

## LAS ESTRUCTURAS DE LA CURVATURA DE MONTERREY, ESTADOS DE COAHUILA, NUEVO LEON, ZACATECAS Y SAN LUIS POTOSI

Ricardo José Padilla y Sánchez<sup>1</sup>

### RESUMEN

La Sierra Madre Oriental entre Saltillo, Monterrey, Linares y Concepción del Oro muestra en sus estructuras una flexión de rumbo N 35° E a aproximadamente N 35° W. La mayoría de las rocas presentes en la Curvatura de Monterrey es de edad mesozoica y varía del Triásico Tardío al Cretácico Tardío. Extensos pliegues de gran amplitud y cabalgaduras contribuyen a la complejidad estructural de esta región. Estructuralmente, los pliegues de la Curvatura de Monterrey pueden ser divididos en cinco grandes áreas de diferente estilo de plegamiento: a) *Area norte*, de pliegues simétricos, apretados<sup>2</sup>, casi siempre arqueados, cuyos planos axiales son casi verticales; b) *Area sur*, de pliegues arqueados y elongados, simétricos y asimétricos, la mayoría de ellos recostada con planos axiales que buzan de 85 a 60° hacia el sur y suroeste; c) *Area de basamento somero*, de largos pliegues casi simétricos y de gran amplitud, que contienen numerosos pliegues secundarios, apretados, simétricos y asimétricos; d) *Area de vergencia opuesta*, de pliegues apretados, elongados, asimétricos, recostados y cuyos planos axiales buzán aproximadamente 50° al noreste, y e) *Area del Anticlinal de La Silla*, estructura completamente diferente de las anteriormente descritas, ya que es simétrica en sus extremos y asimétrica, cabalgada y recostada en su parte central.

La vergencia general de los pliegues (recostados hacia el norte y noreste) indica que la dirección de movimiento del total de la cadena montañosa fue hacia el noreste, pero direcciones locales, indicadas por diferentes vergencias, sugieren que dentro de la Curvatura de Monterrey existieron varias "placas de deslizamiento por décollement" que se movieron independientemente entre ellas en diferentes direcciones. Estos grupos de pliegues con diferentes direcciones de movimiento corresponden con el *área norte*, *área sur*, *área de basamento somero*, *área de vergencia opuesta* y *área del Anticlinal de La Silla*.

Los esfuerzos máximos de la Orogenia Laramide (Paleoceno tardío-Eoceno temprano) son los causantes de los rasgos estructurales de la Curvatura de Monterrey. Las formas arqueadas de los pliegues de esta región fueron producidos cuando las rocas mesozoicas se deslizaron, regionalmente, hacia el noreste sobre evaporitas y lutitas del Jurásico Superior. Los bloques estables de las paleo-islas de Coahuila y San Carlos actuaron como barreras contra las cuales las rocas sedimentarias mesozoicas fueron plegadas y cabalgadas.

### ABSTRACT

The Sierra Madre Oriental between Saltillo, Monterrey, Linares and Concepción del Oro shows a bend in structures that strike from approximately N 35° E to about N 35° W. Most of the rocks involved in the Curvature of Monterrey are Mesozoic in age and range from Late Triassic to Late Cretaceous. Large amplitude folds and thrust faults contribute to the structural complexity of this region. Structurally, the folds of the Curvature of Monterrey can be divided in five major areas of different styles of folding: a) *A northern area* of tight, mostly arcuate, symmetric folds

<sup>1</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D. F.

<sup>2</sup> EQUIVALENCIA EN INGLES DE LOS TERMINOS ESTRUCTURALES UTILIZADOS EN ESTE ARTICULO

ESPAÑOL	INGLES
"Placa de deslizamiento por décollement"	— <i>Décollement glide sheet</i>
Pliegue apretado	— <i>Tight fold</i>
Pliegue arqueado	— <i>Arcuated fold</i>
Pliegue elongado	— <i>Elongated fold</i>
Anticlinal recostado	— <i>Overturned anticline</i>
Anticlinal "abierto"	— <i>Breached anticline</i>
Anticlinal "sin erosionar"	— <i>Unbreached anticline</i>
Amplitud	— <i>Amplitude</i>
Longitud de onda ( $\lambda$ )	— <i>Wavelength</i>
Vergencia	— <i>Vergence</i>
Falla de cabalgadura	— <i>Thrust fault</i>
Cabalgadura oblicua	— <i>Oblique thrust fault</i>
Falla inversa	— <i>Reverse fault</i>
Falla de transcurrancia	— <i>Strike - slip fault</i>
Falla normal	— <i>Normal fault</i>
Desplazamiento de falla	— <i>Fault offset</i>
Ventana tectónica	— <i>Fenster</i>
Klippen	— <i>Klippen</i>
Junta	— <i>Joint</i>
Fractura	— <i>Fracture</i>

with nearly vertical axial planes; b) A *southern area* of tight, arcuate and elongated, symmetric and asymmetric, mostly overturned folds, the axial planes of which dip from 85 to 60° to the south and southwest; c) A *shallow basement area* of long, broad, almost symmetric folds, with numerous tight, symmetric and asymmetric, secondary folds; d) An *area of opposite vergence* of tight, elongated, asymmetric, overturned folds, the axial planes of which dip nearly 50° toward the northeast, and e) The *area of La Silla Anticline*, which is an entirely different structure from those described before, because it is symmetric at its ends, and asymmetric, thrust-faulted and overturned at its central part.

The general vergence of the folds (overturned toward the north and northeast) indicates that the direction of movement of the entire folded belt was northeastward, but local directions indicated by different vergences, suggest that into the Curvature of Monterrey independent décollement glide sheets moved, relative to each other, in different directions. These groups of folds with different directions of movement correspond with the *northern area*, *southern area*, *shallow basement area*, *opposite vergence area*, and *La Silla Anticline area*.

The maximum stresses of the Laramide Orogeny (late Paleocene-early Eocene) caused the structural features at the Curvature of Monterrey. The arcuate shapes of the folds of this region were produced when the Mesozoic rocks slid, regionally, northeastward over Late Jurassic evaporites and shales. The stable blocks of the paleo-islands of Coahuila and San Carlos acted as barriers against which the Mesozoic sedimentary rocks were folded and thrust.

## SINTESIS DE LA GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA DE LA CURVATURA DE MONTERREY

La Sierra Madre Oriental está compuesta principalmente por una gruesa secuencia de rocas carbonatadas y terrígenas del Mesozoico, que fueron plegadas y cabalgadas por los esfuerzos máximos de la Orogenia Laramide durante el Paleoceno tardío-Eoceno temprano. Esta cordillera presenta dos flexiones importantes en su estructura: una en las cercanías de Torreón, Coahuila y otra en la vecindad de Monterrey, Nuevo León. Esta última es la que aquí se denomina *Curvatura de Monterrey*.

El nombre *Curvatura de Monterrey* es empleado aquí para describir la región en donde la Sierra Madre Oriental cambia su tren estructural de una dirección este-oeste, cerca de Saltillo, a una dirección noreste, al noreste de Saltillo; y de una dirección este-oeste, cerca de Monterrey, a una dirección sureste, al oeste de Linares. La Curvatura de Monterrey, tal como es definida aquí, incluye todos los pliegues en el área comprendida entre las ciudades de Saltillo, Monterrey, Linares y Concepción del Oro (Figura 1).

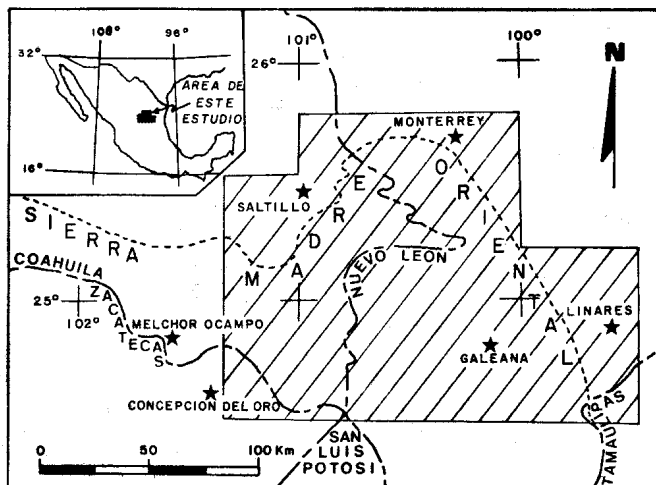


Figura 1.- Localización del área estudiada (líneas diagonales).

La Curvatura de Monterrey se localiza en el extremo sureste del Golfo de Sabinas, al sur del *horst* de la Isla de Coahuila y al oeste del *horst* de la Isla de San Carlos (Figura 2). La forma arqueada de los pliegues fue generada durante la Orogenia Laramide, cuando las rocas del Mesozoico se desli-

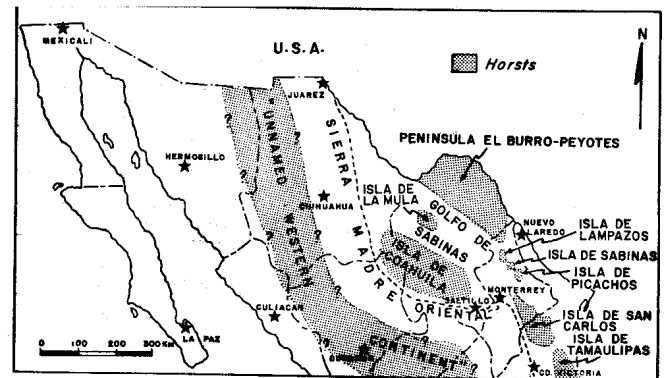


Figura 2.- Principales elementos paleogeográficos del norte de México para el Jurásico Tardío. La Sierra Madre Oriental es un rasgo más joven desarrollado durante el Terciario temprano. Tomado de Humphrey (1956), González (1976) y López-Ramos (1979).

zaron hacia el noreste sobre evaporitas y lutitas del Mesozoico inferior que fueron plegadas y cabalgadas, contra y sobre los mencionados *horsts*, produciéndose así una vergencia general de las estructuras hacia el norte y noreste. La expresión fisiográfica actual de tales estructuras se muestra en la Figura 3.

La mayoría de las rocas presentes en las montañas de la Curvatura de Monterrey es del Mesozoico y varía en edad del Triásico Tardío al Cretácico Tardío; pero en algunos lugares estas rocas se encuentran intrusadas por plutones emplazados durante el Terciario medio (Tabla 1).

Las rocas más antiguas que afloran en esta región han sido asignadas al Grupo Huizachal (Tavera-Amezcuca, 1960) del Triásico Tardío (Padilla y Sánchez, 1982). Esta unidad consiste principalmente de lechos rojos, más finos hacia la base y más gruesos hacia la cima, que representan depósitos netamente continentales. Estas rocas han sido interpretadas como el resultado de erosión de *horsts* formados en el Mesozoico temprano.

Durante el Jurásico Tardío, el noreste de México fue transgredido por aguas marinas, las que propiciaron el depósito de gruesas secuencias de rocas terrígenas clásticas, carbonatadas y evaporíticas. En el área de la Curvatura de Monterrey se formaron extensas plataformas, sobre las que se depositaron principalmente carbonatos y evaporitas, que en esta región están representados por la Caliza Zuloaga y la Formación Olvido (Tablas 1 y 2). La primera de estas unidades litoestratigráficas aflora en las porciones oeste y norte y la segunda en la parte sureste (Figura 4). La Caliza Zuloaga con-

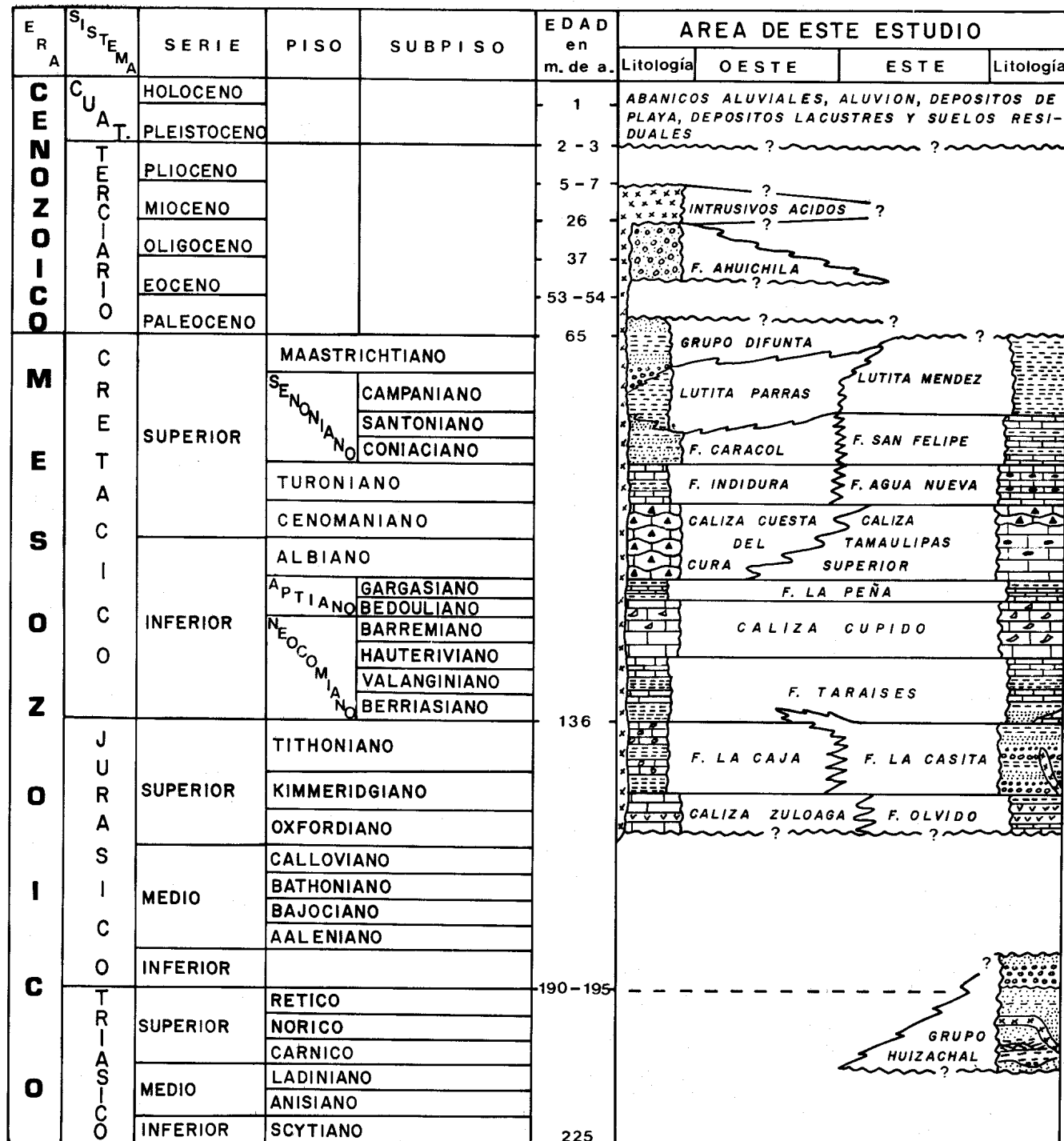


Figura 3.- Mosaico de fotografías de satélite (LANDSAT) que muestra la región de la Curvatura de Monterrey y los límites aproximados del área de este estudio. Escala 1:100.000. M-Monterrey; S-Saltillo; A-Allende; L-Linares; G-Galeana; ES-El Salvador; CO-Concepción del Oro.

siste en *mudstone* y *wackestone* con intercalaciones de limolitas rojas hacia su base, la cual no aflora. Lateralmente cambia sus facies a yeso, caliza y limolitas interestratificados que constituyen la Formación Olvido. Esta descansa discordan-

temente sobre el Grupo Huizachal, al suroeste de Galeana; pero se ignora si la Caliza Zuloaga yace en forma discordante sobre los lechos rojos o descansa directamente sobre rocas del basamento pre-mesozoico.

Tabla 1.- Secuencia estratigráfica del área de la Curvatura de Monterrey. Tomado de Padilla y Sánchez (1982).



A finales del Jurásico Tardío ocurrió el depósito de las formaciones La Casita y La Caja, las cuales representan facies litorales y de plataforma, respectivamente. Ambas formaciones sobreyacen concordantemente tanto a la Caliza Zuloaga como a la Formación Olvido (Tablas 1 y 2; Figura 4a y b). La Formación La Casita aflora extensamente en las por-

ciones norte y oriente de la Curvatura de Monterrey y consiste principalmente, de la base a la cima, de conglomerados gruesos con fragmentos redondeados de cuarzo, esquisto y granitos, en una matriz de arenisca de grano grueso; esta litología cambia transicionalmente hacia arriba, a areniscas de grano más fino con intercalaciones de limolitas para finalizar, en



Tabla 2.- Espesores medidos de las formaciones del Mesozoico en la Curvatura de Monterrey; para localizar las secciones, véase la Figura 5. Jz-Caliza Zuloaga; Jlej-Formación La Caja; Jles-Formación La Casita; Kta-Formación Taraises; Kcu-Caliza Cupido; Klp-Formación La Peña; Kts-Caliza Tamaulipas Superior; Kcc-Caliza Cuesta del Cura; Ki-Formación Indidura; Kan-Formación Agua Nueva; Kca-Formación Caracol; Ksf-Formación San Felipe; Kpa-Lutita Parras; Km-Lutita Méndez. Tomado de Padilla y Sánchez (1982).

ESPESORES DE LAS FORMACIONES MESOZOICAS (en metros)													
LOCALIDAD	Jlej	Jles	Kta	Kcu	Klp	Kts	Kcc	Ki	Kan	Kca	Ksf	Kpa	Km
S. de Los Muertos	200*	800	300	645	85	380		102					
S. de La Silla	60*	300	265	800	90	350			293				200*
S. de San Lucas				690*	72	348*							
S. de San Cristóbal	122*	421	200	500	67	357							
S. de El Chorro		100	195	750	7	280*							
S. de Jamé	8*	550	240	490	25	150*							
S. Hermosa	250*	604	350	620	110	575		80				70*	
S. El Muerto	75*	92	305	420	95	103*							
S. Las Hormigas	37*	90	150	290	65		106	30			150*		
S. El Jabalí	270*	90	160	230	50		110	42		60*			
S. San Juan	117*	103	150	299	61		117	50		75*		60*	
S. El Pedregoso	190*	100	139	300	65		130	30*					
S. de Rocamonte	600*	160	100	500	125		270*						
S. de las Mazmorras	270*	150	150	412	120		250	79		453*		25*	
S. de Las Vallas	60*	95	147	345	98		175		100		150*		
S. Pinal Alto		90	250*	380	550*	100	150				150*		
S. El Gateado				700*	75		400		350		250*		
S. El Orégano	150*	85	350	490	70		180		110		193*		
S. Labrador				520	55	200	80		100		173*		249*

\* Sección incompleta

su parte más alta, con lutitas y limolitas muy fosilíferas. Lateralmente, esta formación cambia a la Formación La Caja, la cual tiene mayor homogeneidad en su litología; ésta consiste de calizas, lutitas y limolitas intercaladas, que comúnmente contienen concreciones muy fosilíferas. La Formación La Caja aflora principalmente en la parte central y suroccidental del área estudiada.

Las rocas cretácicas que sobreyacen concordantemente a las formaciones descritas, son principalmente carbonatos en la base y clásticos en la cima, que alcanzan en conjunto espesores de más de 1,500 m (Tablas 1 y 2).

La unidad cretácica más antigua es la Formación Taraises, que aflora en toda el área estudiada (Figura 4), donde sobreyace concordante e indistintamente a las formaciones La Caja y La Casita. Esta formación consiste de calizas con intercalaciones de lutitas, pero en el área de Galeana, Díaz-González (1951) reportó, en la base de la unidad, la presencia de areniscas pardo-rojizas, denominándola "Miembro Galeana".

La Caliza Cupido sobreyace concordantemente a la for-

mación anterior y está constituida principalmente por tres facies diferentes: 1) Facies arrecifales con abundantes monopléuridos, requiénidos, caprínidos, ostras y fragmentos de corales y codiáceas, que afloran preferentemente en la parte norte del área de este estudio; 2) Facies de pre-arrecife, constituidas por brechas derivadas de los arrecifes, que bordean las facies arrecifales en la parte norte y nororiental de la Curvatura de Monterrey, y 3) Facies de cuenca, representadas por *mudstone* de estratificación media a gruesa, con abundantes nódulos de pedernal, que aflora en las partes sur y suroeste del área. Las tres facies son muy fosilíferas y el espesor de esta unidad es mayor en las facies arrecifales y menor en las facies de cuenca.

La Formación La Peña sobreyace concordantemente a la Caliza Cupido y está constituida por *wackestone* en estratos delgados, con intercalaciones de lutitas y limolitas muy fosilíferas. La parte carbonatada presenta abundantes lentes y nódulos de pedernal negro.

A la Formación La Peña la sobreyacen, también concordantemente, la Caliza Cuesta del Cura y la Caliza Tamaulipas Superior, que lateralmente son equivalentes. La Caliza

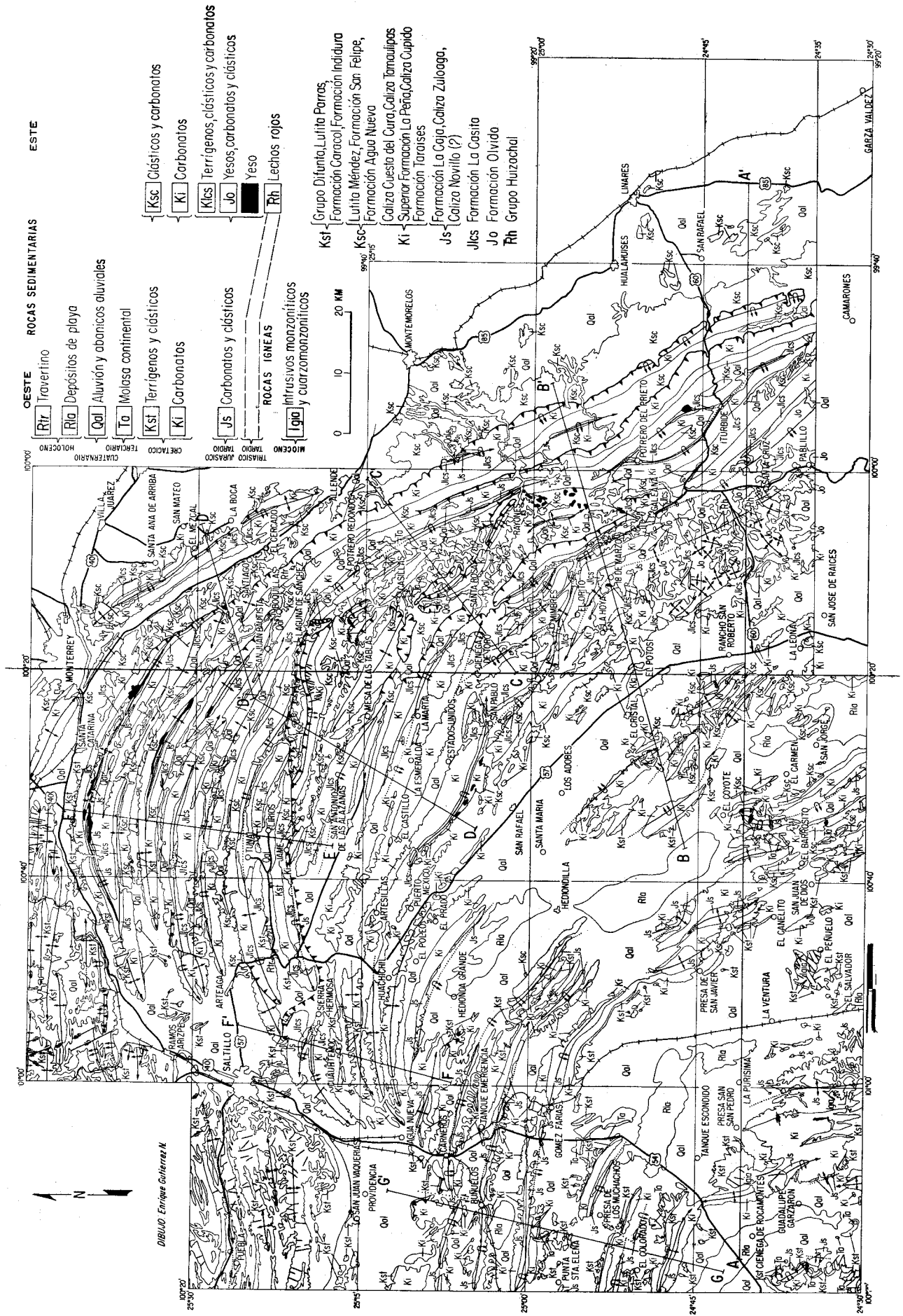


Figura 4.- a) Mapa y b) secciones geológicas de la Curvatura de Monterrey.

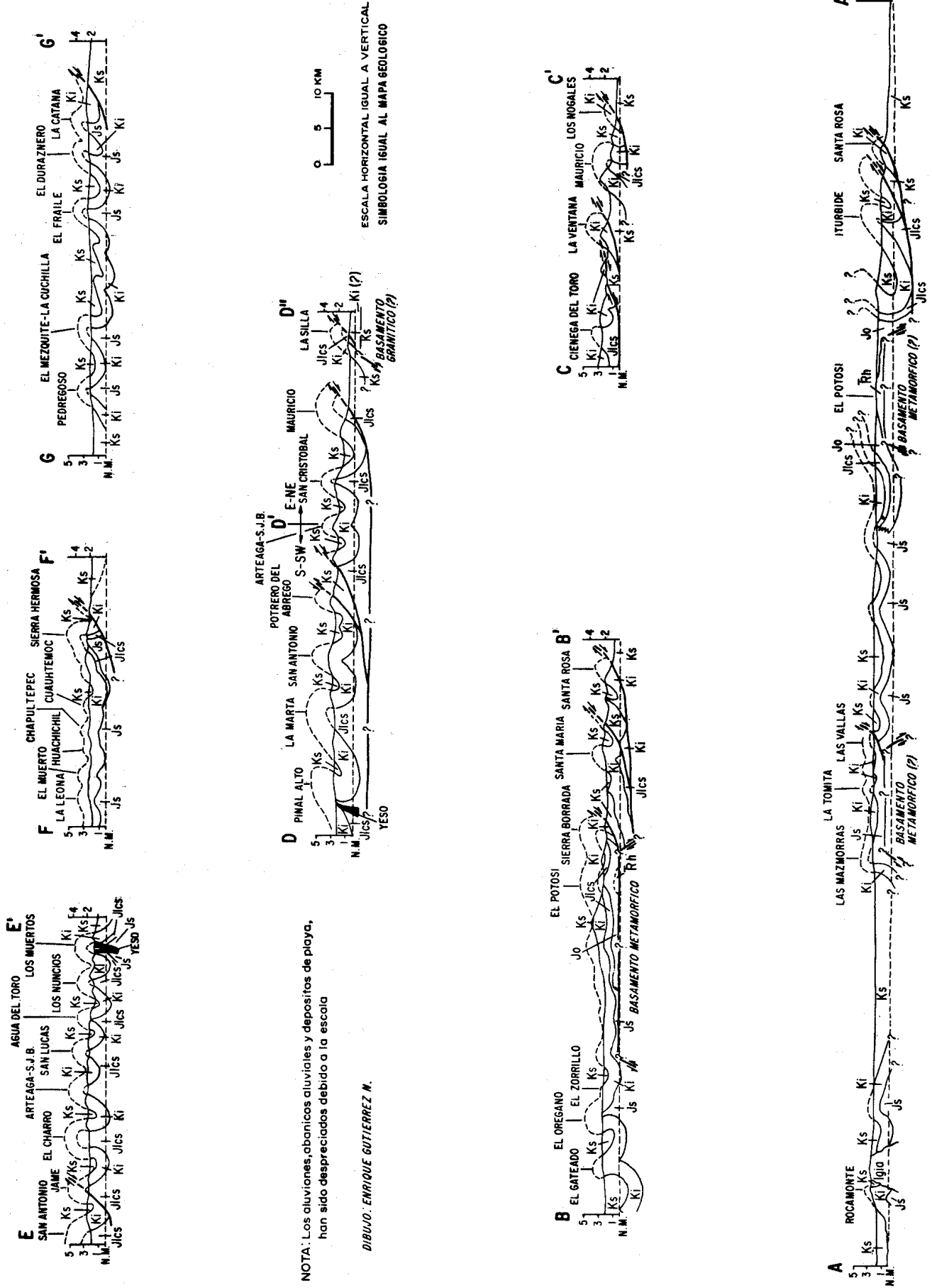


Figura 4.- a) Mapa y b) secciones geológicas de la Curvatura de Monterrey. (Continuación).

Tamaulipas Superior aflora principalmente en el este y sureste de la Curvatura de Monterrey, donde está constituida, de la base a la cima, por estratos medianos a gruesos de *mudstone* gris, con delgadas intercalaciones de lutitas calcáreas y abundantes estilolitos paralelos a la estratificación. Hacia la cima, estas rocas cambian gradualmente a estratos medianos a delgados y ondulados de *mudstones* con abundantes nódulos y capas de pedernal negro y concreciones de pirita. Hacia el oeste y noroeste, esta formación cambia lateralmente a la Caliza Cuesta del Cura, la cual consiste de estratos delgados, ondulados (tipo boudinage) de *mudstone*, con abundantes capas y nódulos de pedernal negro (Tabla 1).

La unidad que sobreyace concordantemente a la Caliza Cuesta del Cura es la Formación Indidura, mientras que por lo general la Caliza Tamaulipas Superior subyace, también en forma concordante a la Formación Agua Nueva (Tabla 1 y Figura 4). La Formación Indidura consiste de estratos delgados de *wackestone* gris claro y lutitas rosadas muy fosilíferas, mientras que la Formación Agua Nueva está conformada por *wackestone* gris a negra, en estratos delgados, con un contenido, de moderado a abundante, de nódulos de pedernal negro y con intercalaciones laminares de lutitas negras, algunas veces carbonosas.

La Formación Caracol sobreyace concordantemente a la Formación Indidura en el oeste, en tanto que la Formación San Felipe sobreyace en la misma forma a la Formación Agua Nueva en el este y sureste (Tabla 1 y Figura 4). La Formación Caracol consiste de una secuencia rítmica de estratos delgados de areniscas de grano fino, en ocasiones algo calcáreas y limolitas interestratificadas que, predominando hacia la cima de la formación se vuelven más arcillosas. Por otro lado, la Formación San Felipe está constituida por estratos delgados, con abundantes laminaciones, de *wackestones* intercaladas con limolitas, lutitas y bentonita.

En el noroeste del área estudiada, la Lutita Parras sobreyace a la Formación Caracol a través de un contacto concordante y transicional, mientras que en el este y sureste la Lutita Méndez sobreyace de la misma manera a la Formación San Felipe. La litología de la Lutita Parras y la Lutita Méndez es muy similar, pues ambas unidades consisten de lutitas laminares negras, fisiles, con esporádicas concreciones de pirita. La única diferencia entre ellas es que, hacia el oeste y noroeste, la Lutita Parras contiene más terrígenos (algunos horizontes de arenas finas) y hacia el este y sur-sureste, la Lutita Méndez presenta un mayor contenido de carbonatos. Sin embargo, ambas formaciones son prácticamente indiferenciables entre el área de Saltillo y Monterrey. La Lutita Parras es lateralmente equivalente a la Lutita Méndez (Padilla y Sánchez, 1978a, 1982) y en el área de la Cuenca de Parras subyace concordantemente al Grupo Difunta, el cual está constituido, en general, por estratos gruesos de areniscas de grano fino, lechos rojos, areniscas conglomeráticas y lutitas con algunos lentes de carbonatos que han sido interpretados por McBride y colaboradores (1974) como el resultado de un ambiente deltaico.

La secuencia mesozoica formada por las rocas antes descritas fue plegada y deformada durante el Paleoceno tardío-Eoceno temprano; como resultado de este evento tectónico se depositó la Formación Ahuichila. Esta unidad aflora en unas cuantas localidades (Figura 4) muy separadas una de otra y su litología consiste principalmente de conglomerados en estratos de gruesos a masivos, con fragmentos de las rocas jurásicas y cretácicas en una matriz areno-conglomerática.

A los distintos cuerpos intrusivos que afloran en la parte suroeste de la Curvatura de Monterrey, emplazados después del plegamiento de las rocas mesozoicas (Figura 4, Sección A-A'), se les ha asignado una edad tentativa del Mioceno (Padilla y Sánchez, 1982), ya que no se cuenta con determinaciones radiométricas. La composición de estos plutones varía de monzonítica para los *stocks* de Rocamonte y Matehuapil a cuarzo-monzonítica para el *stock* de El Peñuelo.

Por último, los valles entre las sierras de la Curvatura de Monterrey están generalmente rellenos de aluvión, abanicos aluviales y depósitos de playa que descansan discordantemente sobre las rocas más antiguas.

## GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Los pliegues y fallas de la Curvatura de Monterrey varían bastante en forma y tamaño. Estos constituyen la cadena alta de la Sierra Madre Oriental y contrastan notablemente con los pliegues del extremo sur del Golfo de Sabinas, con los pliegues de la parte oriental de la Cuenca de Parras y con las tierras bajas de la Planicie Costera del Golfo.

Los anticlinales mayores mostrados en la Figura 5 no corresponden completamente con las cadenas montañosas, debido a que la mayoría de ellos se encuentra erosionada y con su núcleo expuesto; así, en algunas localidades, dos o tres sierras pueden ser la expresión superficial de un pliegue. Por otro lado, cuando un anticlinal se encuentra recostado, con frecuencia está representado en la superficie por una sierra, la cual generalmente es el flanco invertido del pliegue (cf. Figuras 3, 5 y 6).

Los pliegues de la Curvatura de Monterrey pueden ser divididos en cinco grandes áreas de diferente estilo de plegamiento (Figura 5): a) *Área norte*, de pliegues simétricos, apretados, casi siempre arqueados, cuyos planos axiales son casi verticales; b) *Área sur*, de pliegues arqueados y elongados, simétricos y asimétricos, la mayoría de ellos recostada, con planos axiales que buzcan de 85 a 60° hacia el sur y suroeste; c) *Área de basamento somero*, de largos pliegues casi simétricos y de gran amplitud (i. e. Anticlinal Potosí), que contienen numerosos pliegues secundarios, apretados, simétricos y asimétricos; d) *Área de vergencia opuesta*, de pliegues apretados, elongados, asimétricos, recostados y cuyos planos axiales buzcan aproximadamente 50° al noreste, y e) *Área del Anticlinal de La Silla*, estructura completamente diferente de las anteriormente descritas, ya que es simétrica en sus extremos y asimétrica, afallada y recostada en su parte central.

## DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

**Área norte.** - Esta región de la Curvatura de Monterrey se caracteriza por sus pliegues apretados y simétricos, con planos axiales casi verticales, que varían en longitud de 15 a 60 km aproximadamente (Tabla 3 y Figura 5). Esta área comprende, de norte a sur, los anticlinales de Las Mitras, de Los Muertos, Los Nuncios, Las Comitas, Agua del Tono, San Lucas, San Cristóbal, Arteaga, San Juan Bautista, El Chorro y Jamé (Figura 5). Este grupo de pliegues corresponde aproximadamente con lo que de Cserna (1956) llamó "Anticlinorio de Arteaga". Cuando los anticlinales de esta área están "abiertos" (*breached*), en sus núcleos afloran rocas del Jurásico Superior (Zuloaga y La Casita); mientras que cuando no se encuentran erosionados (*unbreached*) la Caliza Cupido se pre-



señala coronando sus crestas (i. e. anticlinales de Las Mitras y Las Comitas).

El área norte está limitada, al oeste y norte, por los pliegues más pequeños y más apretados de la Cuenca de Parras.

Su límite oriental es la Cabalgadura Frontal y su límite sur se localiza a lo largo de la cabalgadura que pasa al norte de los anticlinales de Sierra Hermosa, San Antonio y Potrero de Abrego (Figura 5).

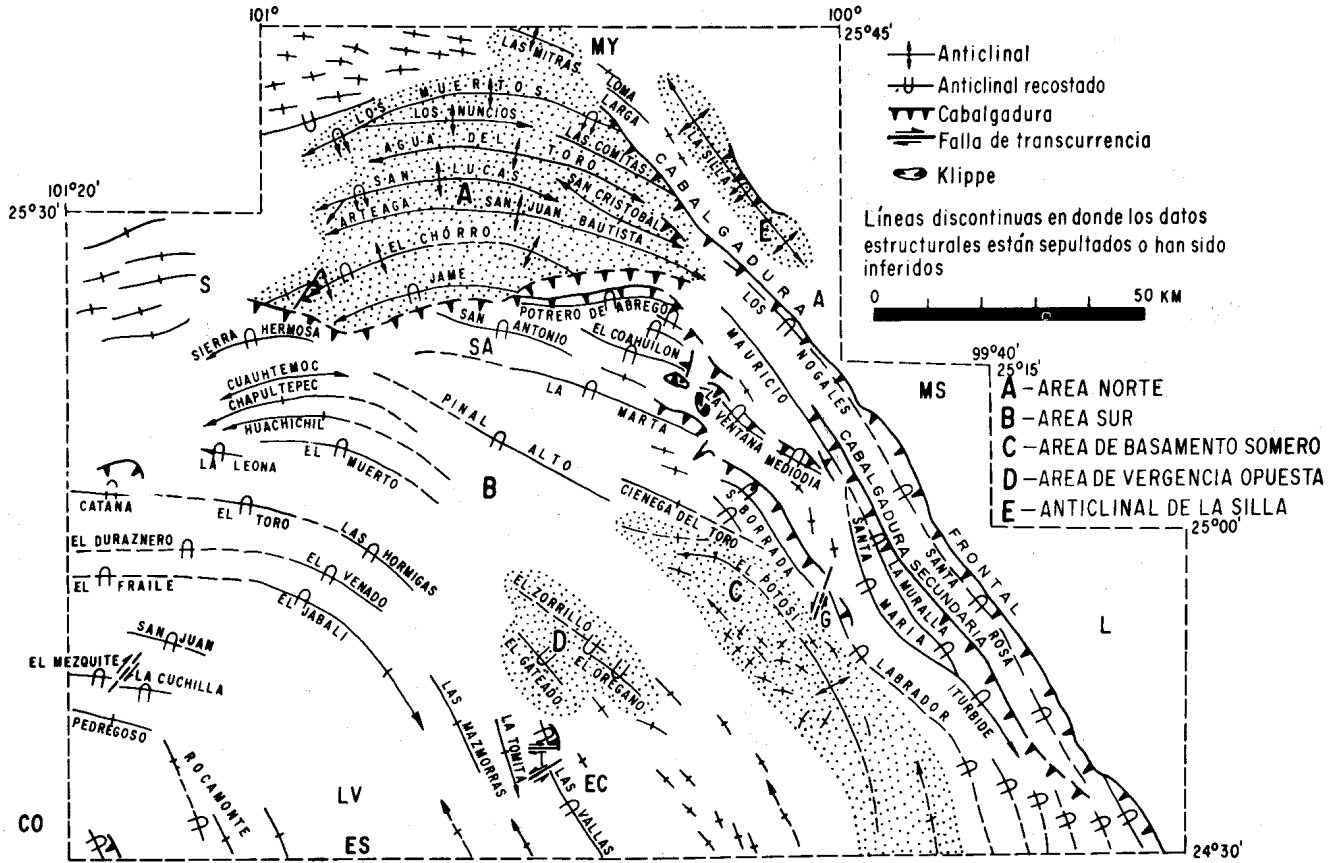


Figura 5.- Mapa de los principales anticlinales, cabalgaduras y fallas de transcurrancia en la Curvatura de Monterrey. El área ha sido dividida en cinco grandes regiones (A,B,C,D, y E) de diferentes estilos de plegamiento. CO-Concepción del Oro; LV-La Ventura; ES-El Salvador; EC-El Carmen; G-Galeana; L-Linares; S-Saltillo; SA-San Antonio de las Alazanas; MS-Montemorelos; A-Allende; MY-Monterrey.

Las variaciones de forma, longitud de onda y amplitud de los pliegues están íntimamente relacionadas a variaciones litológicas de las formaciones mesozoicas contenidas en el sistema de pliegues de esta área. Esta influencia estratigráfica es más importante donde se encuentran presentes cuerpos arrecifales (Caliza Cupido del Cretácico Inferior); tal es el caso del Anticlinal de Las Comitas, donde la parte central del pliegue tiene una longitud de onda mayor ( $\approx 5$  km) que la longitud de onda ( $\approx 3$  km) de su parte noroccidental (Figura 7). Sin embargo, la periodicidad y simetría del sistema de pliegues en esta área son notablemente constantes. También es notable la ausencia de cabalgaduras y fallas de transcurrancia, con excepción de las que forman sus límites y de algunas pequeñas fallas normales.

A partir de la forma arqueada de este sistema de pliegues, puede deducirse la dirección hacia la cual se deslizó por gravedad la cobertura sedimentaria mesozoica (*décollement glide sheet*) del área norte; esto es, hacia el lado cóncavo de la Curvatura de Monterrey o sea hacia el norte (Figura 8).

**Area sur.**- El área sur de la Curvatura de Monterrey consiste principalmente de anticlinales y sinclinales apretados, recostados, la mayoría asimétrica, con una vergencia general hacia el noreste (Figura 5). También se caracteriza esta área

por la presencia de numerosas fallas inversas y de transcurrancia, las cuales son más comunes en la parte oriental. Comprende 32 anticlinales mayores y varias cabalgaduras; de éstas las más importantes son: la Cabalgadura Frontal y la Cabalgadura Secundaria (Padilla y Sánchez, 1978b; Tabla 4).

El límite norte de esta área está marcado por la cabalgadura que se localiza al norte de los anticlinales de Sierra Hermosa, San Antonio y Potrero de Abrego. Su límite oriental es la Cabalgadura Frontal y sus límites occidental y sur son el meridiano  $101^{\circ}20'$  y el paralelo  $104^{\circ}30'$ , respectivamente (Figura 5). Las dos áreas (C y D) sombreadas con diferentes estilos de plegamiento incluidas en el área sur (Figura 5) serán descritas y discutidas más adelante.

En esta área, al igual que en el área norte, las variaciones litológicas en las formaciones mesozoicas controlaron los cambios de forma, longitud de onda y amplitud de los pliegues. La gruesa secuencia de yesos (Formación Olvido), terrígenos y clásticos (Formación La Casita) del Jurásico Superior, los cuerpos arrecifales masivos (Caliza Cupido) del Cretácico Inferior y la gruesa secuencia pelítica de la Lutita Méndez del Cretácico Superior, fueron las rocas que sufrieron mayor influencia en las variaciones de forma de los pliegues.

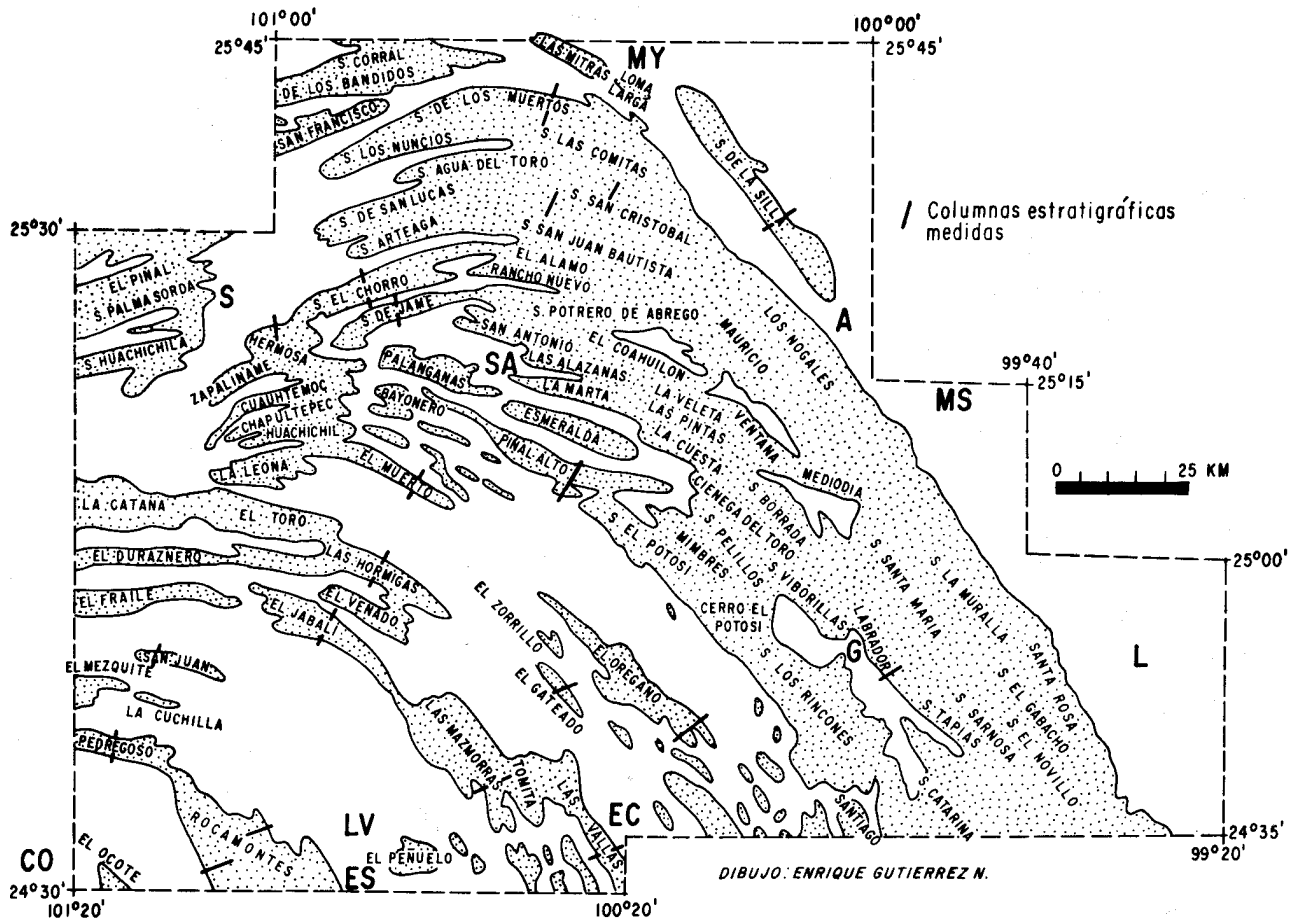


Figura 6.- Mapa de localización y nomenclatura de las cadenas montañosas de la Curvatura de Monterrey. También incluye la localización de las columnas estratigráficas medidas, cuyos datos se presentan en la Tabla 2. Para identificar ciudades y poblaciones véase la clave de la Figura 4.

La influencia estratigráfica en las estructuras es más clara en la parte noreste del área sur, ya que en la mayoría de las localidades se observan los cuerpos arrecifales de la Caliza Cupido cabalgando a la Lutita Méndez (*i. e.* anticlinales de Potrero de Abrego, La Marta, Sierra Borrada, El Labrador, La

Ventana, Mediodía, Mauricio y La Muralla). Sin embargo, no sólo las variaciones litológicas influenciaron el sistema de pliegues, sino también los cambios de espesor de las formaciones mesozoicas en distancias cortas (Padilla y Sánchez, 1982, láms. 1 y 2).

Tabla 3.- Datos estructurales de los anticlinales del área norte de la Curvatura de Monterrey.

ANTICLINAL	LONGITUD (en km)	LONGITUD DE ONDA (en km)	AMPLITUD (en km)	ACTITUD DEL PLANO AXIAL	OBSERVACIONES
Las Mitras	15	5	≈ 2.4	casi vertical	Simétrico, "unbreached", elongado. Ambos extremos buzan rápidamente. Nariz NW aparentemente desplazada por falla. Nariz SE se bifurca a dos pequeños anticlinales. Ambos flancos buzan ≈ 80°.
Los Muertos	62	5.2	≈ 2.6	porción SW ≈ 75° al SE porción central ≈ 90° porción SE ≈ 80° al SW.	Simétrico, "abierto" (breached), arqueado. Nariz SW recostada al NE y truncada por falla. Ambos flancos buzan ≈ 85°.
Los Nuncios	31	5	≈ 2.5	casi vertical	Simétrico, "abierto" (breached), ligeramente arqueado. Su extremo oeste es una bifurcación del Anticlinal de Los Muertos. Su extremo este buza suavemente (≈ 25°) al E. Ambos flancos buzan ≈ 83°.

Tabla 3.- Datos estructurales de los anticlinales del área norte de la Curvatura de Monterrey. (Continuación).

Las Comitas	22	≈ 5	≈ 2.4	casi vertical	Simétrico, "unbreached", elongado. Sus extremos son más apretados que su parte central. Su extremo NW buza suavemente (≈ 20°) al NW. Su extremo SE está truncado por falla. Ambos flancos buzan ≈ 55°.
Agua del Toro	41	5	≈ 2.6	casi vertical	Simétrico, "abierto" (breached), ligeramente arqueado. Su extremo oeste buza suavemente (≈ 25°) al W. Su extremo SE buza 40° al SE. Ambos flancos buzan ≈ 80°.
San Lucas	46	5	≈ 2.5	porción oeste ≈ 80° al S; casi vertical en sus porciones central y SW.	Simétrico, "abierto" (breached), arqueado. Su extremo oeste está bifurcado y truncado por falla. Su extremo sureste buza aproximadamente 40° al SE. Ambos flancos buzan ≈ 80°.
San Cristóbal	23	4.7	≈ 2.3	casi vertical	Simétrico, "abierto", elongado. Su extremo noroeste buza suavemente (≈ 30°) al NW. Su extremo sureste buza también suavemente (≈ 30°) al SE. Ambos flancos buzan ≈ 70°.
Arteaga-San Juan Bautista	56	5	≈ 2.5	casi vertical y ligeramente inclinado al sur en su porción oeste.	Simétrico, "abierto", arqueado. Su extremo oeste buza aproximadamente 35° al W-SW. Su extremo sureste buza suavemente (≈ 25°) al SE. Ambos flancos buzan ≈ 75°.
El Chorro	54	5.3	≈ 2.6	casi vertical	Simétrico, "abierto", arqueado. Su extremo sureste buza 40° al SW y su limbo noroeste está truncado por una cabalgadura. Su extremo sureste está truncado por falla inversa. Flancos: N ≈ 85° a 90°; S ≈ 85°.
Jamé	32	≈ 5	≈ 2.7	≈ 75° al sur	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), arqueado. Su extremo suroeste buza 45° al SW. Su extremo sureste está truncado por falla inversa. Flanco NE ≈ 85°.

Las extensas fallas de cabalgadura de la parte oriental del área sur no están tan íntimamente relacionadas a variaciones estratigráficas, como en la parte noreste de la misma. La mayor de este tipo de fallas es la Cabalgadura Frontal, la cual se extiende en la Sierra Madre Oriental desde Monterrey, Nuevo León, hasta la vecindad de Ciudad Victoria, Tamaulipas, con una extensión de más de 200 km y un buzamiento promedio del plano de falla de 30° al suroeste. El buzamiento disminuye con la profundidad hasta alcanzar el nivel de *décollement* regional. Su desplazamiento neto es difícil de determinar, pero se estima que pudiera ser del orden de 8 a 10 km al sureste del Anticlinal de Las Comitas con un notable incremento, probablemente más de 30 km, hacia el sureste. Uno de los problemas que impide estimar el desplazamiento neto mínimo de esta falla es la ausencia de ventanas tectónicas (*Fenster*) y/o *Klippen* en su porción suroccidental (Figura 5).

Otra falla inversa importante en el área sur es la Cabalgadura Secundaria (Figura 5), localizada inmediatamente al oeste de la Cabalgadura Frontal. La traza de la Cabalgadura Secundaria tiene un rumbo casi paralelo a la Frontal y su buzamiento es ligeramente mayor (aproximadamente 35° al SW). La longitud de esta falla es cercana a los 94 km y su despla-

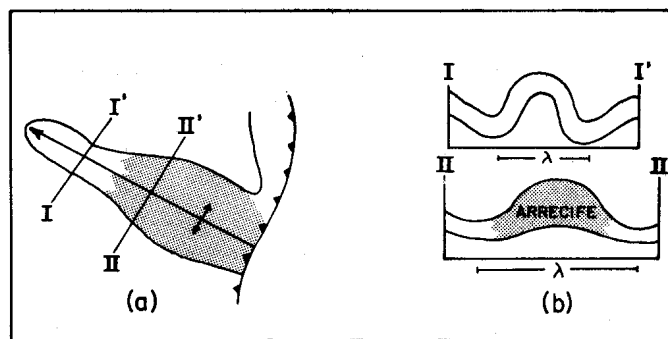


Figura 7.- a) Diagrama en planta y b) en perfil del Anclinal de Las Comitas que muestra la diferencia en longitud de onda causada por el mayor espesor de un cuerpo arrecifal.

miento mínimo se estima en más de 4 km, que es aproximadamente la mitad de la longitud de onda del sinclinal que se encuentra entre esta falla y el Anticlinal de Santa Rosa (Figura 5).

Al oeste de la parte noroeste de la Cabalgadura Secundaria existen varias cabalgaduras de menor extensión que pa-

recen estar relacionadas entre sí (Figura 5). Por ejemplo, las cabalgaduras del extremo sureste del Anticlinal de El Coahuilón, aquéllas de los flancos noreste de los anticlinales de La Ventana y El Mediodía y las dos *Klippen* situadas al oeste de estas fallas, probablemente sean parte de una sola cabalgadura. El rumbo promedio del plano de esta falla es aproximadamente S 45° E y su buzamiento es de un promedio de 20° al SW. La longitud mínima de esta falla es cercana a los 30 km y su desplazamiento mínimo es de más o menos 5 km.

El extremo oriental del Anticlinal de La Marta y el flanco noreste del Anticlinal de Sierra Borrada están limitados por una cabalgadura de ángulo bajo (Figura 5). El rumbo promedio del plano de esta falla es aproximadamente N 40° E y su plano de falla es casi horizontal en su extremo oriental, pero progresivamente se vuelve más inclinado (hacia la parte oeste) hasta que alcanza un buzamiento de 30° al SW. Esta cabalgadura tiene al menos 44 km de longitud y su desplazamiento mínimo es del orden de 4 km.

La parte norte del Anticlinal de Potrero de Abrego se encuentra bordeada por dos cabalgaduras (Figuras 4 y 5). De estas dos fallas, la que se encuentra al sur tiene un rumbo este-oeste y buza aproximadamente 60° al S. Esta última tiene una longitud cercana a los 60 km y su desplazamiento mínimo se estima en 4 km. La falla al norte de la descrita tiene un rumbo más o menos paralelo a la anterior, pero buza aproximadamente 30° al S; su longitud es al menos de 19 km y su desplazamiento mínimo se considera en 3 km; o sea, la mitad de la longitud de onda del Anticlinal de El Chorro.

Inmediatamente al sureste de Saltillo, el extremo noreste del Anticlinal de Sierra Hermosa y el extremo oeste del Anticlinal de El Chorro se encuentran "montados" sobre un pequeño cuerpo arrecifal *sin nombre* (Figuras 4 y 5), causando dos pequeñas fallas inversas que buzan aproximadamente 60° al sur y sureste. Su desplazamiento mínimo es difícil de calcular, pero se estima que sea del orden de 1 km, que es el espesor aproximado de la secuencia estratigráfica faltante en el autóctono, la cual incluye a las formaciones Indidura, Caracol y Parras (Padilla y Sánchez, 1982, p. 131 y láms. 1 y 2, sec. F-F').

Las fallas de transcurrancia en el área sur están comúnmente asociadas con cabalgaduras. Una de las mayores está localizada en el extremo sureste del Anticlinal de Sierra Borrada, con un rumbo aproximado N 20° E y un desplazamiento siniestro cercano a los 4.5 km (Figura 5). Otras fallas de transcurrancia de menor magnitud se encuentran esparcidas a través del área sur, con desplazamientos que varían de 200 m a aproximadamente 4 km y comúnmente se encuentran desplazando tanto a pliegues como a fallas inversas y cabalgaduras.

Las estructuras menores como fallas normales, juntas y fracturas se encuentran diseminadas a través del área sur; pero debido al carácter regional de este trabajo no serán estudiadas aquí porque ya fueron descritas y discutidas por el autor en un trabajo anterior (Padilla y Sánchez, *op. cit.*).

La dirección hacia la cual se deslizó el área sur de la Curvatura de Monterrey se deduce a partir de la vergencia de los pliegues y del desplazamiento de las fallas. Así se establecieron direcciones locales de deslizamientos por gravedad (Figura 8), que indican que la mayor parte de la porción oriental del área sur se corrió hacia el este-noreste, que la parte norte de esta área se movió hacia el norte-noroeste (anticlinales de Potrero de Abrego, Jamé, Sierra Hermosa, Cuauhtémoc, Chapultepec, Huachichil, El Muerto, La Leona, Catana, El Duraznero y El Fraile) y que la parte sur del área se movió hacia el noreste (anticlinales de El Pedregoso, Rocamonte, Las Maz-

morras, La Tomita y Las Vallas). En resumen, la dirección regional de movimiento es aproximadamente N 30° E, la cual es diferente de la obtenida para el área norte (Figura 8). Esta diferencia y sus posibles causas serán discutidas más adelante.

*Área de basamento somero.*- Otra área muy distinta estructuralmente dentro de la Curvatura de Monterrey es la del Anticlinal de Potosí, única región en donde el basamento es somero (Figuras 5 y 8). El Anticlinal de Potosí es probablemente la estructura más sobresaliente en la Curvatura de Monterrey debido a su tamaño (más de 50 km de longitud), a su longitud de onda de aproximadamente 10 km y a su amplitud estimada en más de 4 km. El Potosí es un anticlinal muy amplio, asimétrico y "abierto" (*breached*), que contrasta notablemente con los pliegues más apretados que lo rodean (Figura 5). Su terminación noroccidental buza suavemente (≈30°) al noroeste, mientras que hacia el sur parece bifurcarse en varios pliegues más pequeños que yacen fuera del área del mapa de este estudio (Figura 5). Su plano axial es casi vertical, pero tiene una ligera inclinación de unos cuantos grados hacia el suroeste. Las rocas más antiguas que se conocen en la Curvatura de Monterrey son las que se encuentran expuestas en su núcleo (Grupo Huizachal). Numerosos pliegues secundarios, sin orientación preferente, están presentes en las rocas de la Formación Olvido en la Sierra de Los Rincones, la cual es parte del núcleo del Anticlinal de Potosí (Figuras 4, 5 y 6).

El límite oriental de esta área de basamento somero se ha situado al suroeste de los Anticlinales de Ciénega del Toro y Sierra Borrada y al oeste del Anticlinal de El Labrador, mientras que su límite occidental se ubicó a lo largo de los últimos afloramientos de los pliegues secundarios del Anticlinal de Potosí (Figura 5). Estos límites coinciden aproximadamente con los sugeridos por Belcher (1979) y por Moor (1980) para este *horst*.

En el desarrollo de los pliegues de esta área influyó principalmente la poca profundidad estructural del basamento y secundariamente las variaciones litológicas de las formaciones mesozoicas.

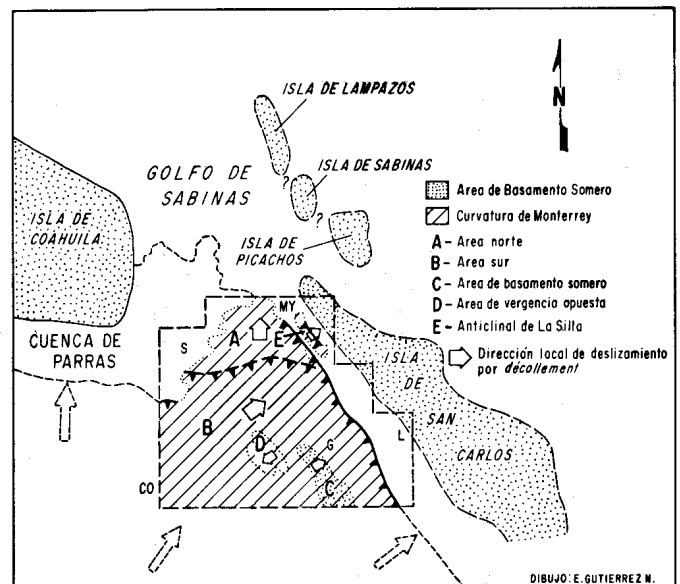


Figura 8.- Mapa bosquejado de la Curvatura de Monterrey y áreas circunvecinas mostrando la localización de altos del basamento, antiguas cuencas y los movimientos relativos de la secuencia sedimentaria mesozoica desprendida. MY-Monterrey; L-Linares; G-Galeana; CO-Concepción del Oro; S-Saltillo.

Tabla 4.- Datos estructurales de los anticlinales del área sur de la Curvatura de Monterrey.

ANTICLINAL	LONGITUD (en km)	LONGITUD DE ONDA (en km)	AMPLITUD (en km)	ACTITUD DEL PLANO AXIAL	OBSERVACIONES
Potrero de Abrego	≥ 24	?	?	?	Solamente el flanco sur está expuesto a causa de una falla de cabalgadura a lo largo del pliegue. Sus extremos también están truncados por la misma falla. Flanco S ≈ 80°.
San Antonio	30	≈ 5.8	≈ 3	Aproximadamente 80° al SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Flanco invertido expuesto. Sólo un tercio de su flanco sur está expuesto. Extremo sureste buza aproximadamente 30° al SE. Extremo noroeste truncado por falla. Flanco NE ≈ 80°.
El Coahuilón	≥ 23	≈ 5	≈ 2.5	Aproximadamente 80° al SW.	Asimétrico, "unbreached", elongado. Su extremo noroeste buza 25° al NW. Su extremo sureste está truncado por falla. Flancos: NE ≈ 85°; SW ≈ 60°.
La Marta	≥ 50	≈ 6.5	≈ 3.2	De 80° a 85° al SW en sus porciones noroeste y central. Porción sureste aproximadamente 77° al SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Sólo su flanco invertido está expuesto. Su extremo noroeste buza 20° al NW. Su extremo sureste está truncado por falla. Flanco NE ≈ 85°.
Pinal Alto	30	≈ 7.8	≈ 3.7	Aproximadamente 65° al SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Sólo su flanco invertido está expuesto. Su extremo noroeste buza 25° al NW. Su extremo sureste se bifurca a dos pequeños anticlinales. Flanco NE ≈ 75°.
Ciénega del Toro	21	≈ 6	≈ 3	Aproximadamente 85° al SW.	Asimétrico, "abierto" (breached), arqueado. Su extremo sureste se une al Anticlinal de Sierra Borrada. Su extremo noroeste buza aproximadamente 40° al NW. Flancos: NE ≈ 85°; SW ≈ 65°.
Sierra Borrada	26	≈ 5	≈ 2.6	Aproximadamente 75° al W-SW	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Una falla de cabalgadura está presente a lo largo de su flanco este. Sus extremos se encuentran truncados por fallas. Flancos: SW ≈ 70°; NE ≈ 80°.
La Ventana	≥ 14	?	?	?	Solamente su flanco suroeste está expuesto. Falla de cabalgadura a lo largo del eje del pliegue. Sus extremos están truncados por fallas. Flanco SW ≈ 75°.
Mediodía	≥ 9	?	?	?	Solamente su flanco suroeste está expuesto. Falla de cabalgadura a lo largo del eje del pliegue. Sus extremos están truncados por fallas. Flanco SW ≈ 75°.
Labrador	> 40	?	?	?	Solamente su flanco noreste está expuesto. Su extremo noroeste está truncado por falla. Su extremo sureste se encuentra fuera del área de este estudio. Flanco NE ≈ 60°.
Mauricio	49	≈ 5	≈ 2.6	Aproximadamente 60° al W-SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Su extremo noroeste está truncado por falla. Su extremo sureste buza aproximadamente 35° al SE. Flancos: SW ≈ 55°; NE ≈ 75°.
Santa María	22	≈ 4.5	≈ 2.1	Aproximadamente 80° al SW.	Asimétrico, "abierto" (breached), arqueado. Su extremo norte se al anticlinal de la Muralla. Su ex-



Tabla 4.- Datos estructurales de los anticlinales del área sur de la Curvatura de Monterrey. (Continuación).

La Muralla	20	≈ 4.3	≈ 2.1	Aproximadamente 75° al SW.	tremo sureste se une al Anticlinal de Iturbide. Flancos: SW ≈ 55°; NE ≈ 85°. Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), arqueado. Su extremo noroeste se une al Anticlinal de Santa María. Su extremo sureste se une al Anticlinal de Iturbide. Flancos: SW ≈ 60°; NE ≈ 80°.
Iturbide	17	≈ 4	≈ 2	Aproximadamente 60° al SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Su extremo noroeste se bifurca a los Anticlinales de Santa María y La Muralla. Su extremo sureste buza aproximadamente 35° al SE. Flancos: SW ≈ 45°; NE ≈ 70°.
Los Nogales-Santa Rosa	> 98	?	?	?	Solamente en flanco suroeste está expuesto. Falla de cabalgadura a lo largo del eje del pliegue. Su extremo noroeste buza 35° al NW. Su extremo sureste se encuentra fuera del área de este estudio. Flanco SW ≈ 55°.
Las Villas	> 21	≈ 4.1	≈ 2	Aproximadamente 65° al SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Su extremo noroeste está truncado por fallas. Su extremo sureste se encuentra fuera del área de este estudio. Flancos: SW ≈ 40°; NE ≈ 70°.
La Tomita	> 6	≈ 3.2	≈ 1.6	Aproximadamente 85° al SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Solamente su extremo sureste está expuesto y buza aproximadamente 30° al SE. Flancos: SW ≈ 65°; NE ≈ 70°.
Las Mazmorras	≈ 15	≈ 4	≈ 1.9	Aproximadamente 85° al SW en su porción central.	Asimétrico, "abierto" (breached), elongado. Su extremo noroeste buza aproximadamente 35° al NW. Su extremo sureste buza también 35° al SE. Flancos: SW ≈ 80°; NE ≈ 70°.
Rocamonte	18.5	≈ 5	≈ 2.4	Aproximadamente 85° al SW en su porción noroeste y 70° al SW en su porción sureste.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Su parte central está intrusionada por plutón. Su extremo noroeste buza (≈ 40°) al NW. Su extremo sureste buza (≈ 35°) al SE. Flancos con inclinación variable: SW ≈ 60° a 70°; NE ≈ 75° a 85°.
Pedregoso	16	4	≈ 2	casi vertical	Simétrico, "abierto" (breached), elongado. Su extremo oeste buza aproximadamente 45° al W-NW. Su extremo este buza aproximadamente 45° al E-SE. Flancos: S ≈ 60°; N ≈ 60°.
El Mezquite-La Cuchilla	> 20	≈ 5	≈ 2.4	Aproximadamente 60° al S-SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), elongado. Su porción este se encuentra desplazada por falla de transcurrencia. Su mitad occidental se encuentra fuera del área de este estudio. Su extremo este buza (≈ 30°) al E-SE. Flancos: S ≈ 45°; N ≈ 75°.
San Juan	> 14	≈ 5	≈ 2.5	Aproximadamente 65° al SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached). Solamente su flanco invertido está expuesto. Sus extremos no afloran. Flanco N ≈ 75°.
El Fraile-El Jabalí	66	≈ 6	≈ 2.8	Aproximadamente 65° al SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), arqueado. En su parte central sólo porciones del flanco invertido están expuestas. Su extremo oeste buza 40° al W. Su extremo sureste buza aproximada-

Tabla 4.- Datos estructurales de los anticlinales del área sur de la Curvatura de Monterrey. (Continuación).

El Duraznero-	57	≈ 5	≈ 2.5	Aproximadamente 65° al SW.	mente 35° al SE. Flancos: S ≈ 60°; N ≈ 85°. Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), arqueado. Solamente porciones de su flanco invertido están expuestas en sus partes oeste y central. Su extremo sureste buza aproximadamente 35° al SE. Flanco NE ≈ 75°.
Catana-El Toro- Las Hormigas	61	≈ 5	≈ 2.5	Aproximadamente 60° al SW.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), arqueado. Sólo porciones de su flanco invertido están expuestas en su parte central. Su parte media está desplazada por falla de transcurrencia. Su extremo oeste está truncado por falla inversa. Su extremo SE buza 35° al SE. Flanco NE ≈ 70°.
La Leona	> 16	≈ 5.5	≈ 2.6	Aproximadamente 75° al S.	Asimétrico, "abierto" (breached), elongado. Solamente su parte este está expuesta. Su extremo este buza aproximadamente 45° al E. Flancos: NE ≈ 70°; SE ≈ 60°.
El Muerto	> 32	?	?	Aproximadamente 70° al S.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), arqueado. Sólo su flanco invertido está expuesto. Su extremo oeste buza aproximadamente 35° al W. Flancos: NE ≈ 75°; SW ≈ 65°.
Huachichil	40	5	2.4	Aproximadamente 85° al S.	Asimétrico, "unbreached", arqueado. Su parte suroeste está bien expuesta. Sólo porciones de su parte sureste están expuestas. Su extremo suroeste buza aproximadamente 30° al SW. Flancos: NE ≈ 65°; SW ≈ 60°.
Chapultepec	26	5	2.5	Aproximadamente 85° al S.	Asimétrico, "unbreached", arqueado. Su parte suroeste está bien expuesta. Sólo porciones de su parte sureste están expuestas. Su extremo suroeste buza aproximadamente 30° al SW. Flancos: NE ≈ 65°; SW ≈ 60°.
Cauhtémoc	20	5	2.5	casi vertical	Asimétrico, "unbreached", arqueado. Su parte suroeste está bien expuesta. Sólo porciones de su parte sureste están expuestas. Su extremo suroeste buza aproximadamente 35° al SW. Flancos: NE ≈ 60°; SW ≈ 55°.
Sierra Hermosa	19	6	2.8	Aproximadamente 65° al S.	Asimétrico, recostado, "abierto" (breached), arqueado. Su extremo suroeste buza aproximadamente 45° al SW. Su extremo sureste buza aproximadamente 45° al SE. Flancos: NE ≈ 75°; SW ≈ 60°.

La dirección local de movimiento hacia el noreste se dedujo por la forma arqueada del Anticlinal de Potosí en su extremo noroccidental (Figuras 5 y 8), así como por la ligera inclinación de su plano axial.

*Área de vergencia opuesta.*- Esta área se encuentra localizada inmediatamente al oeste del área de basamento somero. Los anticlinales de El Zorrillo, El Orégano y El Gateado son los pliegues incluidos en ella. Estos tienen una orientación aproximada N 65° W, la cual es más o menos paralela al rumbo general de las estructuras que los rodean; pero sus planos axiales buzan un promedio de 60° al noreste, lo cual

es completamente opuesto a la vergencia regional de los pliegues en la Curvatura de Monterrey (Figura 5).

En esta área no existe evidencia de importantes variaciones litológicas que hubiesen controlado el desarrollo de pliegues; pero es razonable asumir que el basamento debajo del Anticlinal de Potosí no sólo influyó, sino que fue la causa de la vergencia anómala de estas estructuras.

Por último, la dirección local hacia la cual estas estructuras se movieron durante su deslizamiento se muestra en la Figura 8 y su posible origen será discutido más adelante.

*Anticlinal de La Silla (una excepción).*- El Anticlinal de

La Silla es un pliegue completamente diferente del resto de los pliegues presentes en la Curvatura de Monterrey. Además de estar localizado fuera de los límites arbitrarios establecidos aquí para la Curvatura de Monterrey, la principal diferencia de este pliegue es que es una estructura simétrica en sus extremos, mientras que su parte media que se encuentra recostada al noreste, es asimétrica y está complicada por una falla inversa (Figura 5). Otra diferencia importante es que el rumbo de este pliegue, oblicuo al rumbo general de los pliegues de la Sierra Madre Oriental, es casi paralelo a la traza aflorante de la Cabalgadura Frontal presente a lo largo del frente oriental de la Sierra Madre Oriental.

El Anticlinal de La Silla es un pliegue elongado, apretado, "abierto" (*breached*), simétrico y asimétrico, parcialmente recostado, que tiene un rumbo N 30° W, una longitud de 42 km y una longitud de onda de aproximadamente 5 km. Se caracteriza por la fuerte inclinación de sus flancos y sus extremos, en donde su plano axial es casi vertical, mientras que en su parte central el plano axial buza un promedio de 70° al SW. La falla inversa presente en su parte media, es la responsable de la ausencia de su flanco noreste (Figura 5). En su extremo sureste la estructura se bifurca en dos pequeños anticlinales que buzan suavemente hacia el sureste.

No existe evidencia de control estratigráfico en esta estructura, pero es muy probable que el *horst* de la Isla de San Carlos (Figura 8) haya influido para dar a este pliegue su peculiar forma. El origen de esta estructura será discutido más adelante.

Los esfuerzos máximos de la Orogenia Laramide (Paleoceno tardío-Eoceno temprano) son los causantes de los rasgos estructurales de la Curvatura de Monterrey. Las formas arqueadas de los pliegues de esta área fueron producidas cuando las rocas mesozoicas se deslizaron regionalmente hacia el noreste sobre evaporitas y lutitas del Jurásico Superior, las cuales a su vez fueron "acarreadas" por el frente del alóctono y prácticamente "exprimidas" hacia el norte, entre los bloques más estables de las paleo-islas de Coahuila y San Carlos (Figura 8). Ambos *horsts* actuaron como barreras contra las cuales las rocas sedimentarias mesozoicas fueron plegadas y afalladas.

La vergencia general de los pliegues, recostados hacia el norte y noreste, indica que la dirección de movimiento del total de la cadena montañosa fue hacia el noreste (Figura 9), pero las direcciones locales indicadas por diferentes vergencias sugieren que dentro de la Curvatura de Monterrey existieron varias "placas de deslizamiento por décollement" (*décollement glide sheets*) que se movieron independientemente entre ellas en diferentes direcciones (Figuras 8 y 9). Estos sistemas de pliegues con diferentes direcciones de movimiento fueron descritos en la primera parte de este artículo (Figura 5) y corresponden al área norte, área sur, área de basamento somero, área de vergencia opuesta y área del Anticlinal de La Silla (Figuras 8, 9 y 10).

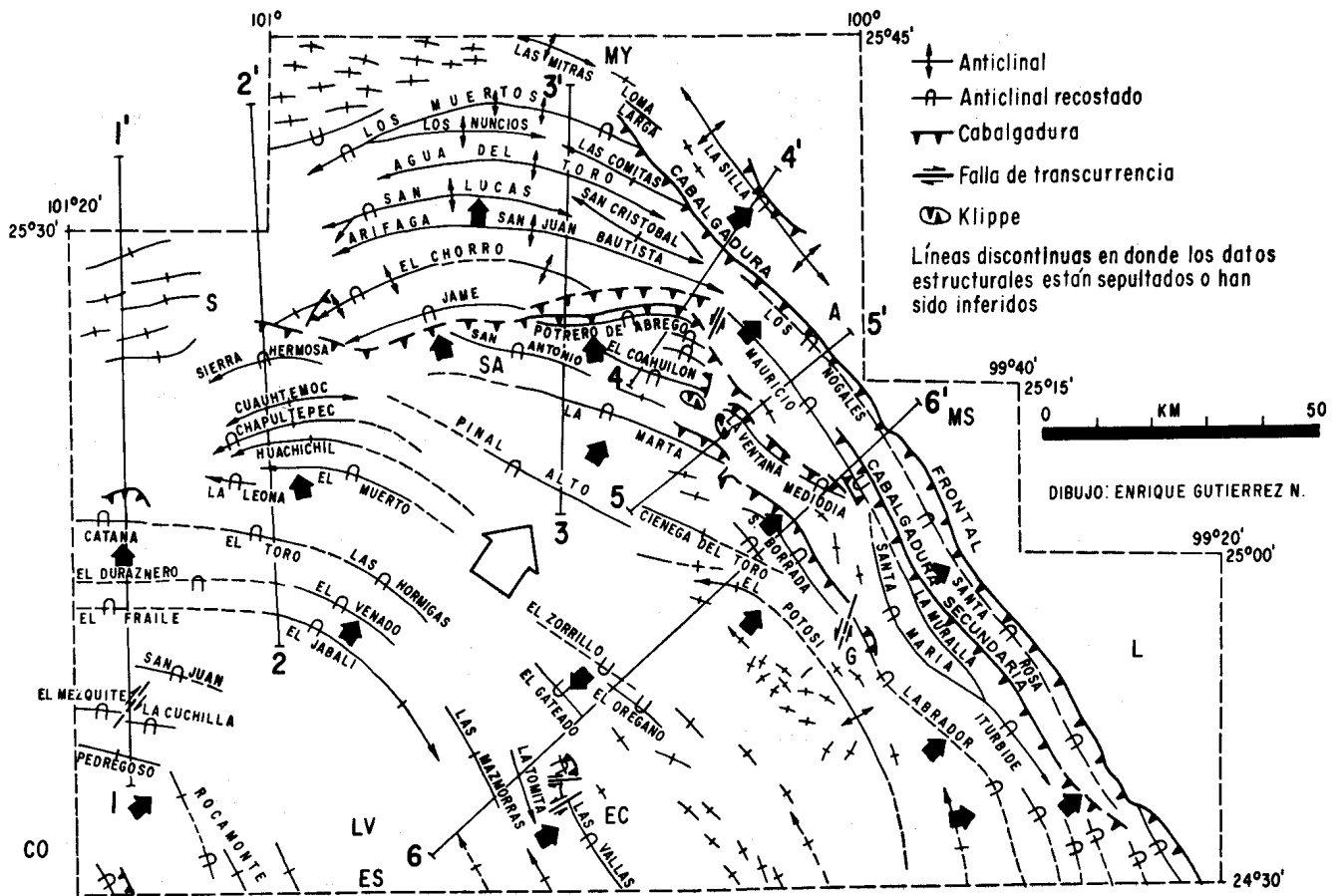


Figura 9.- Mapa estructural de la Curvatura de Monterrey mostrando direcciones locales (flechas negras) y regionales (flechas en blanco) de deslizamiento por *décollement*. También incluye la localización de las secciones esquemáticas de la Figura 9.

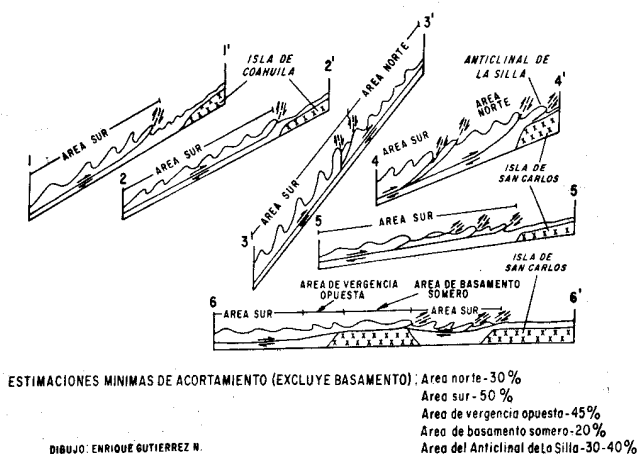


Figura 10.- Secciones esquemáticas de la Curvatura de Monterrey. La localización está dada en la Figura 8.

Las direcciones promedio de movimiento de cada una de estas "placas de deslizamiento por décollement" fueron calculadas como sigue:

- Area norte - 0° al norte
- Area sur - 30° al noreste
- Area de basamento somero - 45° al noreste
- Area de vergencia opuesta - 40° al suroeste
- Anticlinal de La Silla - 60° al noreste

Así, la dirección promedio de movimiento de toda la Curvatura de Monterrey fue calculada en 30° hacia el noreste (Figura 9).

Previamente se estableció que los pliegues de la Curvatura de Monterrey son el resultado de un décollement regional hacia el noreste (Haarmann, 1917; Humphrey, 1956; de Cserna, 1956), ahora se explicará la posible causa o causas que originaron las formas distintivas de los pliegues en cada una de las cinco áreas ya descritas.

La notable periodicidad del sistema de pliegues del área norte (Figuras 5, 9 y 10, sección 3-3') es probablemente el resultado del deslizamiento "libre" de esta "placa de décollement" hacia el noreste, en medio de los horsts de las islas de Coahuila y San Carlos, facilitado por la gruesa secuencia de evaporitas y lutitas del Jurásico Superior. Pero estas rocas dúctiles, evaporitas y lutitas también fueron afectadas y transportadas hacia el norte, entre el alóctono y el autóctono, produciendo estructuras diapíricas en el extremo sureste del Golfo de Sabinas (Figura 10, sección 3-3' y Figura 11). La forma arqueada de los pliegues de esta área es probablemente el resultado de un "retraso" relativo en su movimiento al norte, causado por las islas de Coahuila y San Carlos, las cuales propiciaron el recostamiento de los pliegues de los extremos suroccidentales de los anticlinales de El Chorro y San Lucas, así como el recostamiento de ambos extremos del Anticlinal de Los Muertos (Figura 9).

Después de que el área norte finalizó su movimiento, el área sur continuó moviéndose hacia el noreste, como lo demuestra el sobrecorrimiento del área sur sobre el borde del área norte. Esto está representado por las dos cabalgaduras localizadas inmediatamente al norte del Anticlinal de Potrero de Abrego, las cuales truncan los extremos surorientales de los anticlinales de El Chorro y Jamé (Figuras 5, 9 y 10, secciones 3-3' y 4-4').

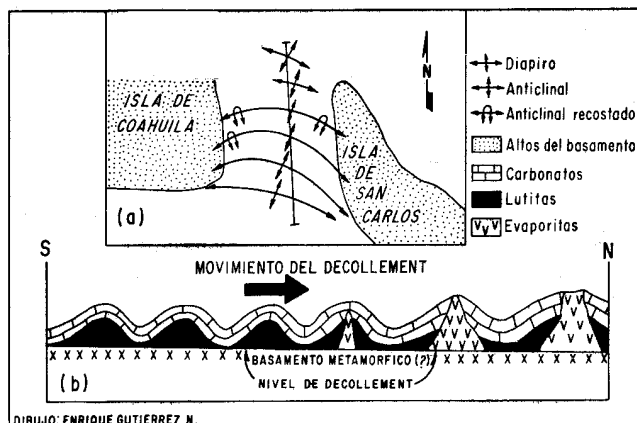


Figura 11.- a) Mapa esquemático que muestra cómo la presencia de dos altos del basamento puede haber influenciado las formas de los pliegues en el área norte de la Curvatura de Monterrey y la posible movilización de evaporitas entre el alóctono y el autóctono; b) en la misma dirección que el deslizamiento por décollement (al norte).

La Isla de San Carlos impidió el movimiento hacia el noreste del área sur produciendo las cabalgaduras Frontal y Secundaria; la primera puede ser considerada como una cabalgadura oblicua diestra (Figuras 8 y 9). Por otro lado, la Isla de Coahuila también impidió el movimiento de la secuencia sedimentaria desprendida, con la excepción de que posiblemente su borde sur tenía mucho menos inclinación que el borde occidental de la Isla de San Carlos, lo que ocasionó que los pliegues y fallas resultantes fueran menos prominentes y que se arquearan ligeramente hacia el noroeste, como los anticlinales de Sierra Hermosa, Cuauhtémoc, Chapultepec, Huachichil y El Muerto (Figura 9).

Los pliegues de la parte occidental del área sur (Las Hormigas, El Venado y El Jabalí; Figura 9) fueron arqueados aproximadamente en la misma dirección que el movimiento regional del décollement y su uniformidad en longitud de onda y amplitud se debe a que la mayoría de ellos casi no tiene variaciones litológicas en las secuencias estratigráficas que la constituyen.

Las fallas inversas y las cabalgaduras presentes en el área sur parecen ser contemporáneas al plegamiento. Sin embargo, es posible que el fallamiento fuera iniciado en las etapas finales del plegamiento, ya que en la mayoría de las estructuras del área sur se observa que casi todas las cabalgaduras están localizadas a lo largo de los flancos invertidos de los pliegues, lo cual sugiere que el fallamiento tuvo lugar inmediatamente después de que el plegamiento ocurrió.

Por otro lado, las fallas de transcurrencia presentes en la Curvatura de Monterrey, principalmente en el área sur, parecen haberse desarrollado después del plegamiento y del fallamiento inverso. La evidencia que sugiere esto es el hecho de que en la mayoría de las localidades, las fallas de transcurrencia se encuentran desfasando tanto a ejes de pliegues como a cabalgaduras (i. e. anticlinales de Sierra Borrada y El Labrador; Figura 9).

Las irregularidades en la topografía del basamento también influenciaron las formas de los pliegues en la Curvatura de Monterrey y en su parte nororiental. De este modo, el área de vergencia opuesta (Figuras 8 y 9) es interpretada aquí como el resultado de la influencia de la parte noroccidental del

área de basamento somero, la cual impidió parcialmente el movimiento hacia el noreste de la secuencia mesozoica desprendida, propiciando al mismo tiempo el recostamiento hacia el suroeste de los anticlinales de El Orégano, El Zorrillo y El Gateado (Figuras 9 y 10, sección 6-6'), así como también el amplio y largo Anticlinal de Potosí sobre el sitio del área de basamento somero.

El origen del Anticlinal de la Silla es controvertido, pero datos recientes de subsuelo (Alfonso-Zwansinger, 1976; Rivera, 1976; López-Ramos, 1979), así como reconstrucciones paleogeográficas (Padilla y Sánchez, 1982), sugieren que un alto del basamento (Isla de San Carlos) actuó como barrera, en contra de la cual solamente la parte central de este anticlinal fue recostada y cabalgada sobre el mencionado *horst* (Figuras 9 y 10, sección 4-4' y Figura 12).

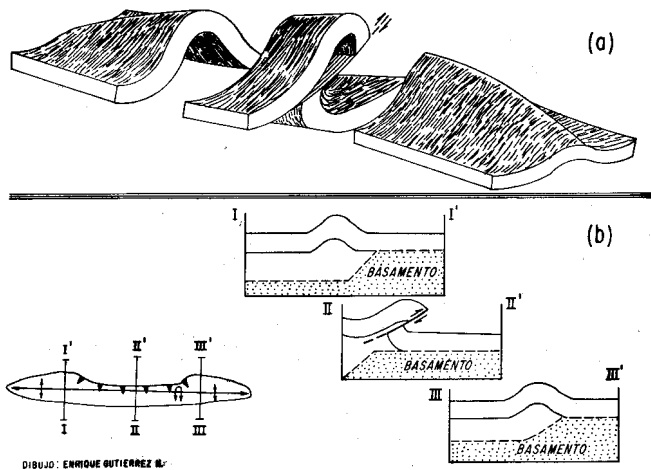


Figura 12.- a) Diagrama mostrando la estructura general del Anticlinal de La Silla; b) mapa y secciones idealizadas del Anticlinal de La Silla mostrando la posible posición relativa del borde occidental de la Isla de San Carlos (indicada como basamento) y su influencia en el origen de este pliegue.

Se considera aquí que los máximos esfuerzos de la Orogenia Laramide que deformaron las rocas mesozoicas de la Curvatura de Monterrey tuvieron lugar después del Paleoceno temprano, pero antes del Eoceno tardío. Las razones para asignar estos límites son: a) Que las formaciones mesozoicas más jóvenes que fueron plegadas y deformadas, Lutita Méndez y Grupo Difunta, contienen fósiles del Paleoceno temprano (Murray *et al.*, 1962; Padilla y Sánchez, 1978b); y b) Que la Formación Ahuichila (*molasse continental*) del Eoceno tardío-Oligoceno temprano (?) (Rogers *et al.*, 1961) descansa discordantemente sobre las rocas deformadas del Cretácico Tardío y Terciario temprano.

Sin embargo, las primeras pulsaciones del ciclo de la Orogenia Laramide podrían estar representadas (occidente de la Curvatura de Monterrey) por el levantamiento de la mayor parte del oeste y suroeste de México, lo cual causó el aporte de sedimentos terrígenos y clásticos de la Formación Caracol, la Lutita Parras y la Lutita Méndez y, muy probablemente, fue también la causa del inicio del *décollement* hacia el noreste de la secuencia sedimentaria mesozoica, hasta que ésta fue detenida por los altos del basamento, durante el lapso comprendido entre el Paleoceno tardío y el Eoceno temprano (Padilla y Sánchez, 1982).

## CONCLUSIONES

A través del estudio detallado de las estructuras de la Sierra Madre Oriental en el área de la Curvatura de Monterrey, se puede concluir que los pliegues, cabalgaduras, fallas inversas y fallas normales de esta región no son comparables con los de las montañas Apalaches, Jura o Las Rocallosas. Las cinco áreas de diferentes estilos estructurales que fueron identificadas en este trabajo *pueden ser individualmente comparadas con otras cadenas montañosas* pero, en conjunto, constituyen un sistema de estructuras muy particular.

Por ejemplo, el *área norte* de la Curvatura de Monterrey se caracteriza por su sistema de pliegues sinusoidales, simétricos y con planos axiales sensiblemente verticales, los cuales pueden ser comparados, parcialmente, con el Alto Atlas Marroquí (Tortochaux, 1962) o con las montañas Jura de Alemania (Pierce, 1966), pero difieren notablemente de estas cadenas montañosas, principalmente por la ausencia de metamorfismo y la escasez de cabalgaduras (Avenius, 1982).

Por otro lado, el *área sur*, *área de basamento somero* y *área de vergencia opuesta* tienen características estructurales (pliegues recostados, en ocasiones isoclinales, simétricos y asimétricos y numerosas fallas inversas) que son semejantes a las de los Cárpatos Orientales (Burchfield y Royden, 1982) (Figura 5); pero no pueden ser comparados con las Montañas Rocallosas Canadienses (Price y Mountjoy, 1970), con los Apalaches, en la región llamada Blue Ridge (Boyer y Elliot, 1982), ni con las Montañas Jura Orientales (Laubscher, 1977) y mucho menos con los Alpes Franceses (Tardy, 1980).

Por último, el *área de la Sierra de La Silla* es considerada aquí como una excepción, ya que su estilo estructural es totalmente diferente a los demás y su origen es interpretado como el resultado de la influencia directa del basamento de la Isla de San Carlos.

Así, la Curvatura de Monterrey en su conjunto es una parte de la Sierra Madre Oriental que tiene características estructurales propias, muy diferentes de las de áreas vecinas, como por ejemplo las Sierras Transversas situadas entre Torreón y Monterrey, en donde abundan las cabalgaduras y los pliegues isoclinales (Tardy, *op. cit.*); o bien de los alrededores de la Plataforma de Valles-San Luis Potosí, donde es característico observar pliegues *kink* y cabalgaduras de poco desplazamiento (Suter, 1982), muy similares a las del Jura Oriental (Laubscher, 1977).

Algunos autores han contemplado a la Sierra Madre Oriental como la continuación meridional de la Faja Orogénica Cordillerana (Drewes, 1978; Coney, 1983), atravesando México longitudinalmente, para apoyar modelos de tectónica de placas. Sin embargo, debido a la falta de información geológica, detallada y regional, así como también a lo restringido de la información geofísica, se han hecho interpretaciones que extrapolan estructuras y correlacionan secuencias estratigráficas de una forma especulativa. Un ejemplo de esto es que se ha considerado a la Curvatura de Monterrey y a las Sierras Transversas como parte de la Faja Orogénica Cordillerana (Coney, *op. cit.*, lám. 7, p. 14); pero sin considerar que ni las litologías, ni los estilos estructurales son siquiera similares.

Desafortunadamente la información publicada acerca de la naturaleza y geometría del basamento de esta región es muy escasa y no permite efectuar una evaluación más exacta de éste. Hasta la fecha, en el área de la Curvatura de Monterrey que fue estudiada para este trabajo, no se ha perforado



pozo alguno que haya alcanzado o no el basamento. Los únicos pozos que han penetrado el basamento en áreas cercanas a la Curvatura de Monterrey han sido perforados en la Cuenca de Parras (Mayran-1 y Paila-1), o en la Planicie Costera del Golfo (Benemérito-1, Trincheras-1 y Linares-1) (Rivera, 1976), lo cual no es suficiente para poder hacer una interpretación del basamento, con la sola excepción de que se sabe que la profundidad del basamento en la Cuenca de Parras es del orden de 3,000 m y al oriente de la Sierra Madre Oriental, entre Monterrey y Linares (Isla de San Carlos) es de 3,500 m, respecto al nivel del terreno.

La información geofísica también es escasa y por lo general inaccesible al público, pues en su gran mayoría ha sido generada por Petróleos Mexicanos y es considerada para uso interno de esa empresa. Entre lo poco que se ha dado a conocer últimamente, se encuentra una configuración de la profundidad del basamento respecto al nivel del mar, en el área de las Sierras Transversas situadas entre Torreón y Monterrey (Eguiluz y Aranda, 1983), que queda fuera del área de este estudio. Por estas razones no se ha incluido aquí una interpretación del basamento y sólo se ha bosquejado la geometría que éste pudiera tener.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los Dres. A. W. Bally de la Universidad de Rice y L. M. Mitre-Salazar del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, por sus valiosos y oportunos comentarios a este artículo.

#### REFERENCIAS CITADAS

- Avenius, C. G., 1982, Tectonics of the Monterrey Salient, Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico: *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 66, p. 544 (resumen).
- Alfonso-Zwanzinger, Jesús, 1976, Geología regional del sistema sedimentario Cupido: México, III Symp. Geología del Subsuelo, Zona Noreste, PEMEX, Reynosa, p. 134-159.
- Belcher, R. C., 1979, Depositional environments, paleomagnetism, and tectonic significance of Huizachal red beds (lower Mesozoic), northeastern Mexico: Austin, Univ. Texas at Austin, disertación doctoral, 276 p. (inédita).
- Boyer, S. E., y Elliot, D., 1982, Thrust systems: *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 66, p. 1196-1230.
- Burchfield, B. C., y Royden, L., 1982, Carpathian foreland fold and thrust belt and its relation to Pannonian and other basins: *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 66, p. 1179-1195.
- Coney, P. J., 1983, Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe: *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, v. 15, p. 6-15.
- Cserna, Zoltan de, 1956, Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey: México, D. F., *Cong. Geol. Internal.*, 20, monogr., 87 p.
- Díaz-González, Teodoro, 1951, Sección geológica a través de la Sierra Madre Oriental entre Linares y Galeana, N. L.: México, D. F., PEMEX, Reporte Interno, núm. 358 (inédito).
- Drewes, Harald, 1978, The Cordilleran Orogenic Belt between Nevada and Chihuahua: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 89, p. 641-657.
- Eguiluz de Antuñano, S., y Aranda-García, M., 1983, Posibilidades económico-petroleras en rocas clásticas del Neocomiano en la margen sur de la Paleo-Isla de Coahuila: *Revista de la Asoc. Ings. Petrol. México*, 20 Convención Villahermosa, Tab., Mayo 18-23, 1983 (en prensa).
- González-G., R., 1976, Bosquejo geológico de la Zona Noreste: México, III Symp. Geología del Subsuelo, Zona Noreste, PEMEX, Reynosa, p. 5-30.
- Haarmann, Erich, 1917, Zur tektonischen Geschichte Mexikos: *Zentralbl. f. Min. Geol. u. Pal.*, p. 176-179.
- Humphrey, W. E., 1956, Tectonic framework of northeast Mexico: *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, v. 6, p. 25-35.
- Laubscher, H. P., 1977, Fold development in the Jura: *Tectonophysics*, v. 37, p. 337-362.
- López-Ramos, Ernesto, 1979, Geología de México: México, D. F., t. 2, 454 p.
- McBride, E. F., Weidie, A. E., Wolleben, J. A., y Laudon, R. C., 1974, Stratigraphy and structure of the Parras and La Popa Basins, northeastern Mexico: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 85, p. 1603-1622.
- Moor, A., 1980, Stratigraphy and structure of Potosí Anticline, Nuevo León, México: Austin, Univ. Texas at Austin, tesis de maestría, 116 p. (inédita).
- Murray, G. E., Weidie, A. E., Boyd, D. R., Forde, R. H., y Lewis, P. D., Jr., 1962, Formational divisions of Difunta Group, Parras Basin, Coahuila and Nuevo León, Mexico: *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 46, p. 374-383.
- Padilla y Sánchez, R. J., 1978a, Geología y estratigrafía (Cretácico Superior) del límite suroeste del Estado de Nuevo León: Univ. Nal. Autón. México, *Inst. Geología, Revista*, v. 2, p. 37-44.
- 1978b, Bosquejo geológico-estructural de la Sierra Madre Oriental en el área de Linares-Galeana-San Roberto, Estado de Nuevo León: Univ. Nal. Autón. México, *Inst. Geología, Revista*, v. 2, p. 45-54.
- 1982, Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo, and Monterrey, Mexico: Austin, Univ. Texas at Austin, disertación doctoral, 217 p. (inédita).
- Pierce, W. G., 1966, Jura tectonics as a décollement: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 77, p. 1265-1276.
- Price, R. A., y Mountjoy, 1970, Geologic structure of the Canadian Rocky Mountains between Bow and Athabasca Rivers-Progress Report: *Geol. Assoc. Canada, Spec. Papers* 6, p. 7-25.
- Rivera-J., J., 1976, Estudios geofísicos del Jurásico, Franja Oriental, Península Burro-Picachos: México, III Symp. Geología del Subsuelo, Zona Noreste, PEMEX, Reynosa, p. 217-229.
- Rogers, C. L., Cserna, Zoltan de, Vloten, Rogelio van, Tavera-Amezcuza, Eugenio, y Ojeda-Rivera, Jesús, 1961, Reconocimiento geológico y depósitos de fosfatos del norte de Zacatecas y áreas adyacentes en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí: *Cons. Recursos Nat. No Renovables (México)*, Bol. 56, 322 p.

- Suter, Max, 1982, Tectonics of the external part of the Sierra Madre Oriental foreland thrust-and-fold belt between Xilitla and the Moctezuma River (Hidalgo and San Luis Potosí States): Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 4, p. 19-31.
- Tardy, Marc, 1980, Contribution à l'étude géologique de la Sierra Madre Orientale du Mexique: París, Univ. Pierre et Marie Curie, tesis doctoral, 459 p. (inédita).
- Tavera-Amezcuca, Eugenio, 1960, Yacimientos de barita en el distrito de Galeana, Nuevo León: Cons. Recursos Nat. No Renovables (México), Bol. 55, 70 p.
- Tortochaux, F., 1962, Occurrence and structure of evaporites in North Africa: Geol. Soc. America, Spec. Papers, 88, p. 107-138.