

LAS IMAGENES LANDSAT — UNA HERRAMIENTA UTIL EN LA INTERPRETACION GEOLOGICO-ESTRUCTURAL; UN EJEMPLO EN EL NORESTE DE MEXICO

Luis Miguel Mitre-Salazar*

RESUMEN

Se presentan los resultados de la interpretación geológica de una imagen LANDSAT, en una porción de la Sierra Madre Oriental en el noreste de México. El objetivo es la interpretación del significado geológico de los lineamientos inventariados en la imagen. Sin embargo, por limitaciones de escala, en muchas ocasiones no fue posible reconocer estos lineamientos en el campo, por lo que se les denomina como discontinuidades estructurales.

Comparando la disposición de los lineamientos reconocidos con las estructuras geológicas presentes en la región, se demuestra su relación. Por otra parte, se sugiere la presencia de un sistema de fallas de desplazamiento lateral siniestral, cuya traza principal coincide con el "Lineamiento Saltillo-Ramos Arizpe", el cual pudiera corresponder a una reactivación de estructuras del basamento. La interpretación que se presenta difiere en algunos casos de la propuesta por McBride y colegas (1974).

RESUME

On présente les résultats de l'interprétation géologique d'une image LANDSAT, dans une portion de la Sierra Madre Oriental au nord-est du Mexique. Le but c'est l'interprétation du signification géologique des lineaments reconnus dans l'image. Néanmoins, au plusieurs reprises, par des limitations d'échelle, leur reconnaissance sur le terrain fut impossible, raison pour laquelle on peut les nommer comme discontinuités structurales.

En comparant la disposition des lineaments reconnus avec les structures présentes dans la région, il est possible de démontrer sa relation. D'autre part, on suggère l'existence d'un système de failles décrochantes sénestre, dont la trace principale coïncide avec le "Lineament Saltillo-Ramos Arizpe" lequel pourrait correspondre à un jeu des structures du socle. L'interprétation présentée diffère dans certains cas avec celle proposée par McBride et ses collègues (1974).

INTRODUCCION

Este artículo presenta los resultados de la interpretación estructural de una porción de la Sierra Madre Oriental, a partir de una imagen del Satélite LANDSAT (esc. 1:1,000,000). La región cubierta por la imagen es de 34,000 km² aproximadamente y en ella quedan comprendidas, entre otras, las ciudades de Monterrey, Nuevo León, Saltillo y Monclova, Coahuila (Figura 1).

La importancia de la utilización de las imágenes de satélite como un auxiliar en los trabajos geológicos ha sido ampliamente demostrada (Bodechtel y Gierloff, 1974). El uso más frecuente de las imágenes en relación con la geología ha sido el de la detección de rasgos lineares en la superficie de la Tierra. Estos se reconocen directamente como líneas bien definidas entre superficies contrastadas totalmente, o bien por el alineamiento de rasgos topográficos o hidrográficos. En principio, se puede aceptar que algunos de estos rasgos correspondan a obras civiles (líneas de transmisión eléctrica, caminos, vías férreas, etc.), pero muchos (tal vez la mayoría) son de naturaleza geológica. Estas líneas, llamadas comúnmente lineamientos, varían en dimensión de algunos cuantos a varios cientos de kilómetros.

Para el caso de este estudio, además de los lineamientos inventariados, es posible reconocer con cierta claridad estructuras como pliegues, fallas y fracturas (Figura 2).

El objetivo de esta interpretación estructural consiste en tratar de explicar el significado geológico de los lineamientos detectados. En algunos casos fue posible reconocer en el campo la naturaleza de ellos, mientras que en otros no se encontraron evidencias, aunque se manifiestan en la mayoría de los casos como discontinuidades estructurales.

ESTUDIOS PREVIOS

Existen numerosos estudios geológicos realizados en la región de estudio. Entre ellos, por su carácter de síntesis regional, conviene men-

cionar los de de Cserna (1956), Humphrey (1956), López-Ramos (1972), McBride y colegas (1974), Tardy y colegas (1975), Tardy (1980) y varios informes inéditos de Petróleos Mexicanos y la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Toda esta información y otros artículos de carácter local, como el de Krutak (1967) en la Sierra de la Gavia y los de Bishop (1970, 1972) en la Sierra de Picachos, sirvieron de base para la compilación geológica (Figura 3). Los números que aparecen en ésta ubican la columna estratigráfica respectiva en la Figura 4.

La interpretación estructural que se propone presenta algunas diferencias con la información disponible, existiendo discrepancias notables sobre todo con la interpretación estructural propuesta por McBride y colegas (1974).

MARCO ESTRATIGRAFICO

Las unidades litoestratigráficas presentes en la región de estudio, se pueden agrupar en dos grandes conjuntos: el primero se caracteriza por depósitos marinos con un alcance estratigráfico desde el Jurásico Superior hasta la parte baja del Paleoceno; y el segundo, de naturaleza continental, corresponde a depósitos de edad terciaria y cuaternaria.

De una manera general se puede afirmar que las rocas del primer conjunto representan un depósito continuo en el intervalo considerado. Litológicamente, este conjunto está constituido, en su parte inferior (Jurásico Superior-Cenomaniano) por una unidad basal de yesos y/o anhidritas sobre las cuales descansa una potente secuencia de rocas carbonatadas, la cual muestra algunos intervalos con influencia de terrígenos (Kimmeridgiano-Portlandiano; Berriasiano-Barremiano inferior; Aptiano superior). Hacia su parte superior, el conjunto muestra una mayor influencia de terrígenos y las rocas carbonatadas se vuelven menos abundantes, para llegar hacia la cima con el desarrollo de un depósito de tipo flysch. La parte inferior de este conjunto marino se encuentra, por lo general, formando las sierras, en tanto que la mitad superior se distribuye preferencialmente en las partes bajas formando los valles. Una excepción a lo anterior-

* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D. F.

mente expuesto es la distribución de los depósitos de tipo flysch, los cuales presentan una amplia distribución en la parte central de la región (Figura 3), manifestando una evidente diferencia morfológica con respecto a la parte inferior del conjunto marino. Tanto la naturaleza de las rocas que constituyen esta secuencia, como su ubicación relativa en la columna (Figura 4), podrían explicar las diferencias en los estilos de deformación.

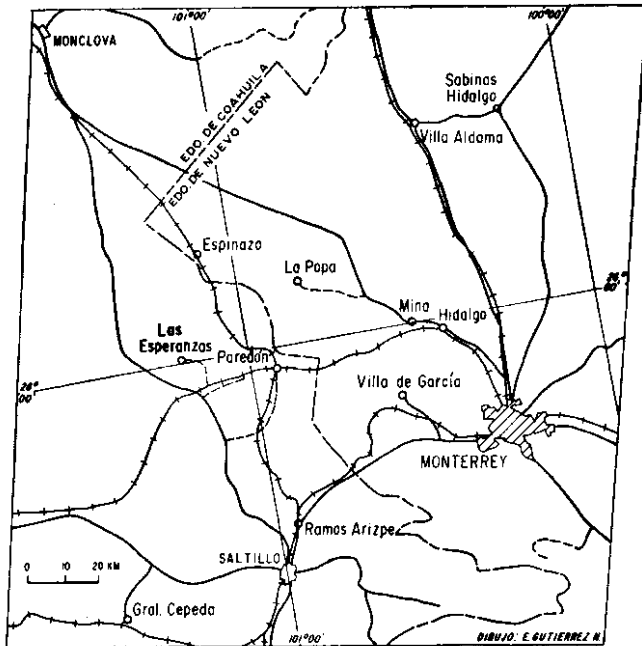


Figura 1.- Localización del área de estudio.

El conjunto de los depósitos continentales, por su parte, corresponde a unidades pobremente consolidadas, constituidas esencialmente por gravas, arenas y arcillas. Los depósitos terciarios se encuentran dispuestos discordantemente sobre las rocas marinas mesozoicas. La naturaleza litológica de sus constituyentes indica que la fuente de suministro fue el conjunto de rocas marinas previamente deformadas.

Los depósitos cuaternarios se presentan en abanicos aluviales, asociados estrechamente con las sierras, o en las llanuras aluviales con una distribución más amplia. Resulta oportuno mencionar que la presencia de este tipo de depósitos dificulta el reconocimiento preciso de muchos de los lineamientos inventariados y la observación detallada del contacto entre las unidades superiores del conjunto marino.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en la interpretación de esta imagen consistió, en su primera fase, en la observación sistemática de la misma, utilizando para ello impresiones en papel película del negativo y positivo a la escala 1:1,000,000, las cuales facilitaron grandemente la observación y comparación de los rasgos geológicos detectados.

Posteriormente, se realizó un inventario de lineamientos y curvilineamientos (Figura 5), el cual fue hecho conjuntamente por el Ing. Igor Restovic y el autor, con el fin de tratar de eliminar el elemento subjetivo, que necesariamente se introduce en la interpretación de imágenes de satélite. En este inventario, se detectaron 429 lineamientos, los cuales corresponden a los más evidentes y principales, entendiendo por estos últimos los de mayor longitud.

Durante la segunda etapa, los diferentes rasgos geológicos, tales como unidades de roca, fallas y pliegues, fueron detectados, y su exis-

tencia reveló la revisión de la bibliografía geológica sobre esta región. Se vaciaron estos rasgos sobre la imagen de satélite (Figura 2). A partir de estos detalles se pudieron delimitar algunas áreas, las cuales presentaban, sobre todo, problemas de carácter estructural. En general, todas estas áreas se eligieron teniendo en cuenta la discontinuidad aparente de las unidades de roca, o bien por la disposición anómala de algunas estructuras (e.g. pliegues). Estas áreas fueron posteriormente verificadas en el campo y la información obtenida, aunada a la recopilación, permitió en algunos casos dar una explicación sobre la naturaleza de los lineamientos presentes en ellas.

Resulta oportuno insistir en la magnitud de la región cubierta y en el gran número de lineamientos inventariado, dejando claro que muchos de ellos no pueden por esta razón ser observados claramente en el campo y que el objetivo de este tipo de análisis e interpretación no es de manera alguna la verificación exhaustiva de los lineamientos lo cual, obviamente, además de ser una tarea por demás laboriosa, resulta igualmente onerosa.

Con toda esta información, en la etapa final se hizo un análisis estadístico del total de lineamientos y su posible relación con rasgos geológicos, lo cual constituye la esencia de esta investigación.

ANÁLISIS DE LINEAMIENTOS

Con el fin de poder relacionar los lineamientos inventariados (Figura 5) con algunos rasgos geológicos, se analizó la distribución de los mismos, tomando en cuenta los parámetros de orientación y magnitud. El análisis de frecuencia de las direcciones se hizo para determinar las orientaciones azimutales dominantes de los lineamientos detectados en la imagen y estudiar la distribución geográfica de estas orientaciones y su origen geológico.

Resulta difícil y consume mucho tiempo la verificación de campo de cada lineamiento. Por ello, es costumbre en este tipo de interpretaciones, para poder analizar una gran superficie con estos rasgos, llevar a cabo un estudio estadístico de las orientaciones de los lineamientos y determinar después sus relaciones con estructuras geológicas, lo cual generalmente se hace apoyándose en sistemas automáticos de procesamiento de datos (computadoras).

La Figura 6 muestra gráficamente la distribución del total de los lineamientos de acuerdo a su orientación. Los lineamientos ubicados en el cuadrante NE, constituyen el 46.16% del total; en él se pueden reconocer tres grupos de máxima concentración, correspondiendo con las orientaciones siguientes: N10°E a N20°E; N30°E a N40°E y N60°E a N80°E. Por lo que toca al cuadrante NW, en él se agrupa el 53.84% del total de los lineamientos y en el mismo la distribución de los lineamientos se hace menos evidente en cuanto a una concentración máxima de ellos. De esta manera, sólo se reconoce un grupo de máxima concentración entre N0° a N40°W. La distribución espacial de estos máximos en los dos cuadrantes considerados se muestra en la Figura 7. El resto de los lineamientos inventariados no se incluye en esta figura para facilitar el análisis; sin embargo, necesariamente deben de tener una explicación geológica.

Por lo que toca al análisis de lineamientos por su magnitud, se pudo reconocer que en promedio, las longitudes en el cuadrante NW son mayores que las del cuadrante NE (Figura 8). La Figura 9 presenta la distribución espacial de los lineamientos de los cuadrantes NE y NW, respectivamente, cuyas magnitudes son iguales o superiores al valor de las medias correspondientes. De manera similar a la expuesta en el análisis de las orientaciones, los lineamientos cuyas magnitudes son inferiores a la media son importantes en tanto que deben tener una relación con rasgos geológicos; sin embargo, tampoco serán considerados para facilitar la interpretación geológica.

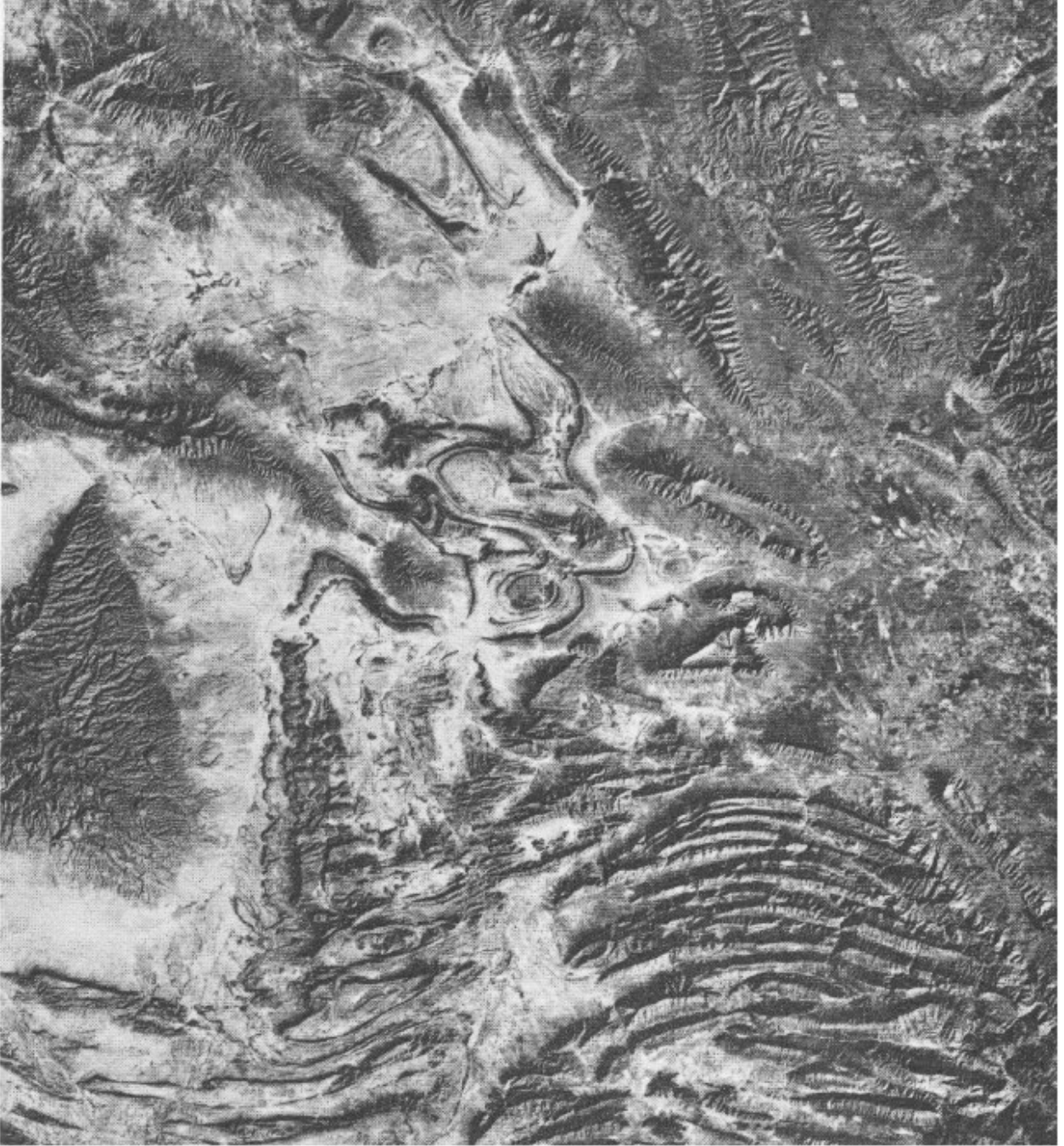


Figura 2.- Fotografía de la imagen de satélite (escala aprox. 1:1,000,000).

MITRE-SALAZAR

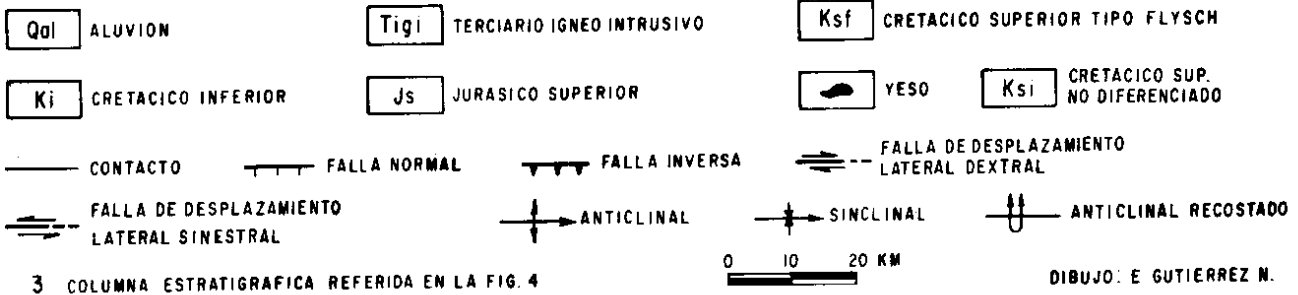
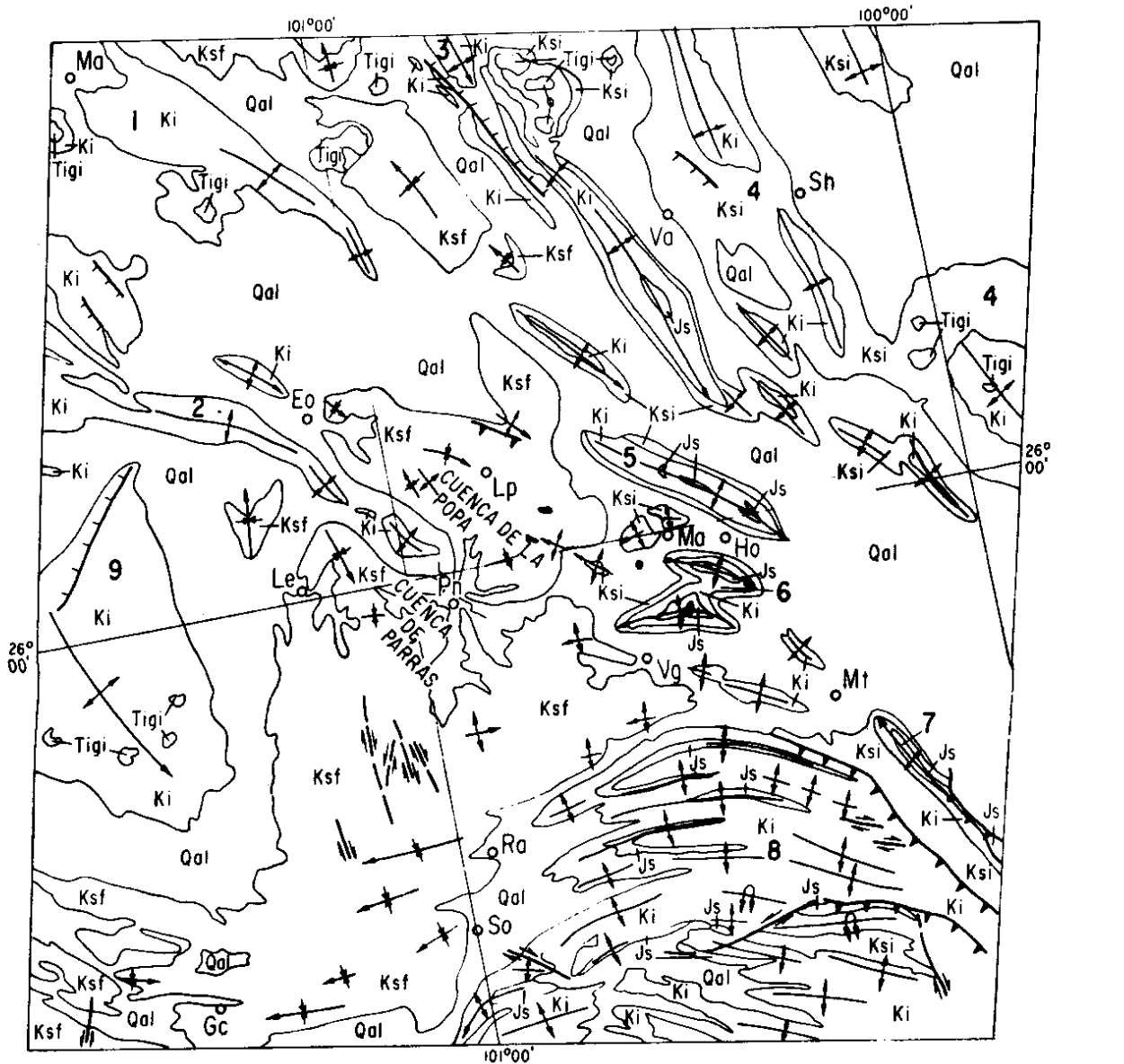


Figura 3.- Compilación geológica del área de estudio.

		SIERRA DE LA GLORIA 1	SIERRA DE LA GAVIA 2	SIERRA DE PAJAROS AZULES 3	SIERRA DE PICACHOS Y LAMPAZOS 4	SIERRA DE MINAS VIEJAS 5	SIERRA DEL FRAILE 6	SIERRA DE LA SILLA 7	SIERRA DE LOS MUERTOS 8	SIERRA DE LA PAILA 9
CRETACICO SUPERIOR	65	MAESTRICHTIANO	GRUPO DIFUNTA	F. ESCONDIDO F. OLMO F. SAN MIGUEL ARCILLA UPSON	LUTITA MENDEZ	GRUPO DIFUNTA	LUTITA MENDEZ	LUTITA MENDEZ	GRUPO DIFUNTA	
	70	CAMPANIANO								
	75									
	80	SANTONIANO	F. AUSTIN	LUTITA PARRAS	F. AUSTIN	FORMACION SAN FELIPE	F. AUSTIN	LUTITA PARRAS	FORMACION SAN FELIPE	LUTITA PARRAS
	85	CONIACIANO		F. AUSTIN			LUTITA PARRAS			
CRETACICO INFERIOR	90	TURONIANO	F. EAGLE FORD	F. EAGLE FORD	F. EAGLE FORD	FORMACION AGUA NUEVA	FORMACION INDIDURA	F. EAGLE FORD	FORMACION AGUA NUEVA	FORMACION INDIDURA
	95	CENOMANIANO								
	100		GRUPO WASHITA	GRUPO WASHITA	GRUPO WASHITA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA	F. CUESTA DEL CURA
		SUPERIOR								
		MEDIO	F. KIAMICHI		F. KIAMICHI	F. KIAMICHI				
CRETACICO INFERIOR		ALBIANO	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	FORMACION TAMAULIPAS	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA	CALIZA AURORA
		INFERIOR								
		GARGASIANO		FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA
		BEDULIANO		FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA
		BARREMIANO		FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA
		HAUTERIVIANO		LUTITA LA MULA	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	FORMACION CUPIDO	SERIE	FORMACION CUPIDO
		VALANGINIANO		ARCOSA PATULA	FORMACION BARRIL VIEJO					
		BERRIASIANO			FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	FORMACION TARAISES	COAHUILA	FORMACION TARAISES
		PORTLANDIANO			GRUPO LA CASITA		GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA	GRUPO LA CASITA
	JURASICO SUPERIOR		KIMMERIDGIANO							
		ARGOVIANO			CALIZA ZULOAGA		CALIZA ZULOAGA		CALIZA ZULOAGA	
		DIVESIANO				YESO MINAS VIEJAS		YESO MINAS VIEJAS		YESO MINAS VIEJAS

LOS NUMEROS INDICAN LA UBICACION DE LAS COLUMNAS EN LA FIGURA 3. LAS LINEAS OBLICUAS INDICAN FALTA DE CONOCIMIENTO Y LAS VERTICALES HIATUS

DIJUBO: E. GUTIERREZ N.

Figura 4.- Columnas estratigráficas de algunas localidades del área de estudio.

INTERPRETACION ESTRUCTURAL

En manera similar que para el caso de la estratigrafía, se considera que es importante recopilar la información cartográfica disponible de las diferentes estructuras para utilizarla en la interpretación aquí propuesta. La Figura 3 corresponde al mapa geológico de esta recopilación y tiene también como base la imagen de satélite que se muestra en la Figura 2. La observación en detalle de estas dos figuras permite señalar varios rasgos.

Un primer rasgo que salta a la vista es la expresión morfológica diferente de las sierras, la cual se explica como debida a las diferencias litológicas y a los diferentes estilos de deformación. Se observan pliegues anticlinales y sinclinales, fracturas y fallas de naturaleza diversa y con orientaciones variadas. Tomando en cuenta la orientación en que se disponen los pliegues y las características litoestratigráficas de las unidades presentes, se pueden reconocer cuatro grandes áreas (Figura 10):

Area I: Desde el punto de vista estratigráfico, se encuentra representado el conjunto marino mesozoico (Columnas 5 y 6, Figura 4). Estructuralmente

el área se caracteriza por la disposición de pliegues anticlinales en forma aislada, orientados regularmente según una dirección NW-SE.

Area II: Las unidades litoestratigráficas que afloran en esta área (Columna 9, Figura 4) corresponden únicamente a una parte del conjunto marino mesozoico. La estructura más evidente es el pliegue anticlinal de la Sierra de la Paila, cuyo plano axial tiene un rumbo NW-SE.

Area III: En esta área afloran las unidades litoestratigráficas correspondientes a la parte superior del conjunto marino mesozoico; es decir, a los depósitos de tipo flysch (Columna 8, Figura 4). Los pliegues se orientan preferencialmente en la dirección E-W, sobre todo en su parte meridional; al norte, sin embargo, existen pliegues con orientación casi N-S.

Area IV: En esta última área afloran prácticamente todas las unidades litoestratigráficas del conjunto marino mesozoico, con excepción de la unidad más reciente (Columna 8, Figura 4). Estructuralmente se diferencia de las otras áreas por el agrupamiento de pliegues anticlinales y sinclinales, los cuales presentan una orientación general E-W.

El hecho más notable y que debe resaltarse en esta subdivisión es la diversidad en la orientación de los pliegues, la cual pudiera sugerir que las relaciones entre las diferentes unidades litoestratigráficas son estructurales y no estratigráficas y transicionales como ha sido considerado hasta el momento.

Por otra parte, si se analiza la distribución de los lineamientos de las Figuras 7 y 9, en las cuatro áreas de la subdivisión anterior

(Figura 10) se puede observar que en cada una de ellas los lineamientos muestran orientaciones y longitudes diferentes. De esta forma, el área I se caracteriza por la presencia de lineamientos orientados, en general, según una dirección NW-SE y con longitudes superiores a los 10 km. En el área II, los lineamientos presentan una orientación similar a la del área I, diferenciándose de los anteriores por su menor longitud y por una distribución más concentrada. En el área III no existe una orientación preferencial de los lineamientos, siendo éstos poco numerosos; en cuanto a su longitud, es similar a los del área I. Finalmente, el área IV se caracteriza por una predominancia de lineamientos orientados en una dirección E-W y sensiblemente NE-SW, y una cantidad menor según una orientación NW-SE; predominan en esta área los lineamientos de longitud moderada del orden de algunas decenas de kilómetros.

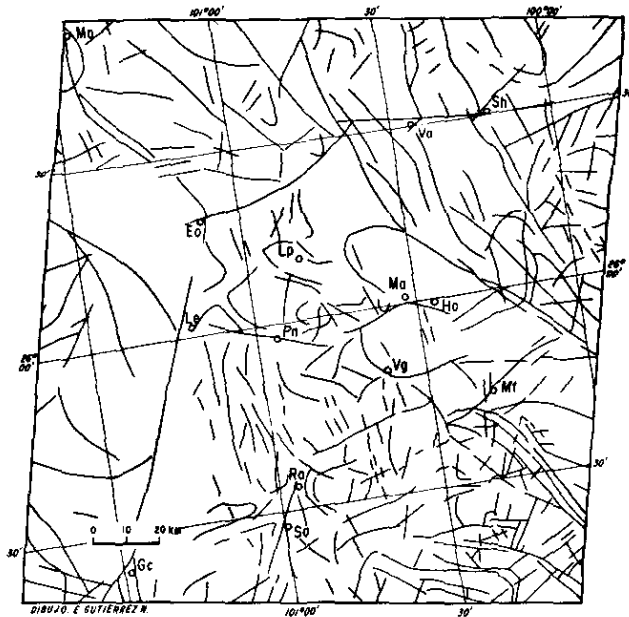


Figura 5.- Inventario de lineamientos de la imagen de satélite.

Considerando lo anterior, se puede establecer una primera relación coincidente entre los lineamientos y las estructuras; es decir, toda la región puede ser dividida según sus características litoestratigráficas y estructurales. Esta subdivisión, como se ha señalado, puede hacerse también en base de las diferentes orientaciones y longitudes de los lineamientos.

La confirmación de la existencia de algunos rasgos estructurales en el campo, observados previamente en la imagen, le da al uso de ésta una gran importancia como herramienta para la planeación de estudios geológicos.

Las áreas que fueron examinadas con cierto detalle coincidieron en su mayor parte con zonas de afloramiento de los depósitos flysch del Cretácico Superior (área II, Figura 10). Para este caso particular, se tomaron en cuenta los estudios publicados de Weidie y Murray (1967), Wolleben y colaboradores (1970) y McBride y colegas (1974), que versan sobre la geología de algunas partes de esta región. Sin embargo, en la opinión del presente autor, existen algunas estructuras que no fueron reconocidas en estos documentos. Tal es el caso de las fallas de desplazamiento horizontal reconocidas en las inmediaciones occidentales de Ramos-Arizpe, Coahuila, en el área de Las Esperanzas, Coahuila y en el Puerto Blanco, al oriente de Espinazo, Nuevo León (Figura 11). La presencia de este tipo de fallas, que coinciden en algunos casos con lineamientos observados en la imagen de

satélite, fue verificada en el campo por la existencia de estrías sensiblemente horizontales en los planos de falla y por la presencia de pliegues con plano axial sensiblemente vertical.

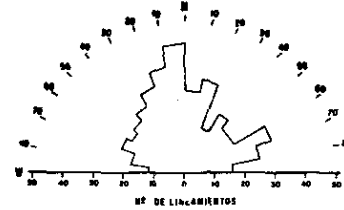


Figura 6.- Distribución de los lineamientos de acuerdo a su orientación.

El arreglo que resulta con la presencia de estas fallas y otras asociadas (inversas), complementa las estructuras cartografiadas por McBride y colaboradores (1974). Sin embargo, en otras localidades se detectaron zonas con problemas estructurales mayores. En particular, en lo que se refiere a los límites propuestos por McBride y colegas (*op. cit.*) para diferenciar a las llamadas cuencas de Parras y La Popa, los cuales, según la cartografía de los autores mencionados, corresponden a cambios de facies entre las diferentes unidades litoestratigráficas propuestas por ellos. El análisis detallado de la imagen de satélite (Figura 2) permitió reconocer en la zona limítrofe entre las cuencas de Parras y de La Popa (Figura 3) la presencia de lineamientos, los cuales en el campo generalmente se manifiestan por discontinuidades estructurales, sin poder precisar con mayor detalle su naturaleza. Es probable que estudios más detallados puedan aportar información adicional al respecto. En opinión del presente autor, aún en el caso de aceptar la existencia de zonas de cambio de facies entre las cuencas mencionadas, éstas necesariamente deben estar oscurecidas, cuando menos por la deformación.

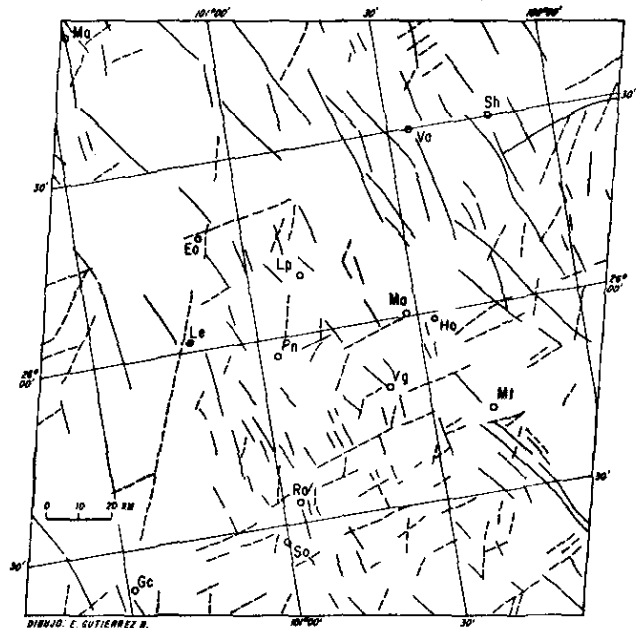


Figura 7.- Distribución espacial de los lineamientos de acuerdo a las máximas concentraciones mostradas en la Figura 6.

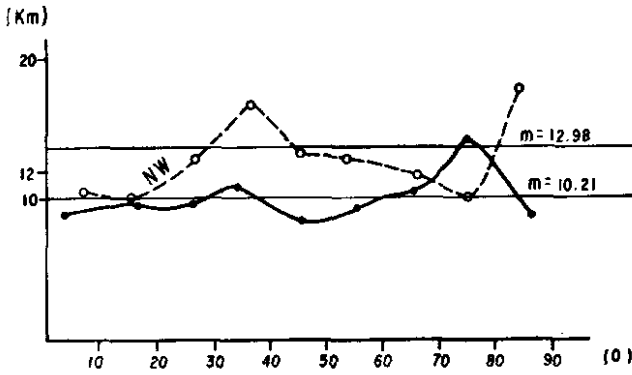


Figura 8.- Distribución gráfica de las longitudes de los lineamientos en los rangos de máxima concentración mostrados en la Figura 6.

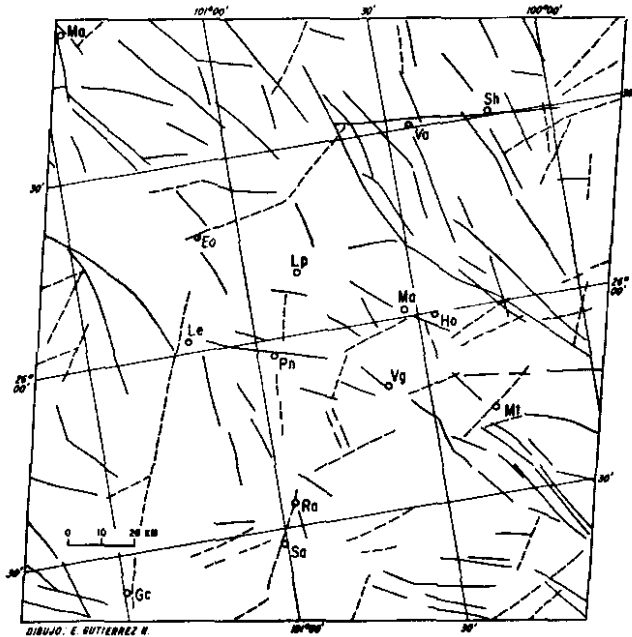


Figura 9.- Distribución espacial de los lineamientos NE y NW, cuyas magnitudes son iguales o superiores al valor de la media.

Desde el punto de vista del estilo de deformación a partir de la imagen, es notoria la diferencia que existe entre las estructuras de la Sierra Madre Oriental y las que se observan en las cuencas de Parras y La Popa.

En el primer caso, se ha reconocido desde hace mucho tiempo que todas estas estructuras conforman un anticlinorio (de Cserna, 1956), en el cual los pliegues anticlinales son más o menos simétricos (excepto en el frente septentrional) y con una orientación de sus planos axiales sensiblemente E-W.

En el segundo, las estructuras dominantes son sinclinales, en general también con una disposición simétrica y con orientaciones sensiblemente paralelas a los pliegues de la Sierra Madre Oriental; sin embargo, existen otros, como se ha mencionado anteriormente, con orientaciones casi perpendiculares a los primeros.

Desde el punto de vista morfotectónico, se piensa que las estructuras de las dos áreas anteriormente mencionadas son el resultado de una evolución independiente y el límite entre ellas pudiera corresponder a una zona importante de discontinuidad estructural. Esto lo explica la naturaleza distinta de las rocas que las forman y las características de las rocas adyacentes; esto último es aplicable sobre todo en el caso de las cuencas de Parras y de La Popa. Al observar

la Figura 4, se aprecia que las rocas que subyacen a los depósitos flysch del Cretácico Superior corresponden esencialmente a una potente secuencia de lutitas la cual, en opinión del autor, pudo haber servido como nivel de desprendimiento para que los depósitos flysch resbalaran y se comportaran estructuralmente de manera un tanto independiente de la secuencia subyacente que aflora en la Sierra Madre Oriental que, como se sabe, está constituida fundamentalmente por rocas calcáreas con algunos intervalos pelíticos en distintos niveles. Sin embargo, esta interpretación aún no ha sido comprobada en el campo.

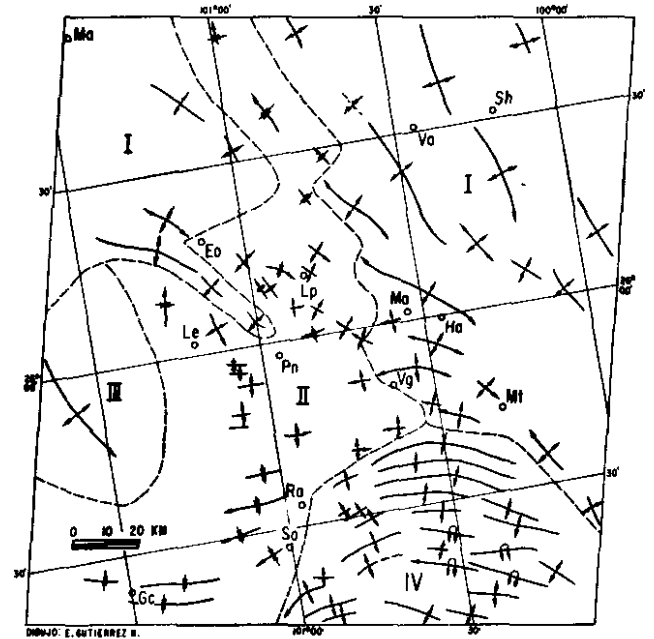


Figura 10.- Diferenciación estratigráfica y estructural de cuatro grandes sectores en el área de estudio.

Otro rasgo estructural notable a partir de la imagen corresponde a la curvatura de la Sierra Madre Oriental, entre las ciudades de Saltillo, Coahuila y Monterrey, Nuevo León, la cual puede ser interpretada, aún sin tener mayores evidencias, como una discontinuidad estructural importante. En efecto, esta curvatura (área IV, Figura 10) se opone estructuralmente a las direcciones de los pliegues del área I (Figura 10).

Tomando en cuenta la disposición de los lineamientos de la Figura 9, se observa que ambas áreas se encuentran separadas por un lineamiento importante, el "Lineamiento Saltillo-Ramos Arizpe", con una dirección NE-SW.

La relación estructural entre estas dos áreas se apoya en la presencia de flexiones en la zona limítrofe entre ellas. Así, en el área II la flexión es cóncava hacia el norte, mientras que en el área IV es convexa hacia el norte. De esta manera, tanto las flexiones como el lineamiento sugieren para esta zona la presencia de una falla. Utilizando el método de Mackin (1950) para la observación de mapas geológicos, la falla puede ser clasificada como de desplazamiento horizontal siniestral. Por otro lado, las características estratigráficas son, como se ha visto, diferentes en ambas áreas.

Lo anterior, aunado a la existencia de pliegues "en échelon" en la Sierra Madre Oriental (de Cserna, 1956) y en el límite oriental de las cuencas de Parras y de La Popa, permiten pensar que esta disposición corresponda a un modelo de falla de desplazamiento horizontal (como componente principal) siniestral. A partir de esta falla principal, se generarían otras fallas de desplazamiento horizontal de segundo orden, dextrales y siniestras, que se han reconocido en el área. La relación entre ellas (Figura 3) coincide angularmente y se

apoya en el modelo propuesto por Wilcox y colegas (1973) para la evolución de estas fallas. Para Tardy (1980, p. 340), la existencia de esta falla es evidente tanto desde el punto de vista estratigráfico como estructural, y está ligada a un cizallamiento vertical siniestral, que afecta el zócalo de la cobertura.

Lo anterior sugiere pensar que durante la fase paroxismal de

deformación (Orogenia Hidalgoana), además de generarse nuevas estructuras, algunas ya formadas (basamento) se reactivaron para controlar la naturaleza y magnitud de la deformación. En opinión del autor, esto es lógico y cabría aún la posibilidad de considerar que el basamento previamente deformado, controlase durante el Mesozoico la sedimentación del dominio marino.

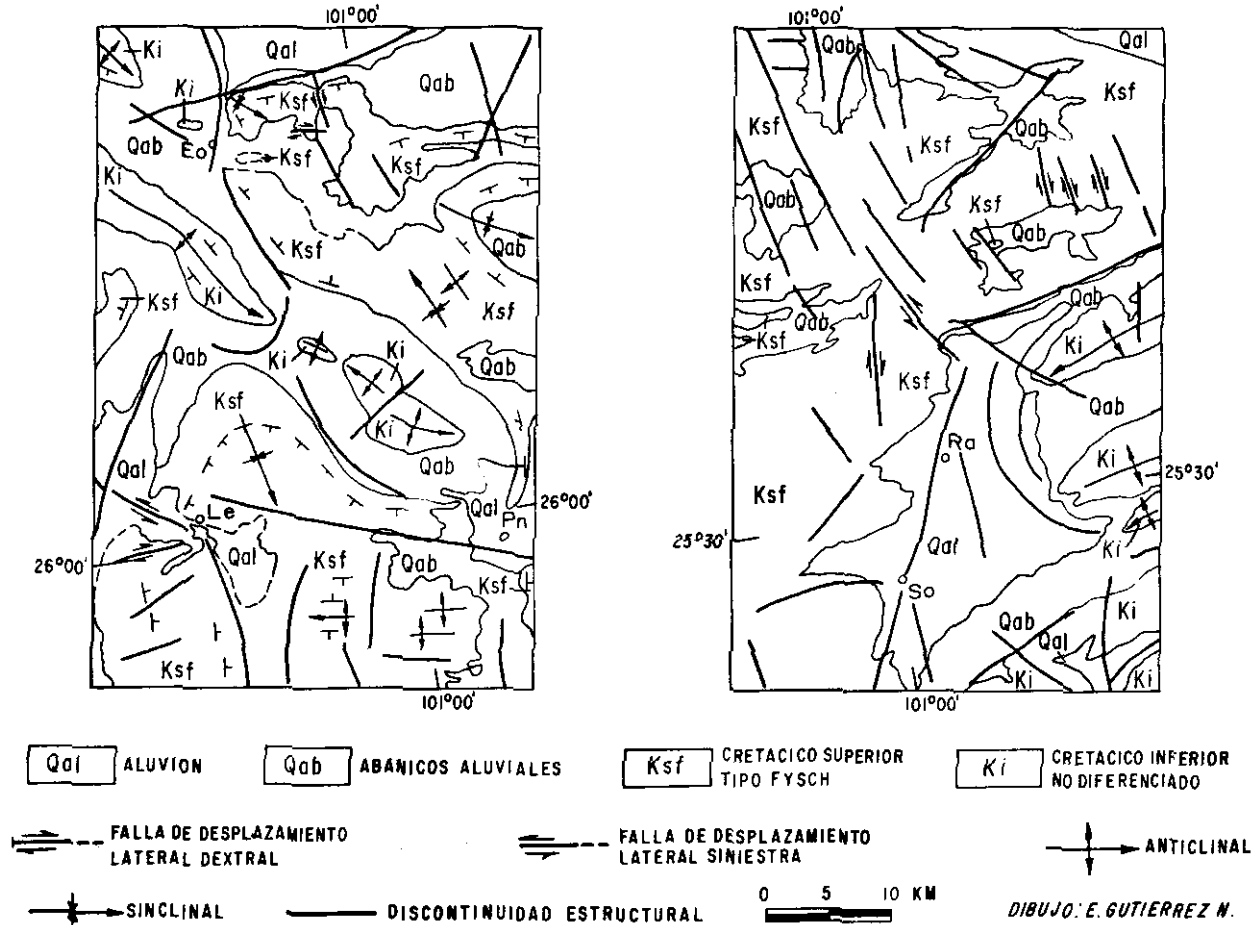


Figura 11.- Detalle estructural de las áreas de Las Esperanzas, Coah., Espinazo, N.L. y Ramos Arizpe, Coah.

En relación con la configuración del basamento en esta región, poco se conoce de manera precisa. Entre los diversos estudios que han intentado dar respuesta a este problema, destaca el realizado por de Cserna (1976), quien sugiere, tomando en cuenta la distribución de las rocas precámbricas y paleozoicas así como la información geofísica disponible, que la parte meridional del Continente Americano estuvo, durante el inicio de la Era Mesozoica, dividido en una serie de bloques, delimitados cuando menos por tres fallas de desplazamiento horizontal de dirección WNW, o bien por zonas de fracturas importantes, las cuales permitieron un desplazamiento diferencial de estos bloques.

De estas tres fallas importantes, por su relación directa con el área de estudio se hará mención de la más septentrional; es decir, aquella que pasa por las ciudades de Torreón y Saltillo. Resulta conveniente mencionar que Murray (1956) también reconoce esta falla.

Por otro lado, se puede suponer que asociada a esta falla principal, se generaron durante la deformación otras estructuras (fallas, fracturas y pliegues) de segundo y tercer orden, como lo propone el modelo de Wilcox y colaboradores (1973). De esta manera, la configuración estructural del basamento pre-mesozoico pudo haber controlado primeramente el depósito de las diferentes unidades litoestrati-

tigráficas, y luego, si se acepta una reactivación cuando menos mínima de algunas estructuras del basamento, se explicaría en parte la coexistencia de diversas orientaciones entre los pliegues y otras estructuras.

Lo anterior coincide con las ideas de Murray (*op. cit.*), quien consideró que el arreglo de las estructuras premesozoicas controló el abrupto arqueamiento de la Sierra Madre Oriental a la altura de Monterrey.

CONCLUSIONES

De lo anteriormente expuesto se desprenden las siguientes conclusiones:

1.-El uso de las imágenes de satélite como un auxiliar importante en los trabajos de geología regional, sean éstos de recopilación o de interpretación, queda demostrado.

2.-El inventario de lineamientos en sí mismo constituye un documento gráfico de importancia, ya que la mayoría de ellos corresponde a rasgos geológicos. La principal dificultad en su interpretación geológica consiste en la ausencia frecuente de evidencias categóricas en el campo.

3.-El reconocimiento geológico preciso en algunos casos, así como la interpretación de otros como discontinuidades estructurales mayores, permiten complementar la información geológica (Figura 3) y con ello proponer otra más completa (Figura 12).

4.-Se demuestra la relación entre los rasgos geológicos y los lineamientos a partir del análisis independiente de ambos, lo cual permite reconocer cuatro áreas principales en la región.

5.-Se sugiere la presencia de un sistema de fallas de despla-

miento horizontal sinistral, similar al propuesto en el modelo de Wilcox y colaboradores (1973), cuya traza principal coincide con el "Lineamiento Saltillo-Ramos Arizpe" y con la falla evidenciada por Tardy (op. cit.).

6.-La aceptación y comprobación de este modelo tienen implicaciones de orden económico, sobre todo en lo que se refiere a la exploración de hidrocarburos, ya que se ha demostrado la presencia de trampas estructurales importantes asociadas a estos sistemas de fallas (Harding, 1974; Wilcox et al., op. cit.).

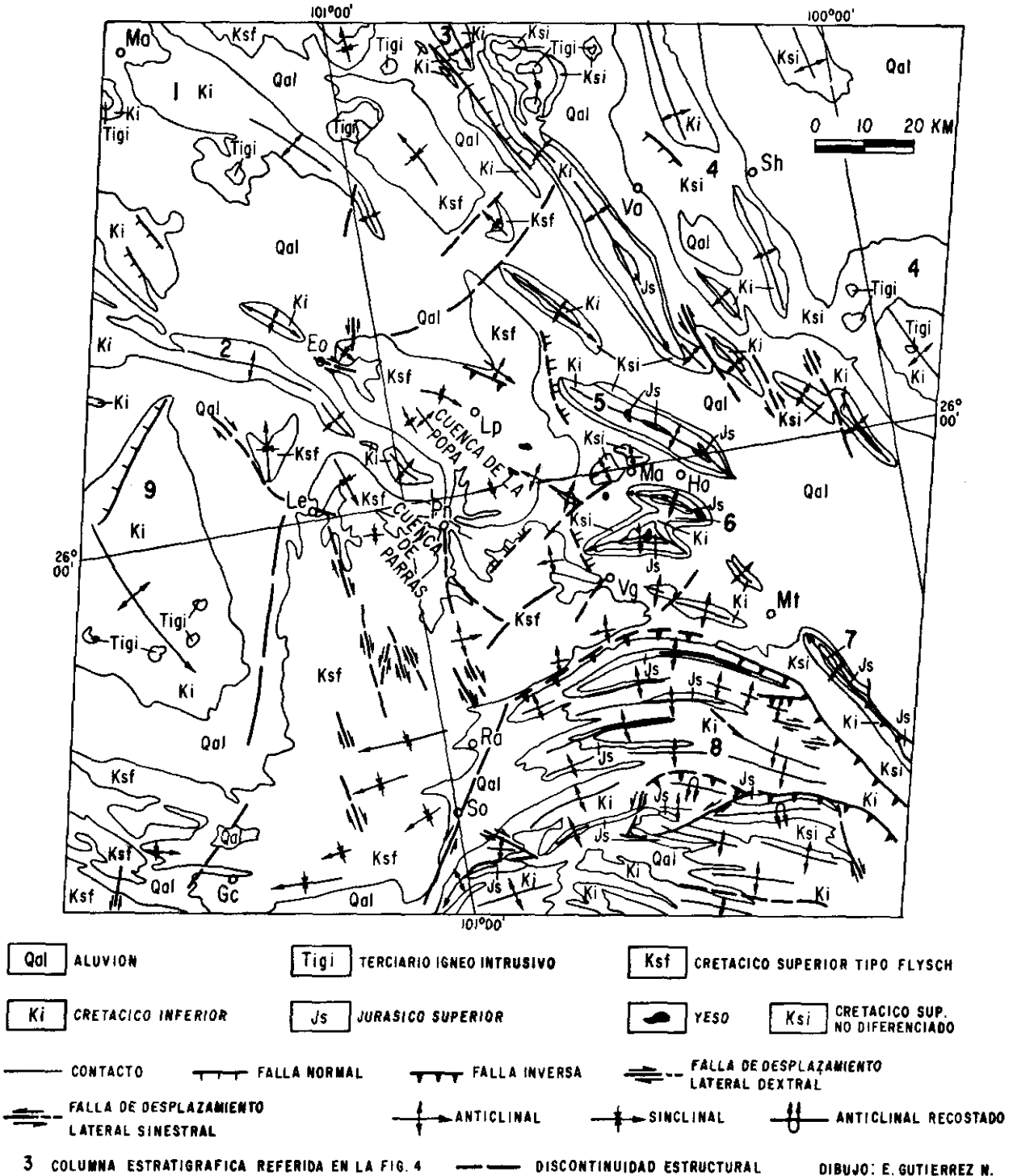


Figura 12.- Interpretación geológica de la imagen de satélite.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su más sincero agradecimiento a los miembros del Departamento de Geología del Instituto de Geología, por la revisión crítica del primer borrador y en general a todas las personas que de una manera u otra colaboraron en este trabajo.

De manera especial mi reconocimiento al Ing. Igor Restovic, quien me inició en el empleo de imágenes de satélite y por su participación en el inventario de los lineamientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bishop, B. A., 1970, Stratigraphy of Sierra de Picachos and vicinity, Nuevo León, Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 54, p. 1245-1270.
- - - 1972, Petrography and origin of Cretaceous limestones, Sierra de Picachos and vicinity, Nuevo León, Mexico: Jour. Sed. Petrology, v. 42, p. 270-286.
- Bodechtel, J., y Gierloff, H. G., 1974, The Earth from space: Nueva York, Arco Publ. Co., 176 p.
- Cserna, Zoltan de, 1956, Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey: México, D. F., Cong. Geol. Internat., 20, monogr., 87 p.
- - - 1976, Mexico - geotectonics and mineral deposits: New Mexico Geol. Soc., Spec. Publ. 6, p. 18-25.
- Harding, T. P., 1974, Petroleum traps associated with wrench faults: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 58, p. 1290-1304.
- Humphrey, W. E., 1956, Tectonic framework of northeast Mexico: Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc., v. 6, p. 25-35.
- Krutak, P. R., 1967, Structural geology of the Sierra de La Gavia, Coahuila, Mexico: Geol. Soc. America Bull., v. 78, p. 59-79.
- López-Ramos, Ernesto, 1972, Carta geológica de los Estados de Coahuila y Nuevo León: México, D.F., Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, esc. 1:500,000 (inédita).
- Mackin, J. H., 1950, The down-structure method of viewing geologic maps: Jour. Geology, v. 58, p. 55-72.
- 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. 84, p. 1603-1622.
- Murray, G. E., 1956, Relationships of Paleozoic structures to large anomalies of coastal element of eastern North America: Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Ann. Mtg., v. 6, p. 13-24.
- Tardy, Marc, 1980, Contribution à l'étude géologique de la Sierra Madre Orientale du Mexique: Paris, Univ. Pierre et Marie Curie, tesis doctoral, 459 p. (inédita).
- Tardy, Marc, Longoria, J. F., Martínez-Reyes, Juventino, Mitre-Salazar, Luis Miguel, Patiño-Avila, Manuel, Padilla y Sánchez, Ricardo, y Ramírez-Ramírez, Calixto, 1975, Observaciones generales sobre la estructura de la Sierra Madre Oriental; la aloc-tonía del conjunto Cadena Alta-Altiplano Central, entre Torreón, Coah. y San Luis Potosí, S.L.P., México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, núm. 1, p. 1-11.
- Weidie, A. E., Jr., y Murray, G. E., 1967, Geology of Parras Basin and adjacent areas of northeastern Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 51, p. 678-695.
- Wilcox, R. E., Harding, T. P., y Seely, D. R., 1973, Basic wrench tectonics: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 57, p. 74-96.
- Wolleben, J. A., McBride, E. F., y Weidie, A. E., Jr., 1970, Geology of the La Popa area: Corpus Christi Geol. Soc. Field Conf., p. 59-66.