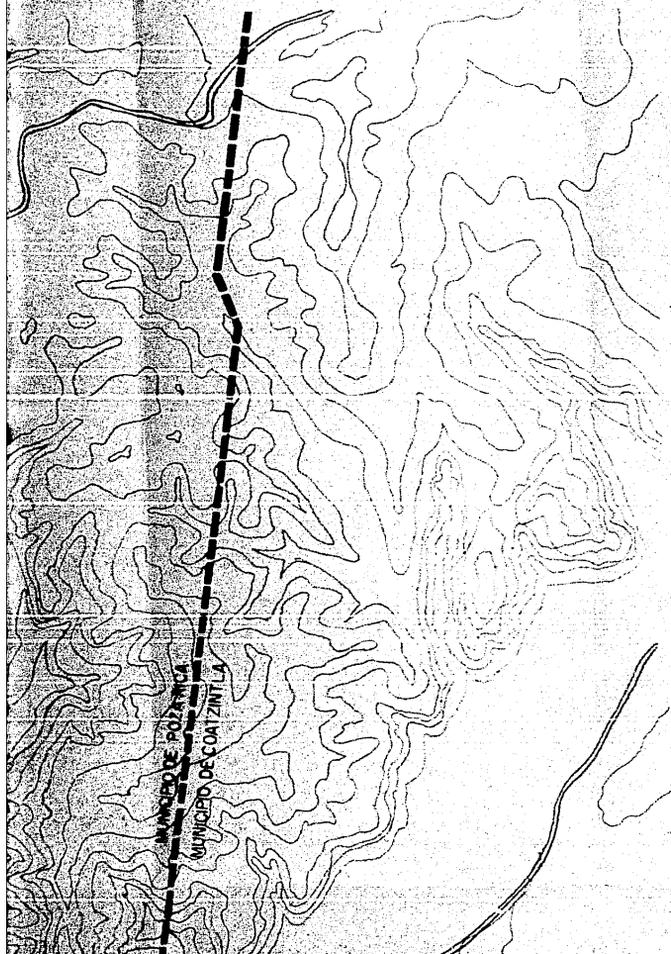
 Media

 Baja

DENSIDAD

 Alta

 Media



POZA RICA, VER.

SIMBOLOGIA

VIVIENDA



Alta



Media



Baja

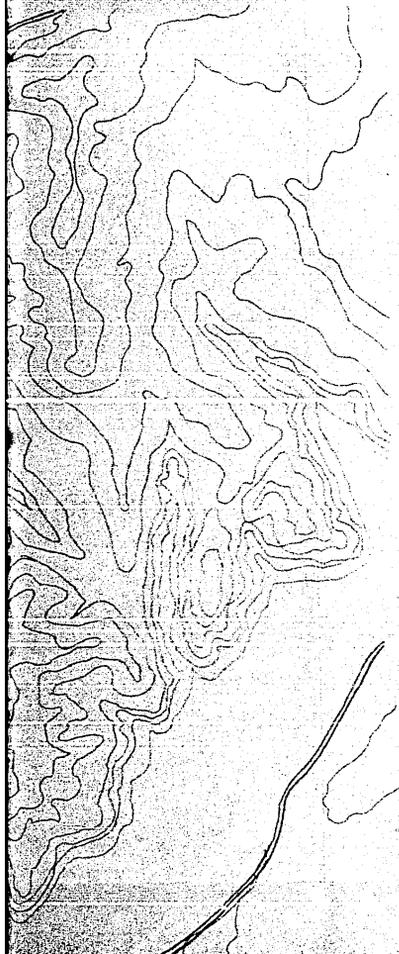
DENSIDAD



Alta

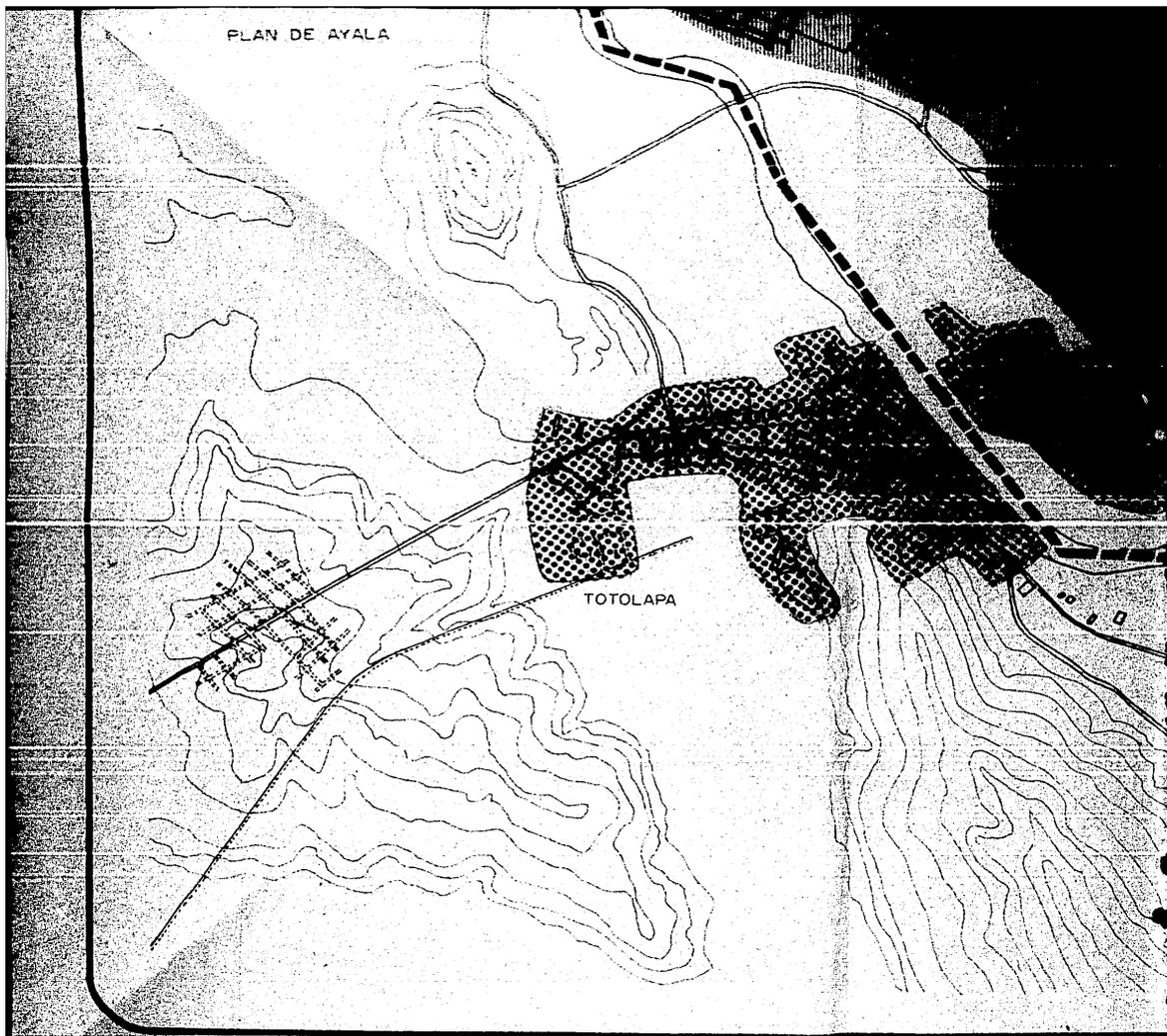


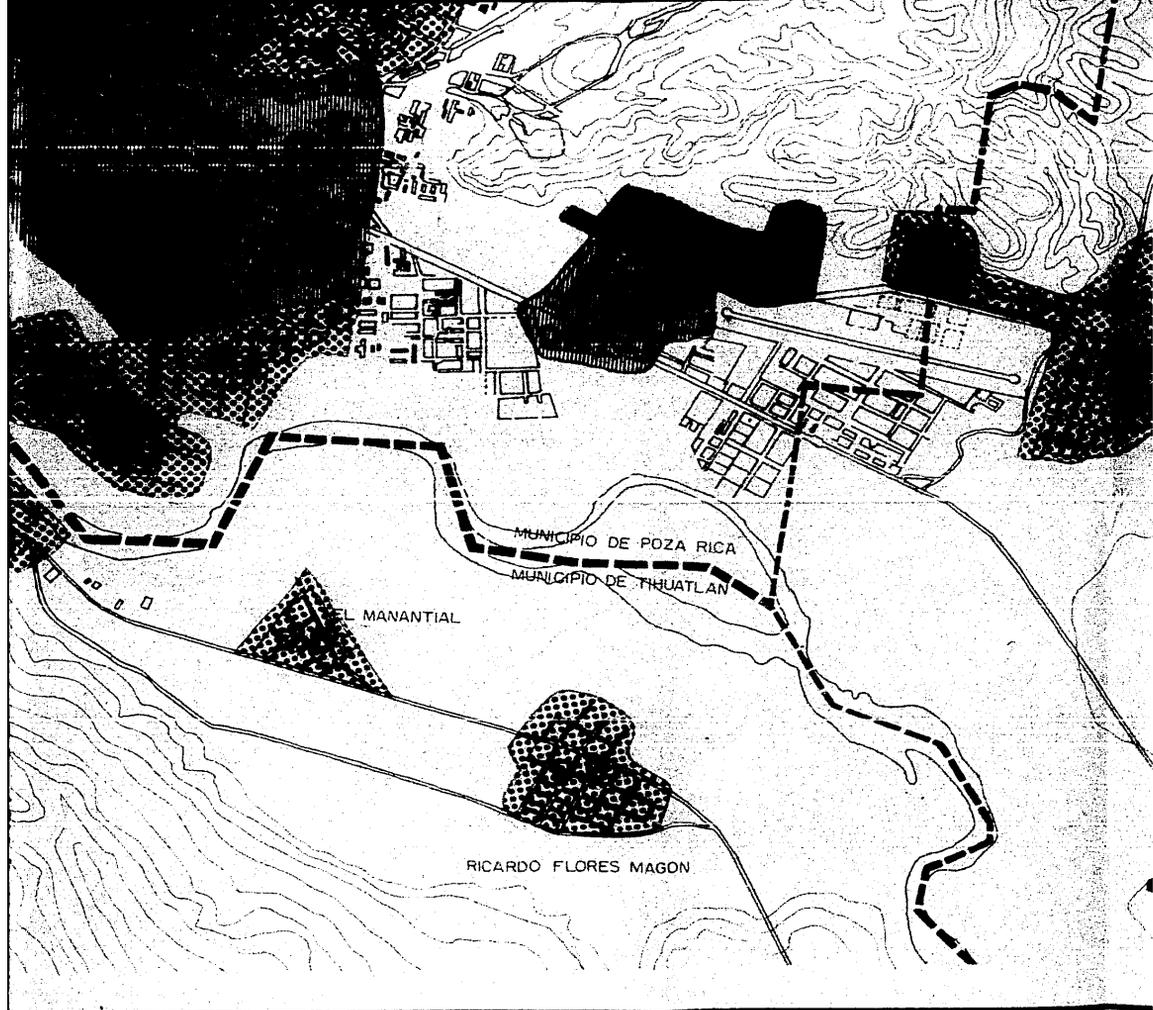
Media



PLAN DE AYALA

TOTOLAPA





MUNICIPIO DE POZA RICA

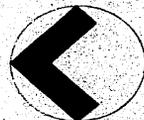
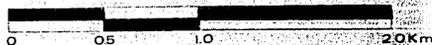
MUNICIPIO DE THUATLAN

EL MANANTIAL

RICARDO FLORES MAGON

 Baja

ESCALA APROX. 1:20.000



COATZINTLA

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

unam

COLEGIO DE GEOGRAFIA

**ESTRUCTURA URBANA
DE UNA CIUDAD
PETROLERA**

3

**USO
HABITACIONAL**

.MA. EUGENIA CASTILLO AYALA MAYO 1987

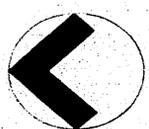
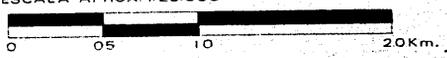


COATZACOATLÁN



Baja

ESCALA APROX. 1:20.000



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

unam

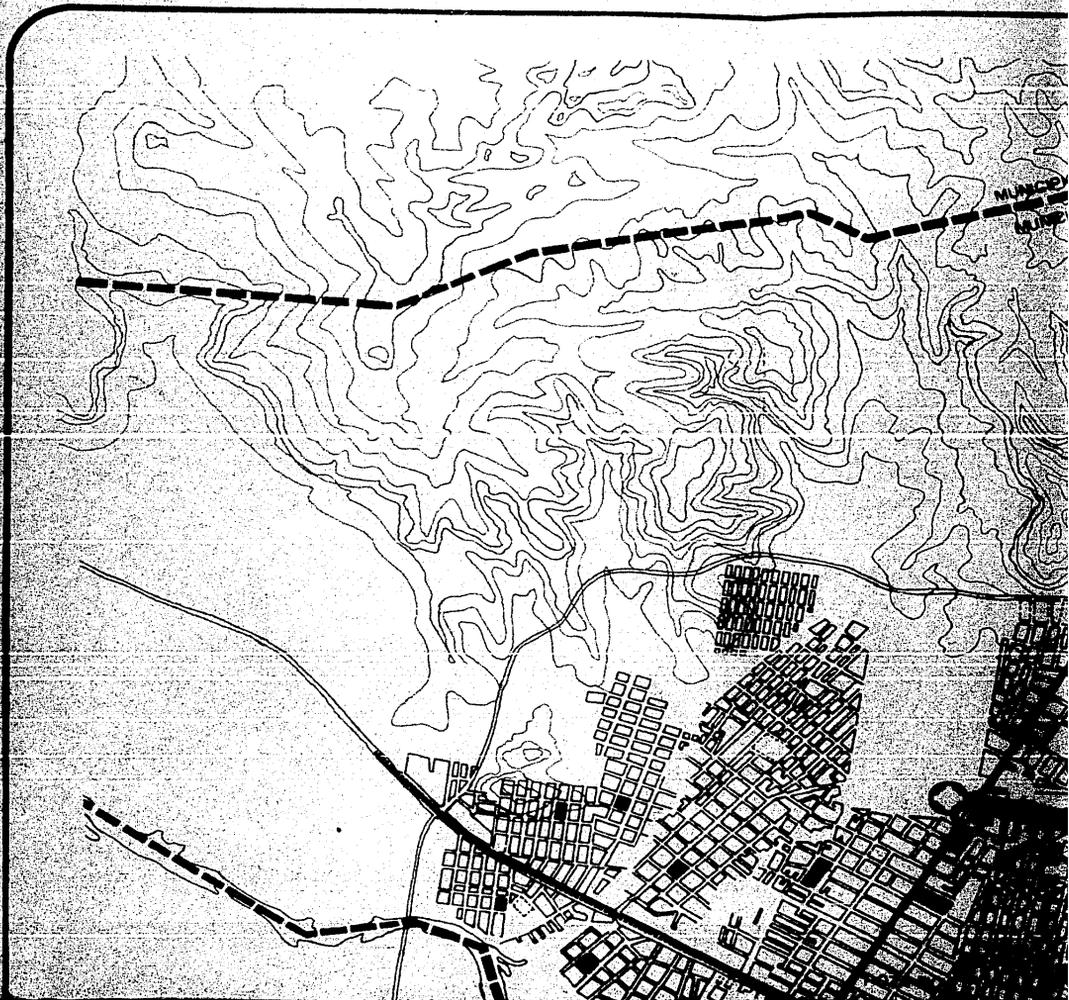
COLEGIO DE GEOGRAFIA

**ESTRUCTURA URBANA
DE UNA CIUDAD
PETROLERA**

3

**USO
HABITACIONAL**

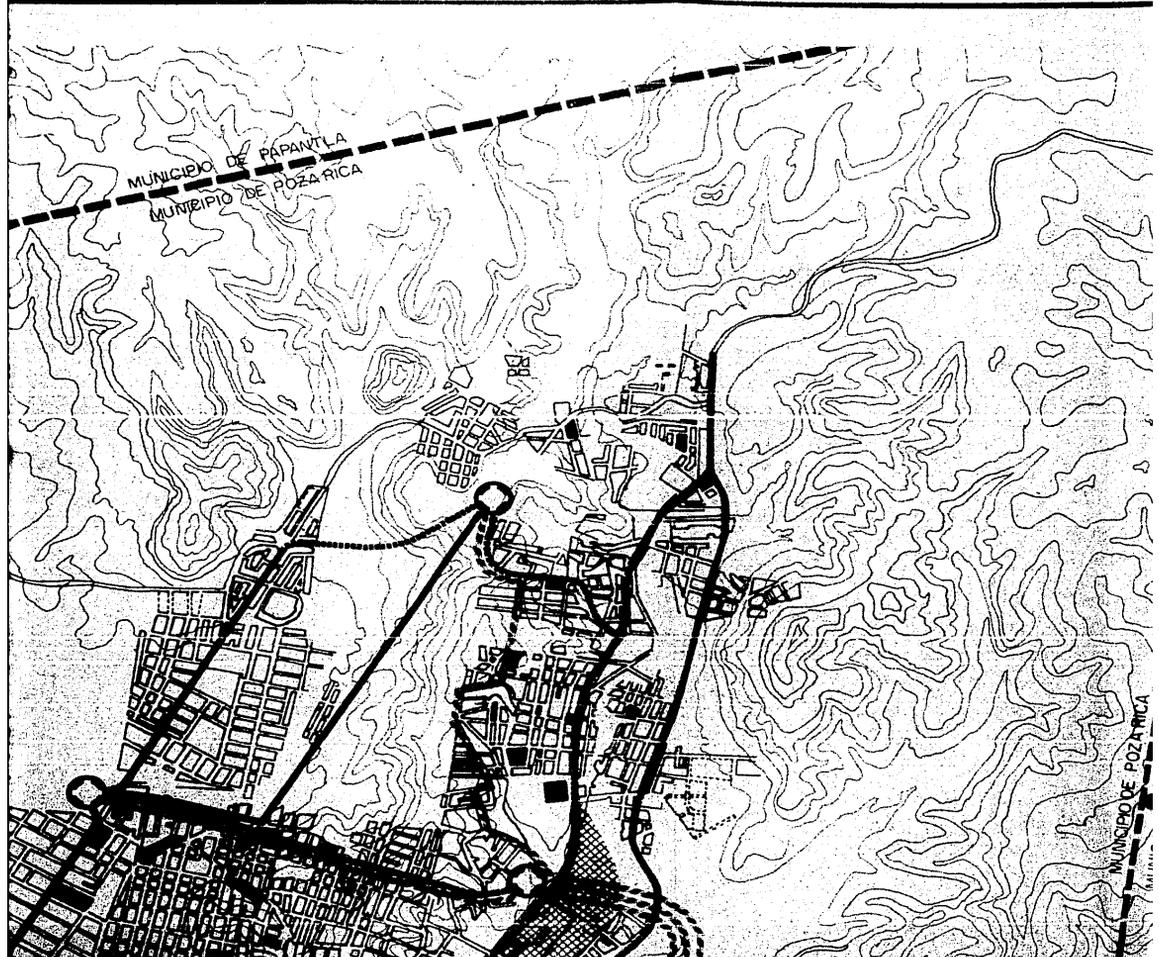
.MA. EUGENIA CASTILLO AYALA MAYO 1987

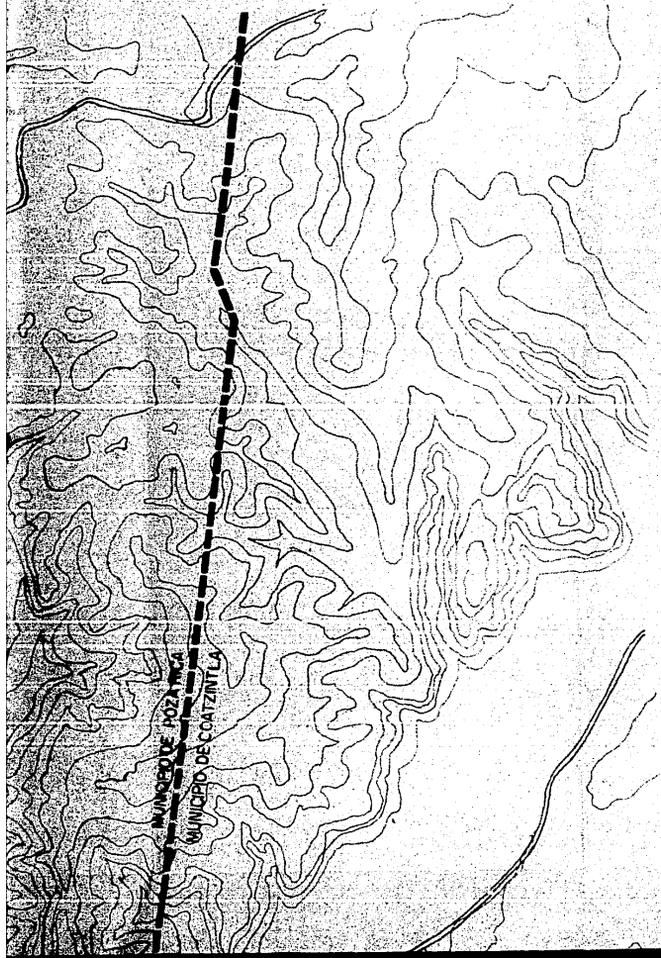


MANCO
CITY

MUNICIPIO DE PAPANTLA
MUNICIPIO DE POZA RICA

MUNICIPIO DE POZA RICA





POZA RICA, VE

SIMBOLOGIA

-  Uso Industrial
-  Campo de Compres
-  Gasoducto
-  Oleoducto
-  Pozos Petroleros



POZA RICA, VER.

SIMBOLOGIA



Uso Industrial



Campo de Compresoras



Gasoducto



Oleoducto

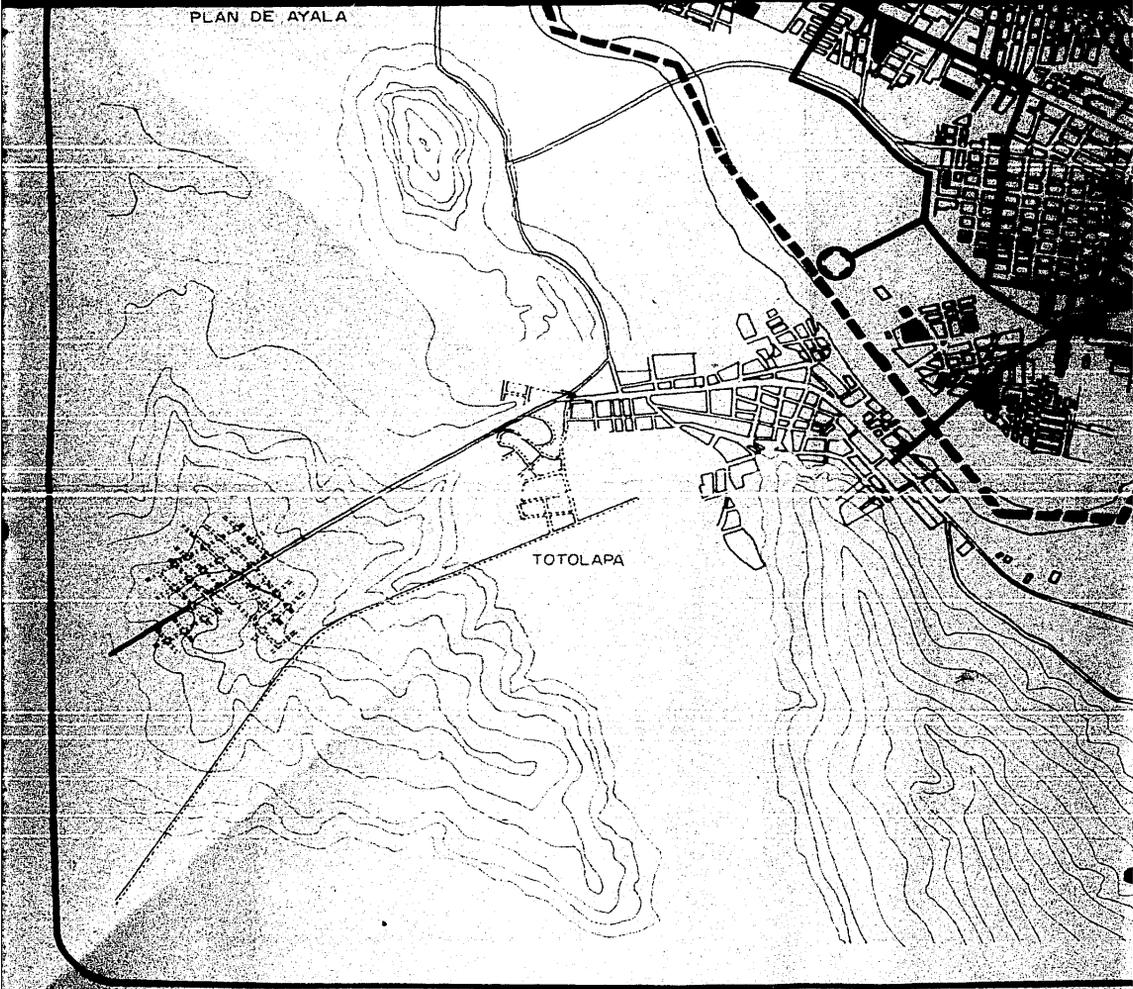


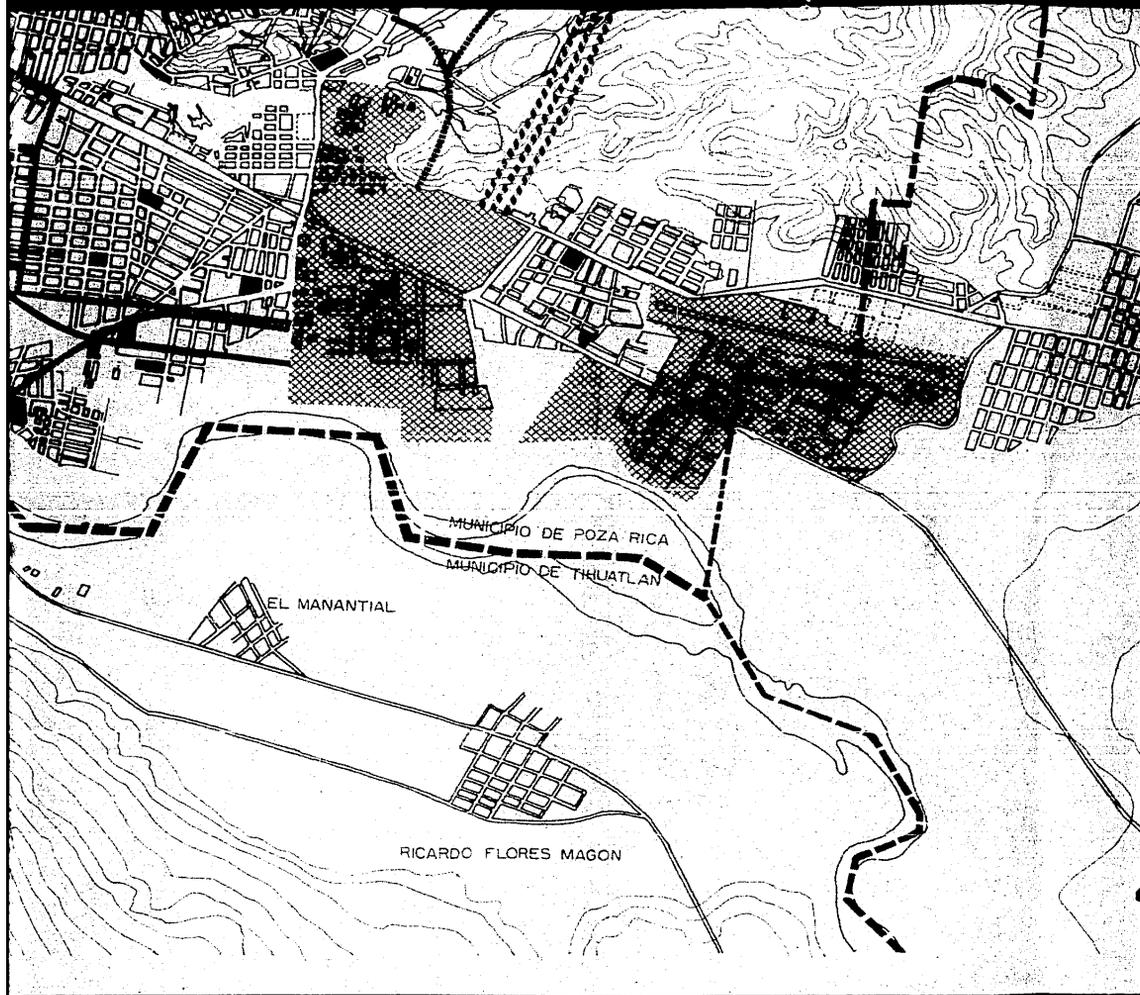
Pozos Petroleros

PLAN DE AYALA

TOTOLAPA

RIO



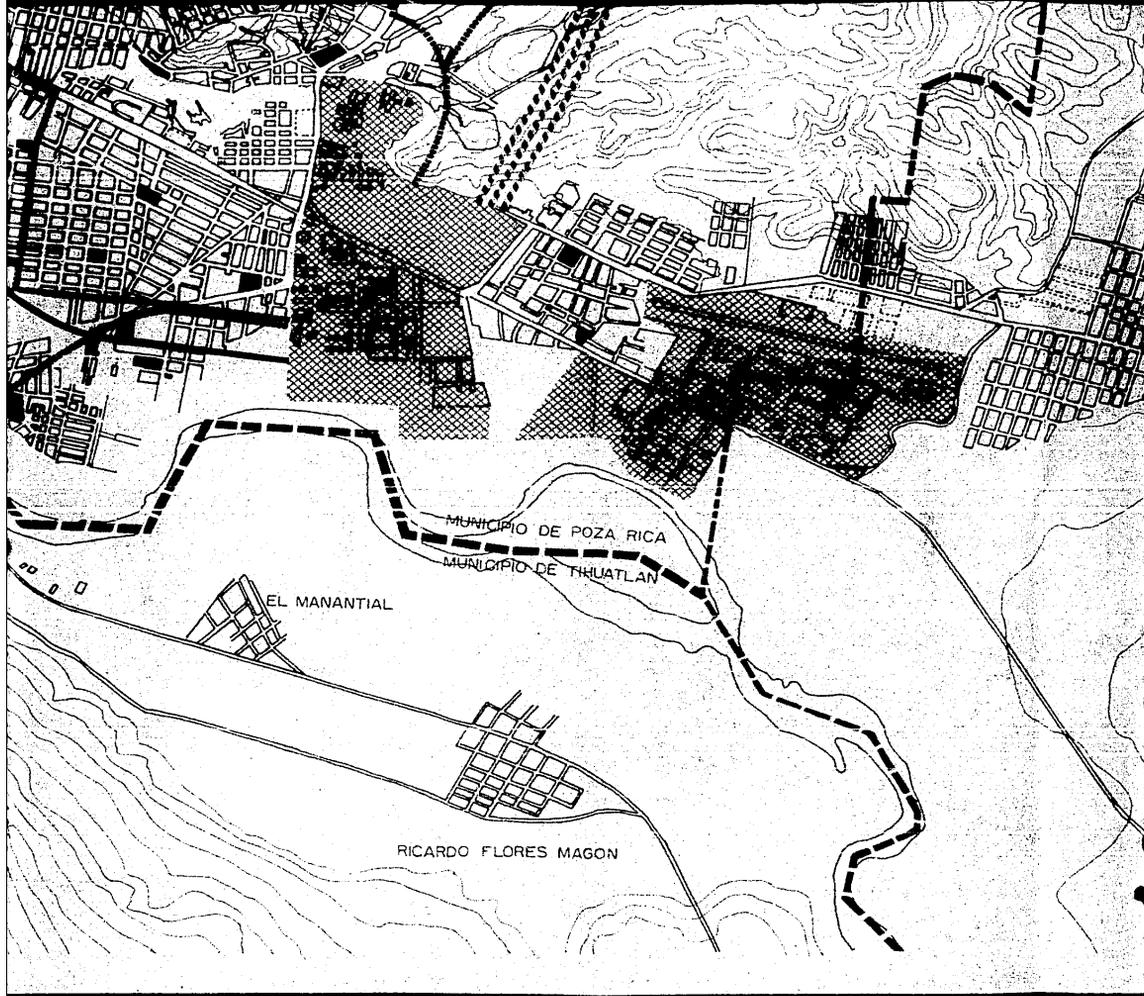


MUNICIPIO DE POZA RICA

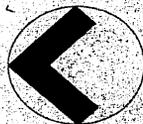
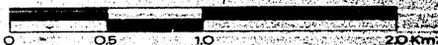
MUNICIPIO DE THUATLAN

EL MANANTIAL

RICARDO FLORES MAGON



ESCALA APROX. 1:20,000



COATZINTLA

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

unam

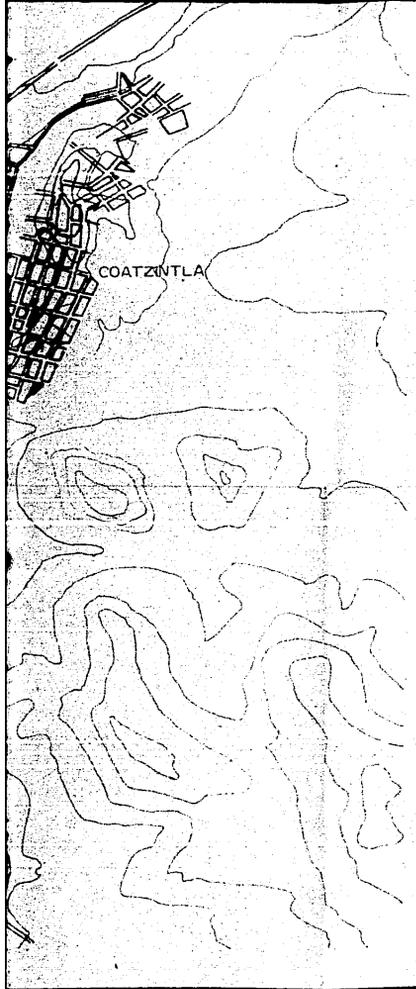
COLEGIO DE GEOGRAFIA

**ESTRUCTURA URBANA
DE UNA CIUDAD
PETROLERA**

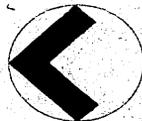
4

**USO
INDUSTRIAL**

MA. EUGENIA CASTILLO AYALA MAYO 1987



ESCALA APROX. 1:20.000



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

unam

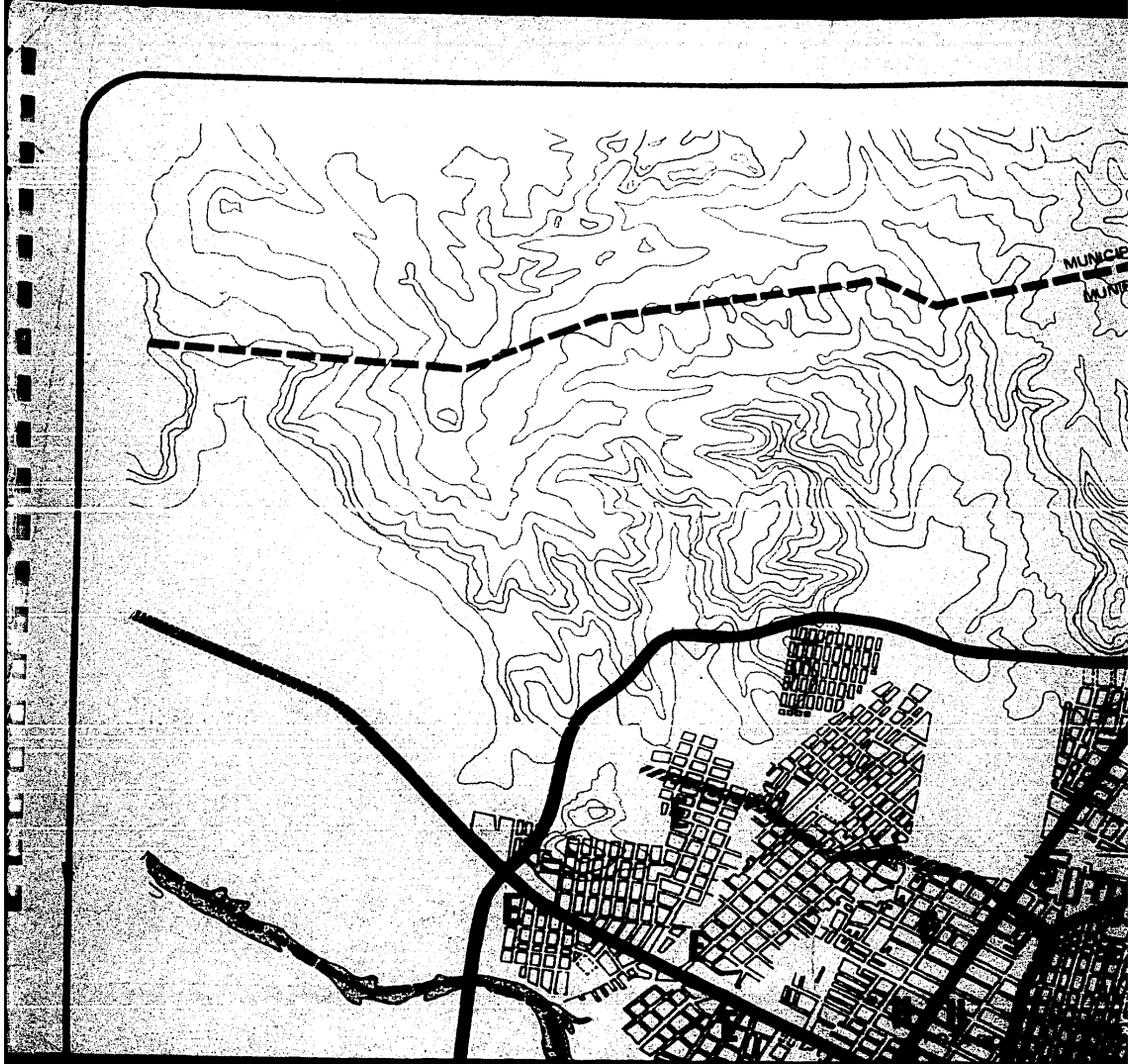
COLEGIO DE GEOGRAFIA

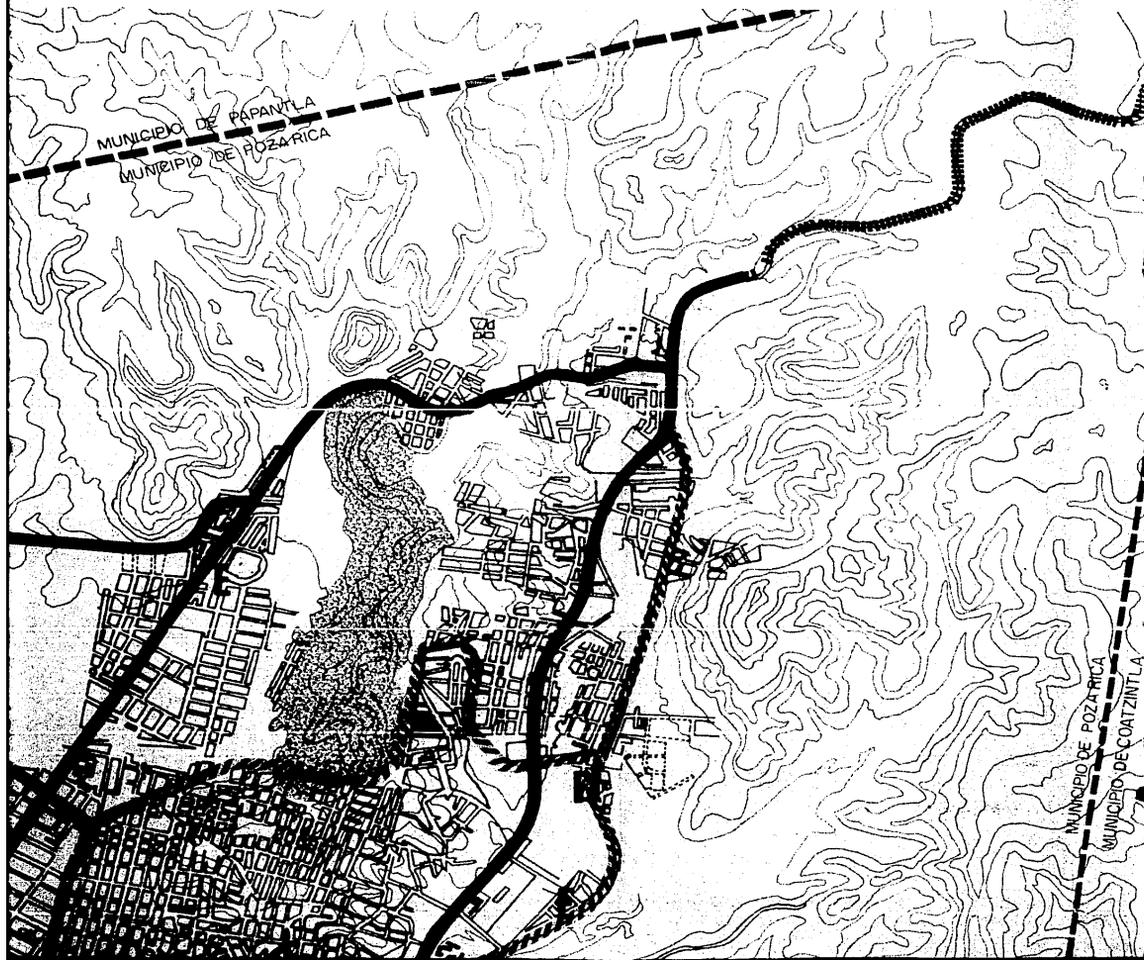
**ESTRUCTURA URBANA
DE UNA CIUDAD
PETROLERA**

4

**USO
INDUSTRIAL**

MA. EUGENIA CASTILLO AYALA MAYO 1987





POZARICA, VER.

SIMBOLOGIA

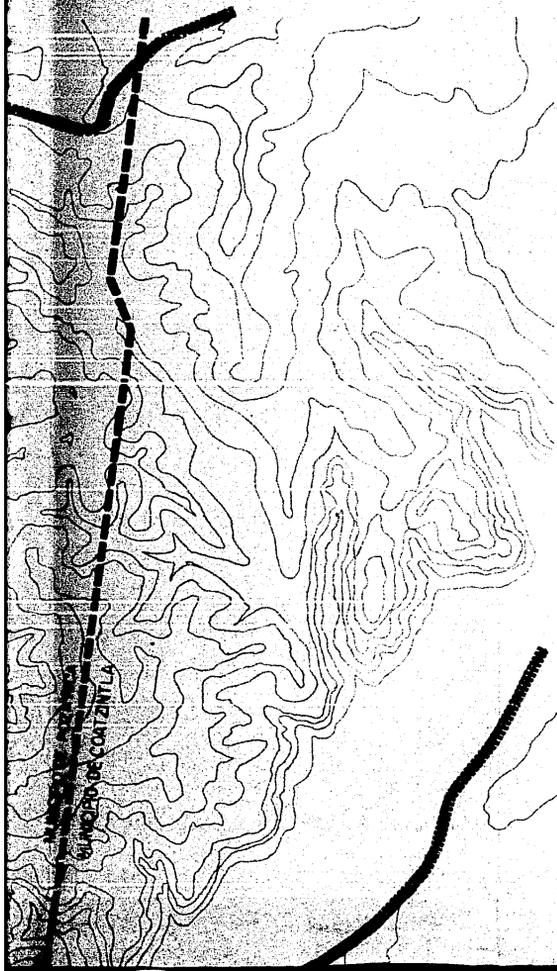
EQUIPAMIENTO

- E** Escuela
- H** Hospital, clínica
- U** Universidad
- M** Abasto (mercados)
- TA** Terminal de autobuses

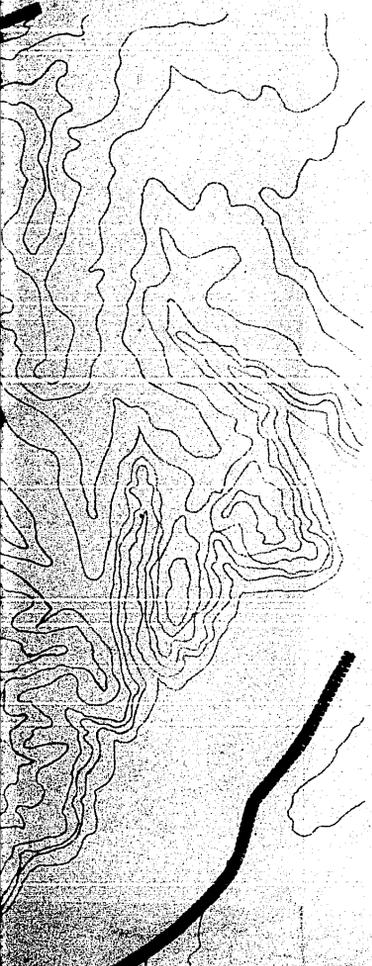
VIALIDAD

-  Primaria
-  Secundaria
-  Regional

AREAS VERDES



POZA RICA, VER.



SIMBOLOGIA

EQUIPAMIENTO

- E** Escuela
- H** Hospital, clínica
- U** Universidad
- M** Abasto (mercados)
- TA** Terminal de autobuses

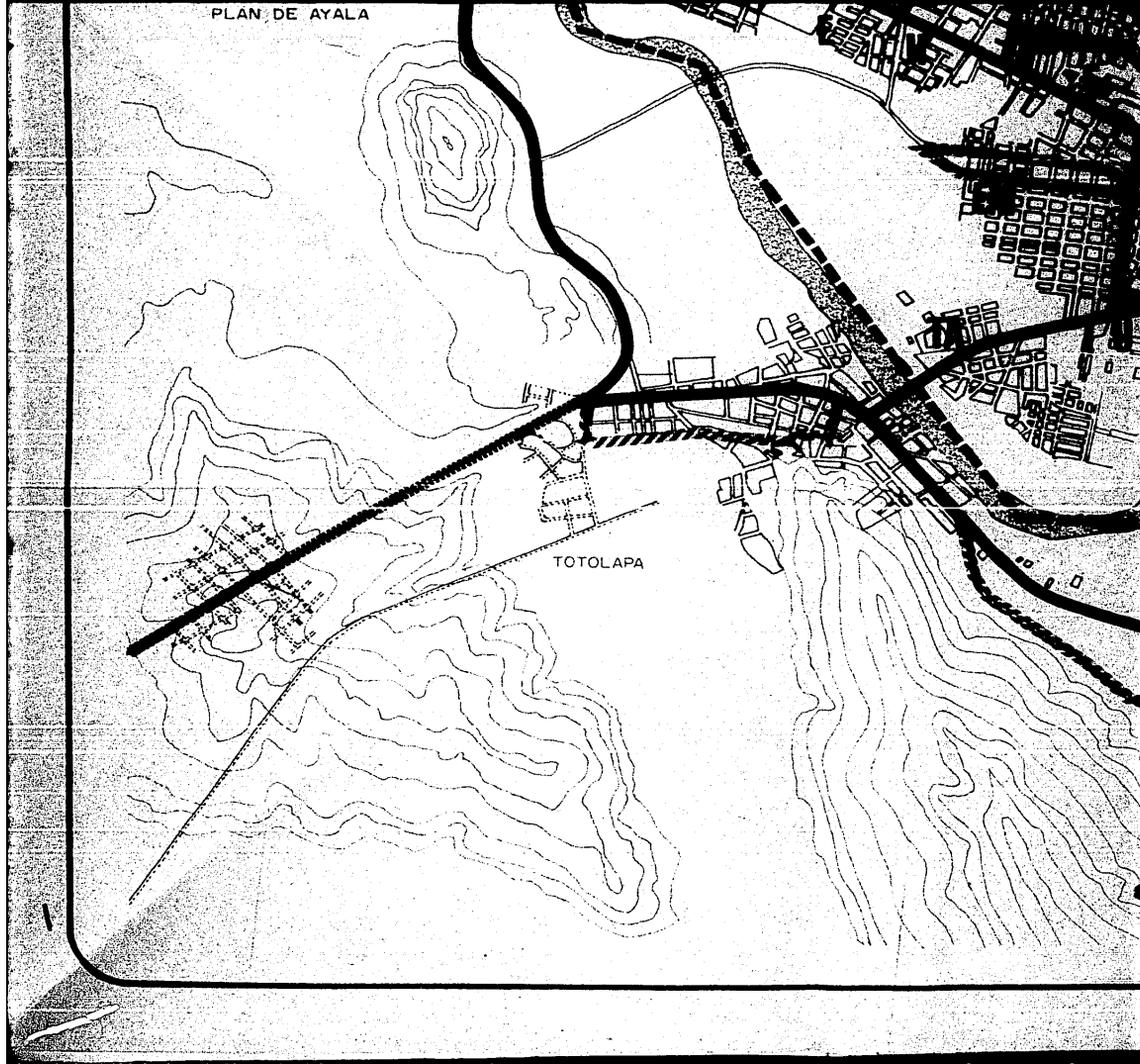
VIALIDAD

-  Primaria
-  Secundaria
-  Regional

AREAS VERDES

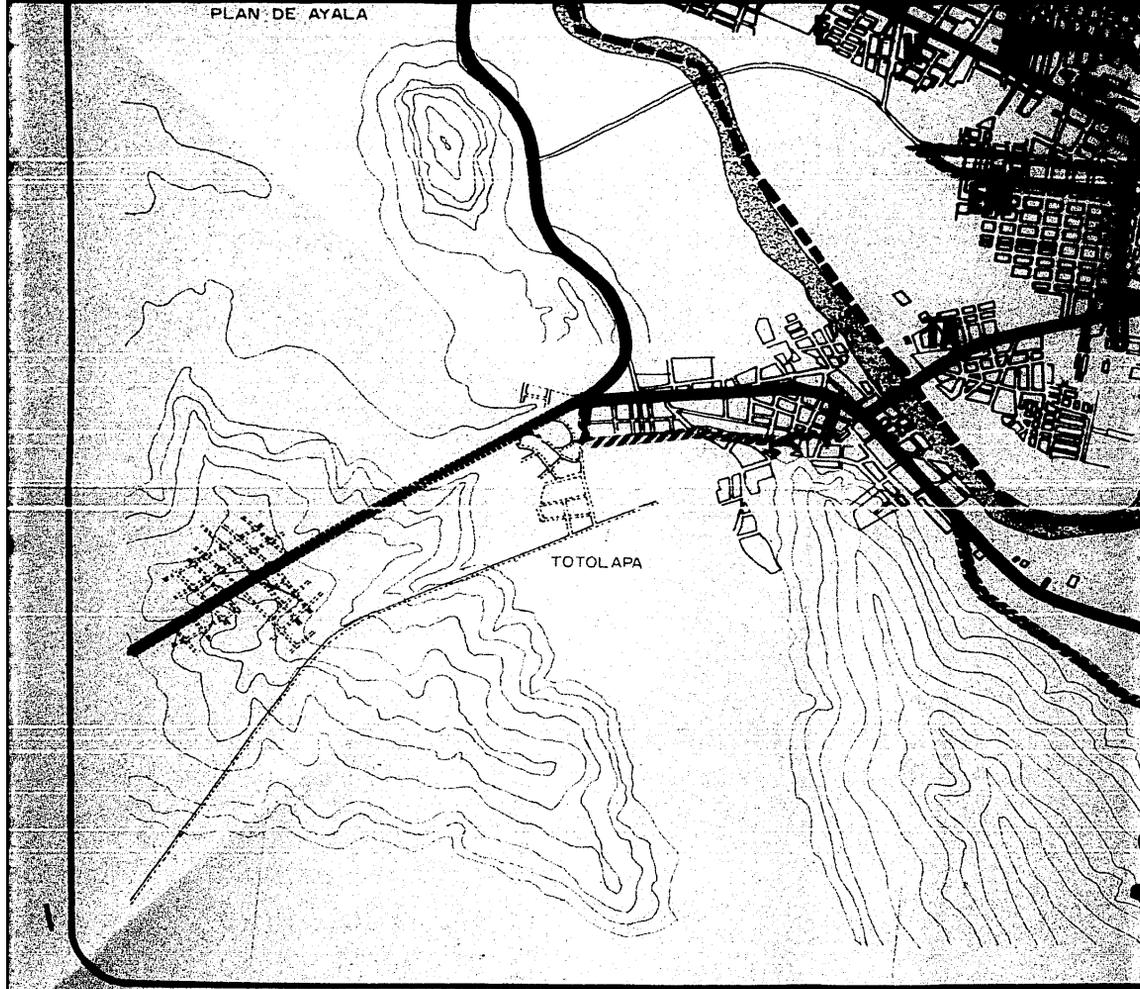
PLAN DE AYALA

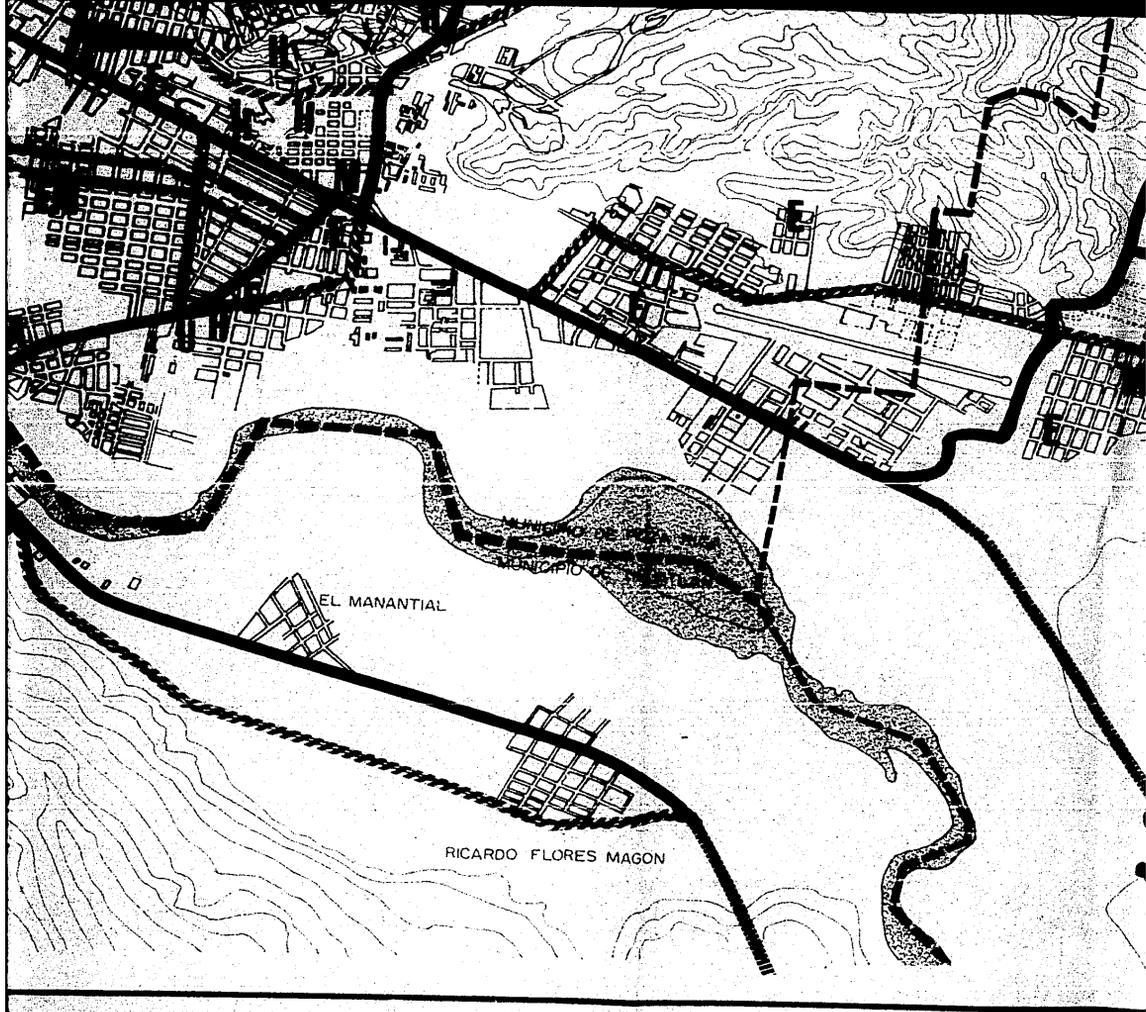
TOTOLAPA

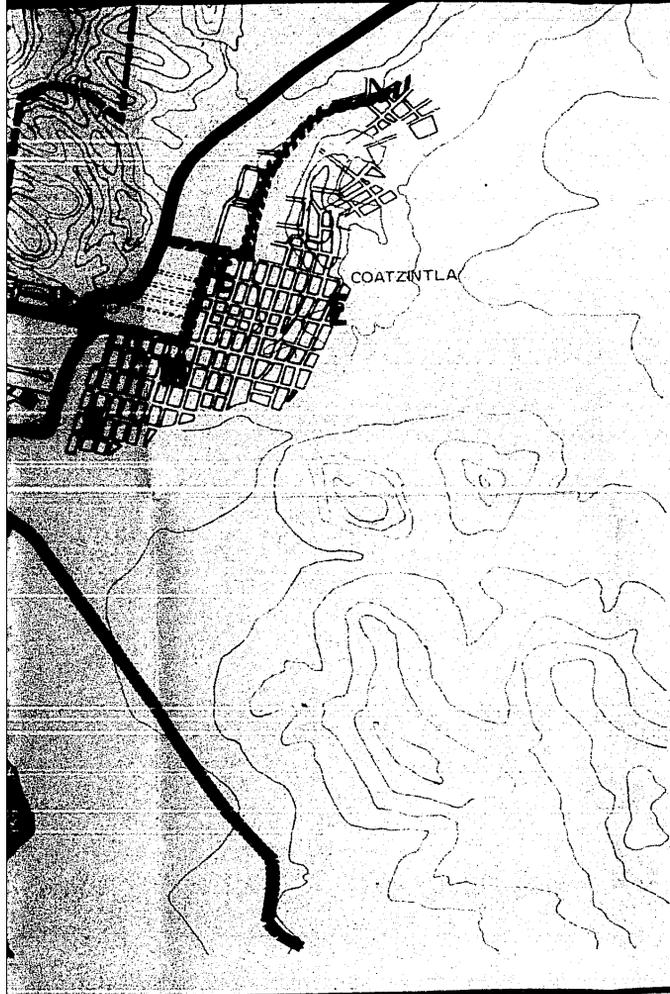


PLAN DE AYALA

TOTOLAPA

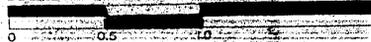






Preservación
ecológica

ESCALA APROX. 1:20,000



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

unam

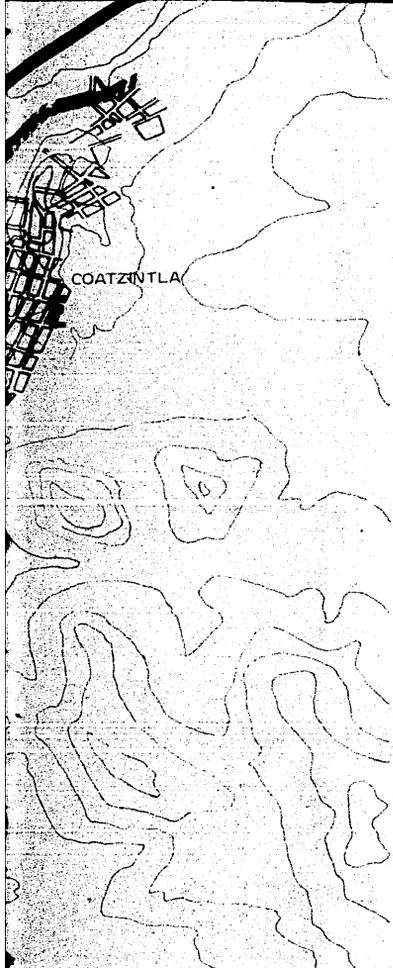
COLEGIO DE GEOGRAFIA

**ESTRUCTURA URBANA
DE UNA CIUDAD
PETROLERA**

5

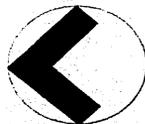
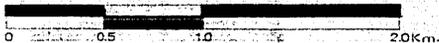
OTROS USOS

MA. EUGENIA CASTILLO AYALA MA.



Preservación
ecológica

ESCALA APROX. 1:20,000



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

unam

COLEGIO DE GEOGRAFIA

**ESTRUCTURA URBANA
DE UNA CIUDAD
PETROLERA**

5

OTROS USOS

MA. EUGENIA CASTILLO AYALA MAYO 1987

poza rica
VERACRUZ

200

**estructura
urbana
de una
ciudad
petrolera**