

## LA MEGAFALLA LARAMÍDICA DE SAN TIBURCIO, ESTADO DE ZACATECAS

Luis Miguel Mitre-Salazar\*

### RESUMEN

El lineamiento de San Tiburcio, con dirección NW-SE, se extiende desde la parte occidental de la sierra de Parras, Estado de Coahuila, hasta los alrededores de la población El Huizache, Estado de San Luis Potosí. Este lineamiento se puede observar claramente en imágenes LANDSAT de escalas 1:1'000,000 y 1:500,000; sin embargo, no es posible evidenciar su existencia en el campo, ya que se encuentra cubierto por aluvión.

El lineamiento fue descrito por diversos autores como una falla normal, con el bloque hundido en la parte sudoriental; sin embargo, la interpretación de las imágenes y el levantamiento de mapas geológicos del área de Soledad-Banderitas, Estado de Zacatecas, demostraron que el lineamiento de San Tiburcio corresponde a un sistema de fallas de desplazamiento lateral siniestro, evidenciado por cizallamientos laterales diestros de tipo Riedel.

Palabras clave: geología estructural, imágenes LANDSAT, megafalla de San Tiburcio, Zacatecas, México.

### ABSTRACT

The NW-SE trending San Tiburcio lineament extends from the western part of the Sierra de Parras, State of Coahuila, to the vicinity of El Huizache, State of San Luis Potosí. It is clearly visible on LANDSAT images on scales of 1:1'000,000 and 1:500,000, but it is not evident in the field because it is covered by alluvium.

The lineament was described by several authors as a normal fault with the southeastern block downthrown; nevertheless, image interpretation and structural mapping in the La Soledad-Banderitas area, State of Zacatecas, revealed that the San Tiburcio lineament corresponds to a left-lateral fault system as evidenced by right-lateral Riedel shears.

Key words: structural geology, LANDSAT images, megafault of San Tiburcio, Zacatecas, Mexico.

### INTRODUCCIÓN

El área de estudio se localiza en la parte septentrional del Estado de Zacatecas (Figura 1), y está incluida en la Hoja El Cardito (García-Calderón, 1976).

El objetivo fundamental de este trabajo es la interpretación geológica de un lineamiento observado en imágenes de satélite LANDSAT, de escalas 1:1'000,000 y 1:500,000.

Este rasgo se denomina en el presente artículo "lineamiento de San Tiburcio" (LST), tomando su nombre de una población pequeña que se encuentra sobre la traza del mismo y al borde de la carretera que comunica la ciudad de Zacatecas con la de Concepción del Oro. El LST se puede observar de una manera más o menos continua desde el poniente de la sierra de Parras, Estado de Coahuila, hasta la altura de la población El Huizache, San Luis Potosí; es decir, por más de 300 km. Tiene una orientación general NW-SE y su traza separa claramente diferentes estilos de plegamiento, como se discutirá más adelante (Figura 2).

### TRABAJOS PREVIOS

En la región, existen trabajos como el de Rogers y colaboradores (1961) y el de Herrán-Martínez (1968), quienes señalaron que en la misma área donde se observa el lineamiento,

existe una falla normal sepultada, con el bloque caído del lado noroccidental; sin embargo, no presentaron evidencias de ello. Por otra parte, Mitre-Salazar y Roldán-Quintana (en prensa) consideran a este lineamiento como el límite entre los terrenos Tahue (al oriente) y Tepehuano (al occidente).

### MARCO ESTRATIGRÁFICO

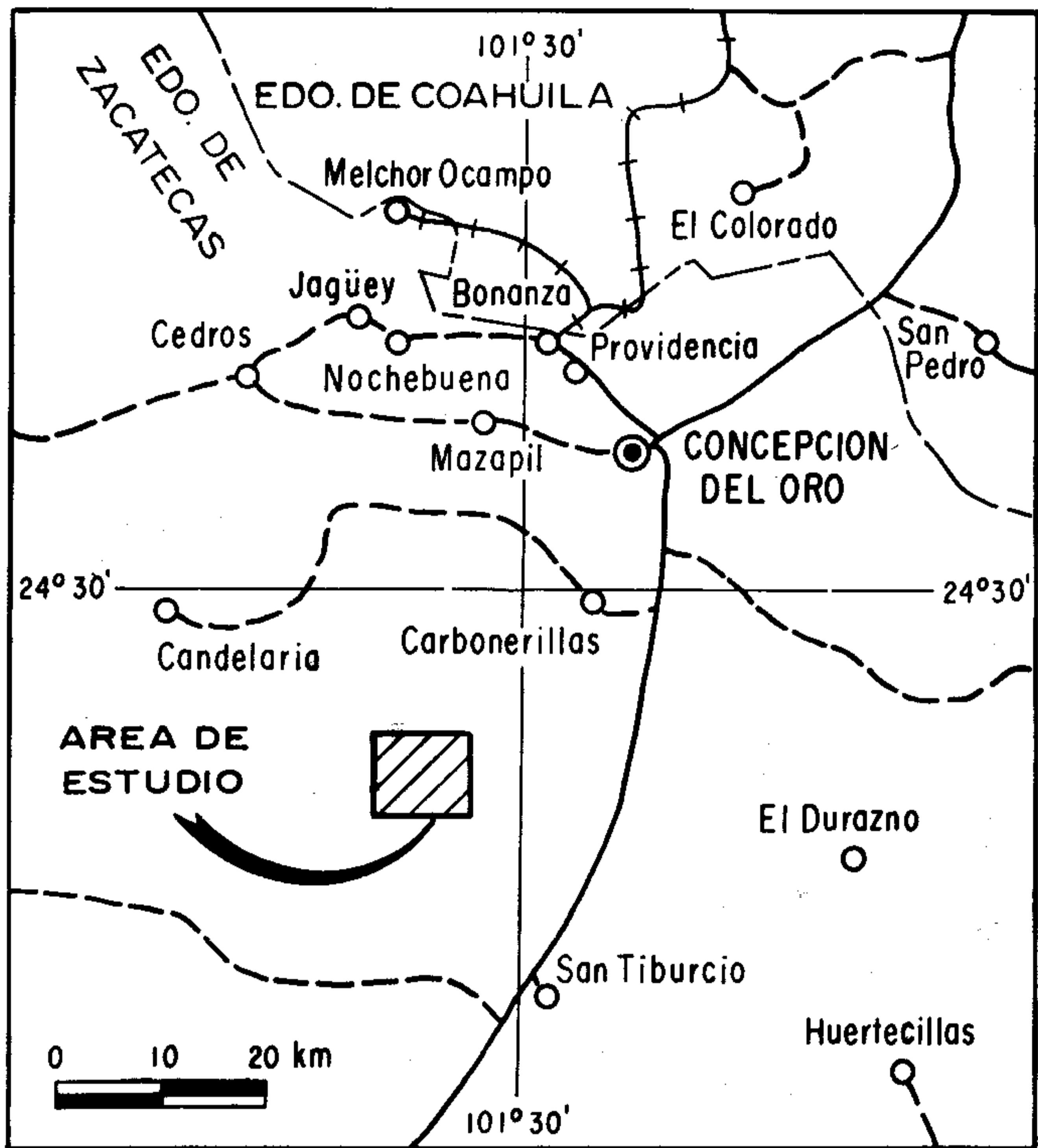
Los aspectos estratigráficos del área son similares a los de áreas vecinas y fueron estudiados con detalle por Rogers y colaboradores (1961) y Herrán-Martínez (1968). En la Figura 3, se muestra la columna estratigráfica de las unidades presentes en el área, las cuales son las mismas que reconocieron los autores ya citados. Cabe señalar que la distribución espacial de estas unidades (Figura 4) es diferente de la publicada previamente. Este hecho permitió una interpretación geológico-estructural también diferente.

### ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Antes de exponer la interpretación estructural del LST, es conveniente presentar un esbozo de las características estructurales más sobresalientes, observadas en las tres sierras que se encuentran en el área de estudio.

Las sierras de Los Escritorios y de Las Iglesias se ubican al SW del LST, en tanto que la sierra de La Centella se localiza al NE del mismo (Figura 4). Las dos primeras están separadas por una falla de desplazamiento lateral diestro (Mitre-Salazar, 1989).

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



DIBUJO: E.G.N.



Figura 1.- Mapa de localización del área de estudio.

Ahora bien, considerando que al interpretar los lineamientos observados en las imágenes de satélite, en la mayoría de los casos, es difícil encontrar evidencia de campo que permitan su clasificación, se siguió el mismo método empleado por el autor en el área de la Presa del Junco (directamente al occidente; Mitre-Salazar, 1989) y el cual consistió en la observación y el cartografiado de las estructuras que afloran en los bloques generados por el lineamiento.

SIERRA DE LA CENTELLA

La sierra de La Centella (Figura 4) tiene una longitud aproximada de 20 km y su parte más ancha, a la altura del cañón de Los Puentes, es de 5 km. En este trabajo sólo se presenta las observaciones realizadas desde el cañón mencionado, hacia su terminación septentrional.

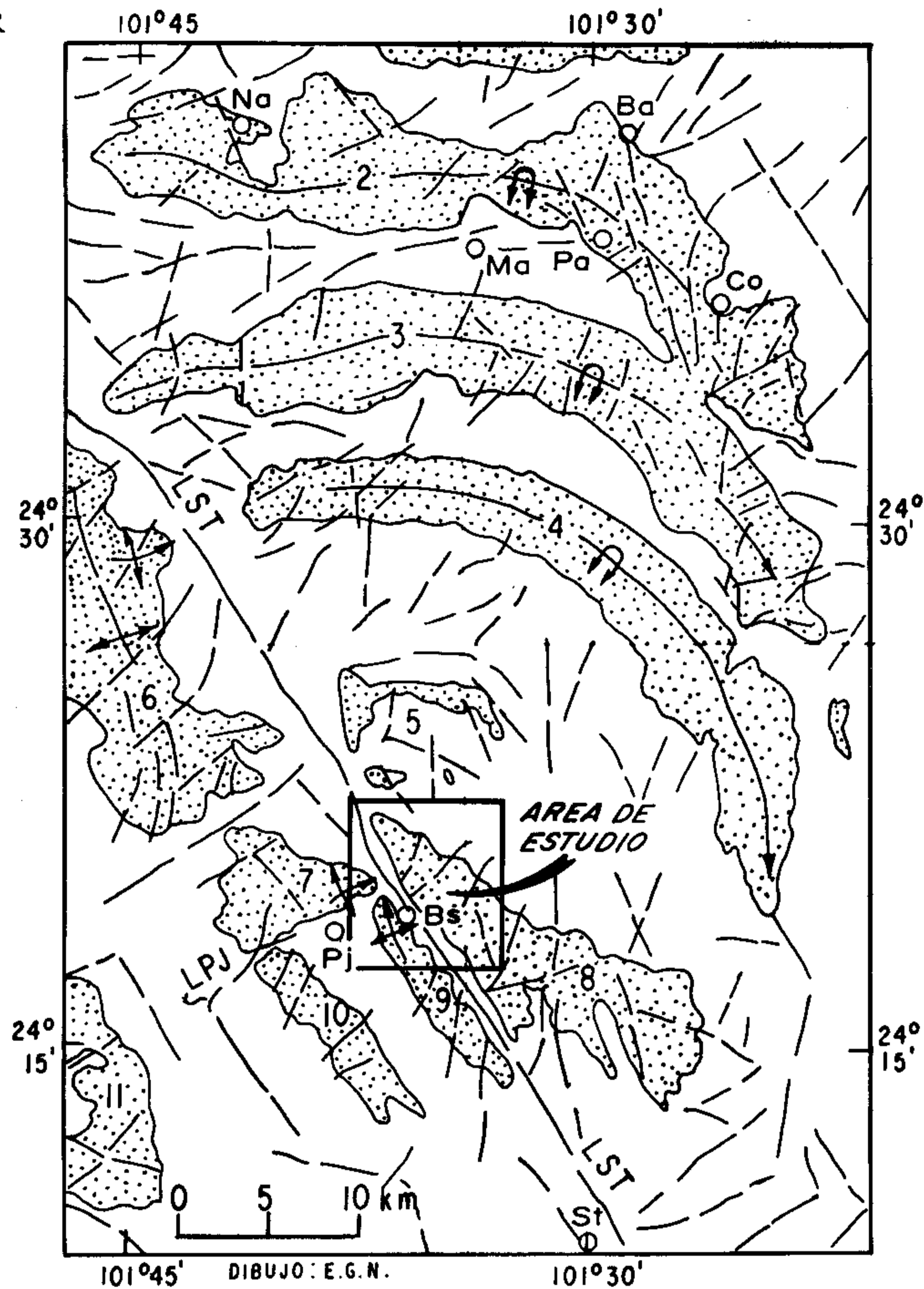


Figura 2.- Ubicación del área de estudio en el contexto regional, mostrando los lineamientos principales observados en la imagen de satélite y las sierras más importantes (áreas punteadas): 1. Sierra de Canutillo, 2. Sierra de la Caja. 3. Sierra de Santa Rosa, 4. Sierra Santa Rita, 5. Sierra de Tanquecillos, 6. Sierra de la Candelaria, 7. Sierra de las Iglesias, 8. Sierra de la Centella, 9. Sierra de los Escritorios, 10. Sierra del Barroso, 11. La Sierrita; Na, Nochebuena; Ba, Bonanza; Ma, Mazapil; Pa, Providencia; Co, Concepción del Oro; Pj, Presa del Junco; Bs, Banderitas; St, San Tiburcio; LST, Lineamiento de San Tiburcio; LPJ, Lineamiento de la Presa del Junco. El área enmarcada corresponde a la superficie cubierta por la Figura 4.

Estructuralmente, esta sierra parece formar parte del sistema de pliegues arqueados que conforman a las sierras Santa Rita, Santa Rosa y de la Caja (Figura 2); sin embargo, por la complejidad estructural de la sierra de La Centella, esta asociación no es tan simple.

La diferencia sustancial entre la estructura de la sierra de La Centella y las tres mencionadas anteriormente, es que la primera no corresponde con un pliegue anticlinal bien definido, como es el caso de las segundas. En efecto, la observación del mapa geológico (Figura 4) permite establecer de inmediato un contraste estructural con las sierras vecinas. Lo más sobresaliente en las estructuras de la sierra de La Centella es que gracias a la presencia de una falla de cabalgadura, cuya traza aflora en el cañón de Los Puentes, esta sierra puede ser dividida en dos partes, de las cuales se discutirá en detalle la septentrional y sólo brevemente la meridional.

La falla de cabalgadura que aflora en el cañón de Los Puentes fue reconocida previamente por Herrán-Martínez (1968) y García-Calderón (1976); pone en contacto a la Caliza Zuloaga (Oxfordiano) sobre las rocas de la Formación Indidu-

ERAT.	SISTEMA	SERIE	PISO	AREA DE ESTUDIO
CENOZOICO	Q	PLEISTOCENO		ABANICOS ALUVIALES
		PLIOCENO		
		MIOCENO		
		OLIGOCENO		
		EOCENO		
		PALEOCENO		
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	MAASTRICHTIANO	
			CAMPANIANO	
			SANTONIANO	
			CONIACIANO	
			TURONIANO	FORMACION INDIDURA
		CENOMANIANO		
		INFERIOR	ALBIANO	CALIZA CUESTA DEL CURA
			APTIANO	F. LA PEÑA
			BARREMIANO	CALIZA CUPIDO
			HAUTERIVIANO	
	NEOCOMIANO	VALANGINIANO	FORMACION TARAISES	
		BERRIASIANO		
		TITHONIANO		
		PORTLANDIANO	FORMACION LA CAJA	
JURASICO	SUPERIOR	KIMMERIDGIANO		
		OXFORDIANO	CALIZA ZULOAGA	

Figura 3.- Columna estratigráfica del área de estudio. Las rayas verticales indican falta de depósito.

ra (Cretácico Superior; Figura 3).

Hacia el norte de esta falla y sobre la ladera occidental de la sierra de La Centella, lo más notable es un sistema de pequeñas fallas de desplazamiento lateral diestro, con orientaciones generales E-W y ENE-WSW.

Las fallas de desplazamiento lateral diestro, reconocidas en esta parte de la sierra, coinciden con los arroyos de la ladera occidental de la misma, y se manifiestan por un desplazamiento relativo de las formaciones que comprenden (Formación La Peña y Caliza Cuesta del Cura), por la generación de micropliegues con plano axial vertical, cerca del plano de falla, y por el desarrollo de un sistema de fracturas conjugadas, asociadas al movimiento (tipo Riedel). Estas características pueden ser observadas con mayor claridad en la cima de la sierra, ya que hacia las partes más bajas estas estructuras, por lo general, están cubiertas por depósitos aluviales.

SIERRA DE LAS IGLESIAS

La estructura de esta sierra fue discutida recientemente por el autor (Mitre-Salazar, en prensa). En la Figura 4 sólo se muestra su terminación oriental, la cual está compuesta por un pliegue anticlinal, con dirección WNW-ESE y con recostamiento hacia el norte. Esta sierra, como se mencionó antes, está separada de la sierra de Los Escritorios, inmediatamente al sur, por una discontinuidad estructural, representada por el lineamiento de la Presa del Junco.

De esta manera, los lineamientos de San Tiburcio y de

la Presa del Junco se manifiestan como discontinuidades estructurales, formando tres bloques, cada uno de los cuales corresponde a cada una de las tres sierras en estudio. En la Figura 4 se puede observar que el lineamiento de la Presa del Junco intersecta al de San Tiburcio, pero sin tener manifestación alguna hacia el nororiente. Esta relación sugiere que el lineamiento de la Presa del Junco sea anterior al de San Tiburcio y que esté cortado por éste, o bien, se trate de una falla de segundo orden, generada después del movimiento de la falla de San Tiburcio, de acuerdo con el modelo propuesto por Moody y Hill (1956).

SIERRA DE LOS ESCRITORIOS

Esta sierra, al igual que la anterior, fue estudiada por el autor (Mitre-Salazar, 1989). En este caso, la estructura que se muestra en la Figura 4 corresponde a un pliegue anticlinal con una dirección general NW-SE; es decir, conforme a la de la sierra.

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN

La información presentada permite reconocer tres sierras, con estructuras individuales, que no muestran relación aparente de continuidad. Estas tres sierras están separadas por los lineamientos de San Tiburcio y de la Presa del Junco. Este hecho parece ser común en el Altiplano Central, donde los valles intermontanos han sido interpretados por varios autores (cf. Cserna, 1956) como zonas de discontinuidades estructurales; en general, se ha propuesto fallas de tipo normal para explicarlas. Para el caso que se trata, los autores que han estudiado esta zona han interpretado la discontinuidad estructural que existe entre las sierras de La Centella, de Las Iglesias y de Los Escritorios, como una falla normal (Rogers *et al.*, 1961; Herrán-Martínez, 1968). Sin embargo, no presentaron evidencias para demostrar su existencia. Por otra parte, la presencia de este tipo de falla parece no ser la solución para demostrar la discontinuidad entre las sierras mencionadas, ya que si se restituye el movimiento de la falla normal, las discontinuidades siguen estando presentes. Por ello, es necesario considerar que el lineamiento de San Tiburcio deba corresponder a otro tipo de falla.

Tomando en cuenta la disposición de los tres bloques estructurales, así como las estructuras que los constituyen, se debe considerar que éstas sean contemporáneas y que fueran generadas durante un régimen de compresión. Dado que las unidades estratigráficas afectadas son mesozoicas y que únicamente se ha documentado en la zona la existencia de la fase de deformación laramídica, se considera que tanto las estructuras de las sierras como las discontinuidades entre ellas ocurrieron a fines del Cretácico o, bien, a principios del Terciario.

El análisis conjunto de los lineamientos de San Tiburcio y de la Presa del Junco, así como de las estructuras asociadas a ellos, dentro de un contexto regional, sugiere la existencia de una sistema de fallas de desplazamiento lateral en esta área. Si se compara este arreglo con el modelo propuesto por Moody y Hill (1956) para fallas de desplazamiento lateral de tipo siniestro, existen, dentro de las estructuras encontradas en el campo, algunas analogías interesantes. El lineamiento de San Tiburcio correspondería con la falla de desplazamiento lateral siniestro de primer orden, la falla de cabalgadura del cañón de Los Puentes tendría asociación con los pliegues de primer orden, el lineamiento de la Presa del Junco sería una falla

## EXPLICACIÓN

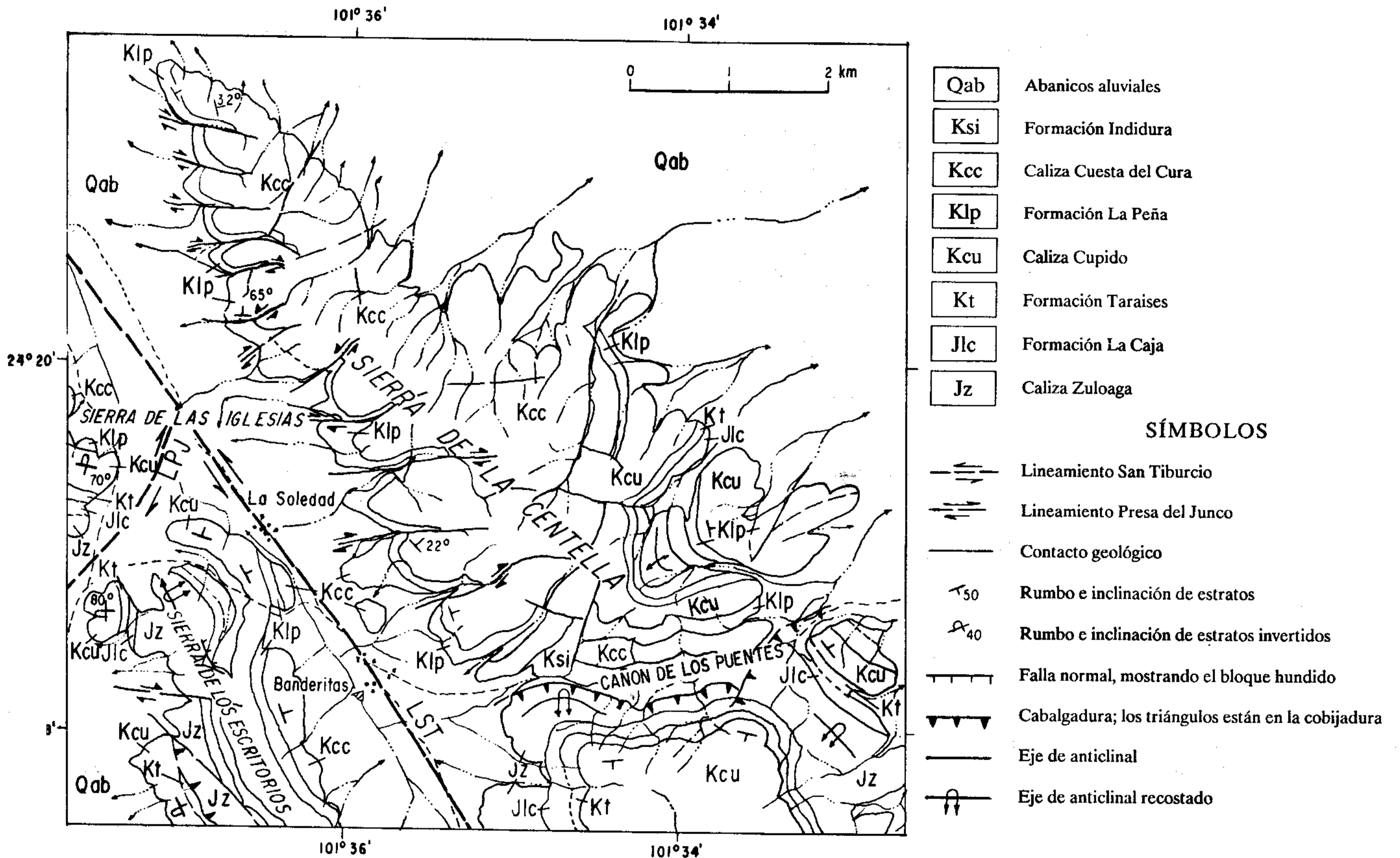


Figura 4.- Mapa geológico del área de estudio.

complementaria de primer orden de desplazamiento lateral diestro y las fallas de desplazamiento lateral diestro que aparecen en la ladera occidental de la sierra de La Centella serían de segundo orden (tipo Riedel). Por otra parte, las terminaciones periclinales en la parte occidental de las sierras de La Caja, Santa Rosa y Santa Rita (Figura 4), dispuestas *en échelon* y mostrando un arreglo en forma de gancho, concuerdan con el movimiento siniestro propuesto.

Si bien es cierto que el modelo de Moody y Hill (1956) se hizo a nivel experimental, los mismos autores han demostrado su estrecha asociación con grandes sistemas de fallas de desplazamiento lateral, a escala regional, como en el caso del célebre sistema de fallas de San Andrés.

Regresando al contexto regional, donde se ubica el sistema

de las fallas de San Tiburcio, es posible que corresponda con una falla de segundo orden. Desde este punto de vista, pudiera tener alguna asociación con la presencia de la megacizalladura Mojave-Sonora, la cual, aunque haya tenido su movimiento principal durante el Jurásico Medio, no es imposible descartar una cierta reactivación durante la fase laramídica. Para el caso de la megafalla de San Tiburcio, como se mencionó al principio, esta característica es importante para entender la evolución tectónica de la región, ya que corresponde con el límite de dos terrenos tectonoestratigráficos.

## IMPLICACIONES DE LA INTERPRETACIÓN

De la discusión y la interpretación presentadas previamente, surgen algunas implicaciones de carácter teórico y

práctico.

Dentro de las primeras, queda la incógnita de si la megafalla de San Tiburcio fue generada durante la fase laramídica, o si se trata de una estructura previa, reactivada durante esta fase.

Desde el punto de vista de las implicaciones de orden práctico y que pudieran tener una relación con el aprovechamiento de los recursos naturales de la región, conviene mencionar que la megafalla de San Tiburcio constituye el límite sudoccidental de un bloque con gran potencial minero, denominado por Rogers y colaboradores (1961) "franja mineral". Dentro de este bloque existen distritos mineros importantes, como el de Concepción del Oro, Nochebuena, Providencia y Mazapil, entre otros (Figura 2). De esta manera, se puede considerar que la existencia de esta falla controle la presencia de los depósitos minerales, ya que del lado occidental de la falla no se ha reportado yacimientos importantes. Por otra parte, observando la imagen de satélite, es posible distinguir un bloque delimitado por lineamientos más o menos evidentes, que está formado por las sierras de Canutillo, de la Caja, Santa Rosa, Santa Rita, de Tanquecillos y de La Centella (Figura 2), al cual se denomina, en este artículo, "bloque de Concepción del Oro". En vista de que los límites de este bloque corresponden con lineamientos, se puede considerar que su naturaleza sea de carácter estructural; coincidentemente, al interior del mismo se ubican los distritos mineros más importantes de la región. Un estudio posterior de los dos lineamientos (septentrional y oriental), de las características estratigráficas, petrográficas y estructurales, podrá responder al porqué de la acumulación importante de los depósitos minerales en él, y no en los bloques vecinos; por el momento, se presenta solamente este hecho como algo extraordinario.

La comprobación de la existencia de esta megafalla, por medio de métodos geofísicos, podría conducir a una reevaluación de la región, desde el punto de vista petrolero, ya que en otras partes del mundo, donde se presenta este tipo de fallas, se ha reportado la existencia de trampas estructurales, favorables para la acumulación de hidrocarburos (Moody, 1973).

Finalmente, y no por ello menos importante, está la implicación de este tipo de interpretaciones geológico-estructurales para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, indispensables para los habitantes de la región, los cuales casi en su totalidad dependen de las escasas lluvias temporales para subsanar sus necesidades más elementales.

#### CONCLUSIONES

El empleo de las imágenes de satélite como un auxiliar importante en las investigaciones geológicas y, particularmente, en las estructurales, queda demostrado una vez más.

El reconocimiento de los lineamientos de San Tiburcio y de la Presa del Junco, así como la interpretación geológica del primero como una megafalla de desplazamiento lateral siniestro, se evidenció con el estudio de los tres bloques estructurales separados por ellos, y por la asociación estrecha de las

estructuras del área, con el modelo propuesto por Moody y Hill (1956) para este tipo de fallas, en particular por la presencia de fallas diestras asociadas de desplazamiento lateral (tipo Riedel).

Es posible la existencia de otras fallas de este tipo en la región, sobre todo si se toma en cuenta que, en la mayoría de los casos, la naturaleza geológica de los valles se ha considerado, sin muchas evidencias, como fosas tectónicas o *grabens*. La demostración de lo anterior conduciría necesariamente al planteamiento de un modelo de evolución tectónica para esta región.

La presencia de este tipo de fallas, como ha sido probado en otras partes del mundo, pudiera tener implicaciones de carácter económico, particularmente en lo que se refiere a la explotación petrolera.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo brindado por el Instituto de Geología. El Dr. Max Suter hizo valiosas sugerencias, las cuales aclararon algunos aspectos de la geometría de la falla propuesta. El autor contó, durante el trabajo de campo, con la valiosa ayuda del M. en G. Rafael Huízar-Álvarez y del M. en C. Victor Dávila-Alcocer, ambos miembros del Departamento de Geología Regional del mismo Instituto.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cserna, Zoltan de, 1956, Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey: México, D. F., Cong. Geol. Intern., 20, 87 p.
- García-Calderón, Jorge, 1976, Investigación hidrogeológica de la región de "El Cardito", Zacatecas: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 98, 101 p.
- Herrán-Martínez, Santiago, 1968, Estudio geológico de las sierras de Santa Rita, La Centella y El Barroso, Mpios. de Concepción del Oro y Mazapil, Edo. de Zacatecas, México: San Luis Potosí, Univ. Autón. San Luis Potosí, Esc. Ingeniería, tesis profesional, 39 p. (inédita).
- Mitre-Salazar, L. M., 1989, Secuencias estratigráficas invertidas en el área de la Presa del Junco, Estado de Zacatecas: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 8, p. 52-57.
- Mitre-Salazar, L. M., y Roldán-Quintana, Jaime, en prensa, Mexican Transects, H-1 from La Paz, B. C. S., to Monterrey, N. L.: Geol. Soc. America, Spec. Publ., Decade of North American Geology.
- Moody, J. D., 1973, Petroleum exploration aspects of wrench-fault tectonics: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 57, p. 449-476.
- Moody, J. D., y Hill, M. J., 1956, Wrench-fault tectonics: Geol. Soc. America Bull., v. 67, p. 1207-1246.
- Rogers, C. L., Cserna, Zoltan de, Tavera-Amezcuca, Eugenio, Vloten, Rogelio van, 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, México: Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Bol. 56, 322 p.

Manuscrito presentado: 23 de enero de 1984.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 9 de marzo de 1989.

Manuscrito aceptado: 17 de marzo de 1989.