



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI**

---

**FACULTAD DE INGENIERIA  
ÁREA CIENCIAS DE LA TIERRA**

**DESCRIPCIÓN DE POSIBLES FALLAS  
SISMOGÉNICAS REGIONALES EN LA ZONA MEDIA  
DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, SLP.**

**TRABAJO RECEPCIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTA:**

**Ana Cristina Sánchez García**

San Luis Potosí, S.L.P.

Diciembre de 2009

---



25 de mayo de 2009



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE SAN LUIS POTOSÍ

A LA PASANTE ANA CRISTINA SÁNCHEZ GARCÍA  
P R E S E N T E . -

En atención a su solicitud de autorización de Temario, presentada por el Dr. José Rafael Barboza Gudiño, Asesor del Trabajo Recepcional que desarrollará usted, con el objeto de sustentar su Examen Profesional en la Licenciatura de Ingeniero Geólogo. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 25 de mayo del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"DESCRIPCIÓN DE POSIBLES FALLAS SISMOGÉNICAS REGIONALES EN LA ZONA MEDIA DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P."

INTRODUCCIÓN.

1. EL REGISTRO SÍSMICO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ.
2. POSIBLES ESTRUCTURAS SISMOGÉNICAS.
3. EVIDENCIAS DE CAMPO EN LA ZONA MEDIA DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ.
4. DESCRIPCIÓN DE CENTROS Y PRODUCTOS VOLCÁNICOS ASOCIADOS.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

Ruego a Usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, debe presentar Constancia de Servicio Social como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

A T E N T A M E N T E

ING. ARMANDO VIRAMONTES ALDANA  
DIRECTOR



FACULTAD  
DE INGENIERÍA

Av. Manuel Nava 8  
Zona Universitaria - CP 78100  
San Luis Potosí, S.L.P.  
tel. (444) 826 2330 al339  
fax (444) 826 2336  
www.uaasp.mx

## DEDICATORIA

... A Dios, por todas las bendiciones que nos ha dado a mi familia y a mí..

... A mis papás y hermanos, aquí está el fruto de lo que sembramos juntos....

... A mis tíos Gerardo, Magdalena y Santiago, ya que también participaron en la realización de este sueño...

... A mis abuelitos, por su cariño.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por haberme dado la vida y la oportunidad de haber concluido mis estudios universitarios.

A mis papás, Vicente Sánchez Flores y Celia Virginia García Magdaleno, gracias por todo su cariño incondicional, por el apoyo que me han brindado siempre, por escucharme y aconsejarme, gracias por ser mis guías, por confiar y creer en mí ¡los quiero mucho!

A mis hermanos Diego Alán y Laura Edith, quienes han estado a mi lado en las buenas y en las malas, gracias por preocuparse por mí y ayudarme.

Al Dr. José Rafael Barboza Gudiño, por su asesoría en la realización de este trabajo, por sus enseñanzas y consejos, por su apoyo durante la carrera, por su tiempo para explicarme al preguntarle alguna duda, gracias "Doc".

A Sergio Rodríguez, por ser mi amigo y compartir tantos momentos buenos y malos durante la carrera, por apoyarme en las decisiones que he tomado, gracias Cheko por tu amistad, ayuda, compañía y consejos brindados.

A mi amiga Jocelyn, por todas las experiencias que hemos vivido juntas dentro y fuera de la Universidad, por su apoyo y amistad.

A todos los maestros de la UASLP, Facultad de Ingeniería que me impartieron clases, principalmente del Área Ciencias de la Tierra y del Instituto de Geología.

Gracias a aquellos maestros que además de transmitir sus conocimientos me brindaron su amistad y compartieron sus vivencias, consejos, anécdotas: Ing. Alejandro Uresti, Ing. Adolfo Medellín, al Profe Javier Orozco, Ing. Miguel Mayer, Ing. Guillermo Alvarado, Ing. José Socorro Loera, Dr. Delfino Ruvalcaba, Ing. Carlos Puente, Dr. Rafael Barboza, Dr. Margarito Tristán, Dr. Alfredo Aguillón, y Dr. Rubén López Doncel.

Al Ing. Miguel Mayer, por sus enseñanzas en los 2 años que estuve de becaria en el laboratorio de petrografía y mineragrafía, por su paciencia al enseñarme a elaborar las láminas y por su apoyo durante la carrera.

A Rodrigo A. Prado, Marycarmen Perea, Diana Díaz de León, por ser mis amigos, y aunque nos separaban algunos kms, en estos 5 años aprendí que los verdaderos amigos se conservan a pesar de las distancias.

A mis compañeros de la carrera, por compartir tantas experiencias en los viajes de prácticas, en las clases, así como en convivencias fuera de la universidad.

A Don Seve y todas aquellas personas que de alguna manera han participado en mi desarrollo profesional y personal.

# CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>II</b>
<b>CONTENIDO</b>	<b>III</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>V</b>
<b>Lista de Fotografías</b>	<b>V</b>
<b>Lista de Láminas</b>	<b>VI</b>
<b>Lista de Tablas</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VII</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
Objetivo del estudio	1
Localización y acceso	1
Estado actual de las investigaciones	5
Metodología	6
Fisiografía y geomorfología	8
Geología regional	10
Estratigrafía	11
<b>MESOZOICO</b>	
<b>CRETÁCICO INFERIOR</b>	11
Formación Guaxcamá	11
Formación El Abra	13
<b>CRETÁCICO SUPERIOR</b>	14
Formación Soyatal	14
Formación Agua Nueva	16
Formación Cárdenas	17
<b>CENOZOICO</b>	18
<b>CUATERNARIO</b>	19
Calizas	19
Travertinos	19
Caliche	19
Estructura regional	20
Sismicidad en México	22
<b>1. El registro sísmico en el estado de San Luis Potosí</b>	<b>27</b>

<b>2. Posibles estructuras sismogénicas</b>	<b>35</b>
Mecanismos focales	39
<b>3. Evidencias de campo en la zona media del estado de San Luis Potosí</b>	<b>44</b>
3.1 Lineamiento San Ciro – La Pólvora	47
3.2 Lineamiento Pinihuán – Tepeyac	49
<b>4. Descripción de centros y productos volcánicos asociados</b>	<b>53</b>
San Ciro de Acosta	53
Cd. Fernández-La Angostura	56
Santo Domingo-La Pólvora	60
Tanlú	61
Pinihuán	62
Rayón-Cárdenas	64
Tepeyac	65
<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>74</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>75</b>

## **Lista de Figuras.**

Figura 1. Localización de la zona de estudio.	1
Figura 2. Zonificación del estado de San Luis Potosí.	2
Figura 3. Vías de acceso a la zona de estudio.	4
Figura 4. Provincias fisiográficas de la República Mexicana.	8
Figura 5. Fisiografía de San Luis Potosí.	9
Figura 6. Mapa geológico del Estado de San Luis Potosí.	10
Figura 7. Columna estratigráfica de la zona media de San Luis Potosí.	12
Figura 8. Mapa estructural regional de la zona media sobrepuesto en imagen de proyección de elevaciones.	21
Figura 9. Regiones sísmicas en México.	24
Figura 10. Ubicación de epicentros registrados en SLP.	33
Figura 11. Ubicación de epicentros zona media de SLP.	34
Figura 12. Ubicación de basaltos en imagen de proyección de elevaciones.	36
Figura 13. Basaltos, epicentros y estructural de la zona media sobrepuesto en imagen satelital.	37
Figura 14. Distribución de cuadrantes de compresión y extensión para ubicar ondas P en un sismo.	40
Figura 15. Mecanismos focales en fallas normales, inversas y laterales.	43
Figura 16. Lineamientos San Ciro-La Pólvora y Pinihuán-Tepeyac.	47

## **Lista de Fotografías**

Fotografía 1. Templo en Arroyo Seco, Qro.	45
Fotografía 2. Basaltos en forma de un flujo de lava de bloques.	48

Fotografía 3. Derrames basálticos.	48
Fotografía 4. Volcán en La Pólvora, SLP.	49
Fotografía 5. Derrames basálticos en Pinihuán.	49
Fotografía 6. Cono de escorias.	50
Fotografía 7. Vista aérea de los derrames de Tepeyac.	51
Fotografía 8. Derrames de Miguel Hidalgo, Tamps.	52
Fotografía 9. Nódulos de olivino.	60
Fotografía 10. Hoya de Ciriaco, al sur del Tanlú, Santa Catarina.	61

#### **Lista de Láminas.**

Lámina 1. Fotos de campo.	46
Lámina 2. Fotografías de láminas delgadas.	69
Lámina 3. Fotografías de láminas delgadas.	70
Lámina 4. Fotografías de láminas delgadas.	71
Lámina 5. Fotografías de láminas delgadas.	72
Lámina 6. Fotografías de láminas delgadas.	73

#### **Lista de Tablas**

Tabla de epicentros registrados en SLP	30
--	----

## RESUMEN

Los sismos son fenómenos producidos por la liberación súbita de energía almacenada entre las rocas de la corteza. Las ondas de choque se propagan desde el foco hasta el epicentro decreciendo en intensidad y se transmiten a diferente velocidad dependiendo del tipo de onda y tipo de material por el que pasen. Estos movimientos llegan a ser muy peligrosos, ya que pueden ocasionar pérdidas humanas. Hasta la fecha no se han podido predecir con tanta exactitud, pero con investigaciones y avances tecnológicos se pretende lograrlo.

Gran parte del país se encuentra dentro de las zonas denominadas "asísmica" e intermedia con el mínimo de sismos presentes, pero actualmente se ha presentado actividad sísmica en áreas donde no se habían reportado movimientos telúricos aunque al parecer si existían aunque de menor magnitud y en forma esporádica y lo que no había era la comunicación y el registro como se dan en la actualidad, por tanto, se realizó este trabajo para recopilar información y obtener datos de campo con los cuales se reconocen algunas áreas de influencia de posibles fallas sismogénicas en la zona media del estado de San Luis Potosí como una explicación al origen de estos fenómenos.

En los últimos años, el registro de algunos eventos sísmicos detectados en el estado de San Luis Potosí ha llamado la atención de investigadores y dependencias responsables de la protección civil y planeación, entre otros. En este contexto, se han realizado algunas campañas de monitoreo aunque solo de manera temporal dada la carencia de equipos propios en el estado, cuya adquisición se encuentra actualmente en trámite. Por lo anterior, buena parte del trabajo desarrollado ha sido la documentación en campo de estructuras como fallas y aparatos volcánicos relacionados a las mismas, así como la—recopilación de información de eventos sísmicos históricos en archivos y hemerotecas o a través del testimonio verbal en algunas comunidades.

## Introducción

### Objetivo del estudio

Documentar los indicios de actividad sísmica reciente a lo largo de lineamientos o fallas regionales en las zonas en donde se han reportado epicentros de eventos sísmicos locales dentro del estado de San Luis Potosí, así como conocer su posible relación con numerosos afloramientos de basaltos de edad cuaternaria que aparecen a lo largo de las mismas zonas o estructuras.

### Localización y acceso.

El área de estudio se encuentra en el estado de San Luis Potosí (Figura 1), el cual se ubica en la región norte-centro del territorio nacional y ocupa un área muy amplia del altiplano mexicano. Está ubicado entre los  $24^{\circ}22'$  y  $21^{\circ}07'$  de latitud norte y  $98^{\circ}20'$  y  $102^{\circ}17'$  de longitud oeste.

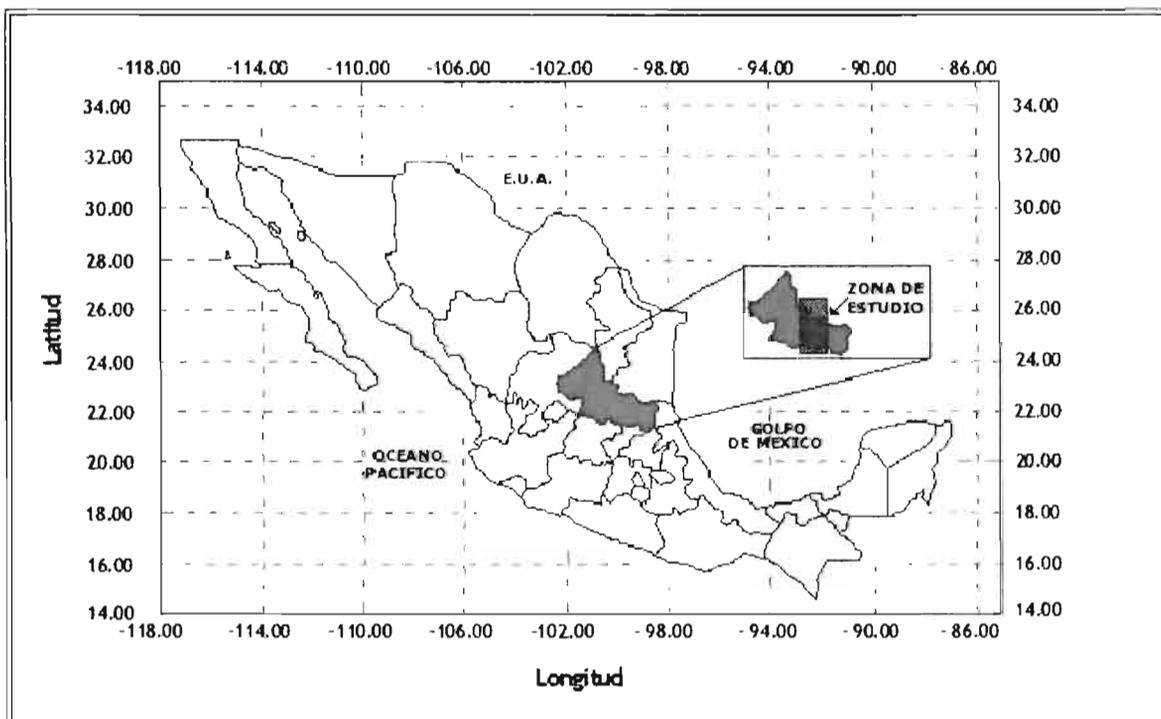


Figura 1. Localización de la zona de estudio (modificado del Servicio Sismológico Nacional).

Este estado se subdivide en las zonas:

- a) Zona Altiplano
- b) Zona Centro o "de San Luis Potosí"
- c) Zona Media
- d) Zona Huasteca

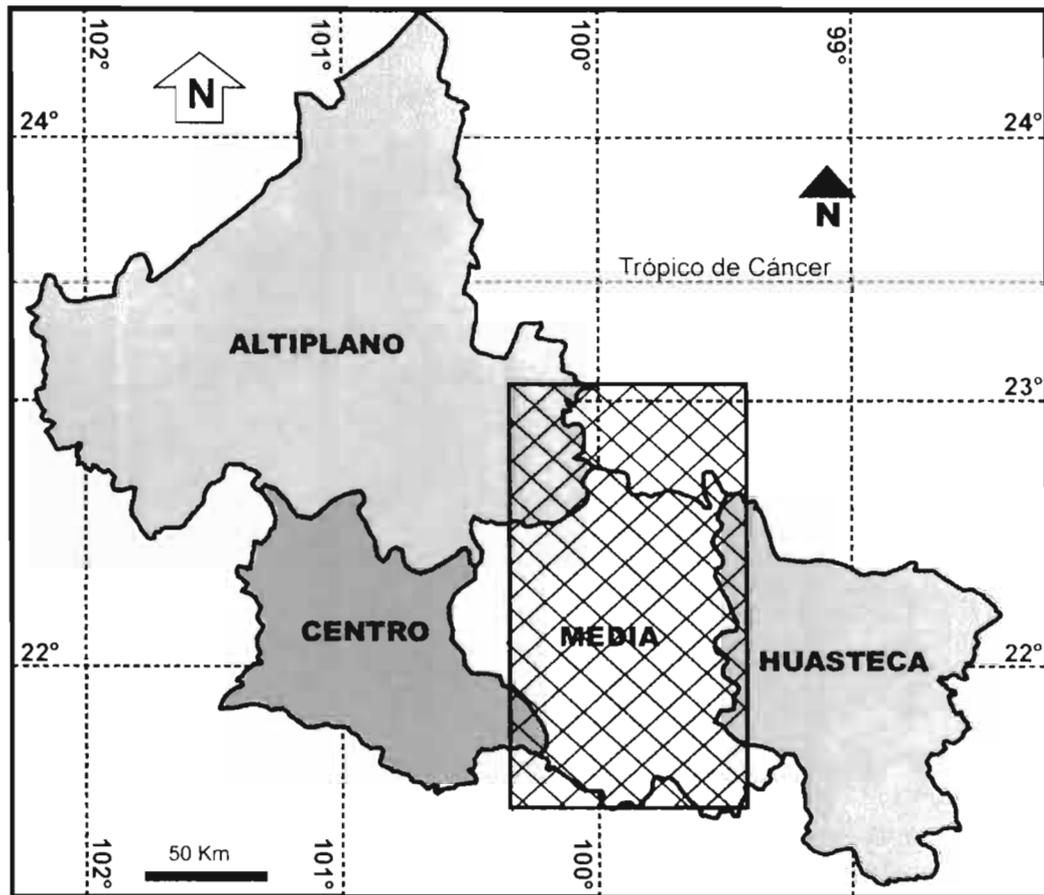


Figura 2. Zonificación del Estado de San Luis Potosí (modificado de INEGI).

El área de estudio comprende la zona Media de San Luis Potosí.

Las áreas visitadas fueron las siguientes:

1. San Ciró de Acosta (San Luis Potosí) – Arroyo Seco (Querétaro)

A esta zona se llega saliendo de la ciudad de San Luis Potosí, siguiendo la carretera 70 hasta llegar a Ríoverde para de ahí continuar por la carretera 69 Ríoverde -

Jalpan, llegando primeramente a San Ciro, continuando por el mismo camino, entre los límites estatales SLP-Querétaro se encuentra San Rafael de Lagunillas y a poco más de 4.5 Km adelante se encuentra la localidad Arroyo Seco, ubicada en el municipio del mismo nombre (Figura 3).

#### 2. Cárdenas – Rayón –Pinihuán.

La forma de acceder a estas localidades es partiendo de la capital del estado de San Luis Potosí sobre la carretera 70 hasta llegar a Ríoverde, o bien, por la carretera 57 SLP-Matehuala, incorporándose a la autopista SLP-Ríoverde. Una vez en Ríoverde, se sigue por la carretera Ríoverde-Ciudad Valles hasta llegar al cruce de Rayón, dando vuelta a la derecha hacia Pinihuán-Paraíso, o a la izquierda (hacia el norte) para ir a Cárdenas.

#### 3. Miguel Hidalgo (sur de Tula, Tamps).

Saliendo de SLP capital, se sigue la carretera 57 a Matehuala hasta el entronque El Huizache. Continuar por la carretera 80 (El Huizache-Ciudad del Maíz) hasta encontrar la carretera Magdaleno Cedillo-Ciudad Victoria (101) donde se deberá dar vuelta a la izquierda, y alrededor de 13.5 km adelante se encontrarán los basaltos al lado de la carretera, esto antes de llegar a la Ciudad de Tula, Tamaulipas.

#### 4. Tepeyac – Santo Domingo.

De la ciudad de San Luis Potosí incorporarse a la carretera 57 a Matehuala hasta llegar al entronque El Huizache. Continuar por la carretera 80 aproximadamente 17.5 km, donde se encontrarán las Joyas de Santo Domingo (a los lados del camino). Siguiendo por esta vía, adelante del entronque de ésta con la carretera 101 se localiza sobre la carretera en dirección a Ciudad del Maíz, la comunidad El Tepeyac. Tomando caminos secundarios hacia el sur se pueden apreciar diversos afloramientos de escorias y lavas de bloques de composición basáltica.

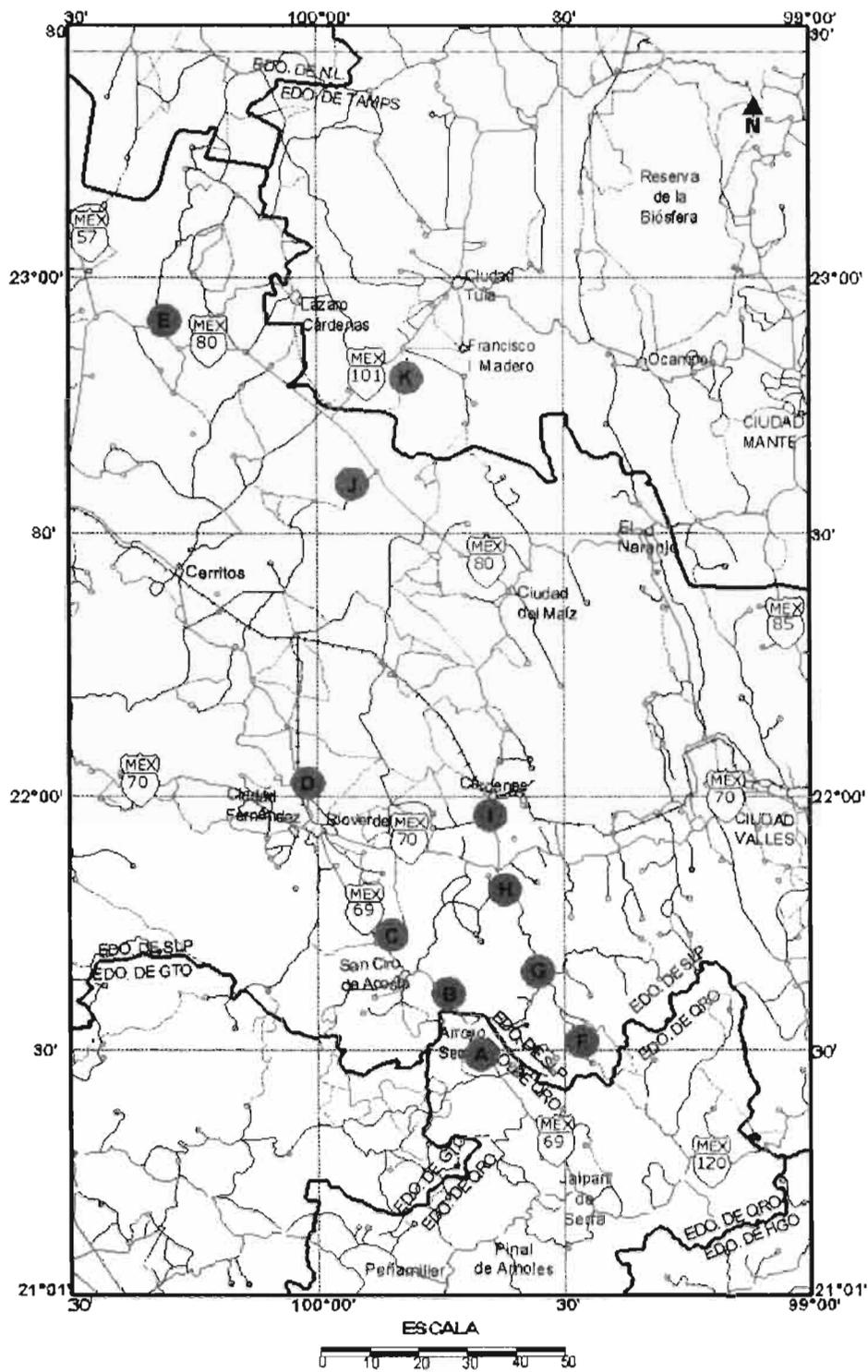


Figura 3. Vías de acceso a la zona de estudio. Áreas visitadas: A) Arroyo Seco, B) San Rafael de Lagunillas, C) San Cirilo de Acosta, D) La Reformita, E) La Pólvora-Joyas de Santo Domingo, F) Santa Catarina, G) Pinihuán,, H) Rayón , I) Cárdenas , J) Tepeyac, K) Miguel Hidalgo (Modificada de carta estatal topográfica 1:700,000).

Estado actual de las investigaciones.

Los trabajos de investigación relacionados con este tema y específicamente en el estado de San Luis Potosí son escasos, puesto que hasta hace muy poco tiempo se hablaba de manera general de esta porción de México como una zona asísmica. Sobre este tema se revisaron algunos trabajos elaborados por personal del Instituto de Geología de la UASLP, así como del Centro de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla, Querétaro., quienes solo en los últimos años han realizado trabajos más científicos y sustentados en registros sísmicos y monitoreos, ya que la mayoría de los reportes que se consultaron en algunos boletines, folletos e información del Archivo Histórico del Estado de SLP, hablan del fenómeno solo como casos aislados, raros y sin una explicación.

- Gómez-González y Barboza-Gudiño (2003, 2005), instalaron estaciones sísmicas temporales en los límites San Luis Potosí - Querétaro, registrando gran cantidad de eventos menores con lo que se pudo comprobar que estas zonas no son precisamente "asísmicas".
- Gómez-González, *et. al.*, (2008), presentan un registro de la sismicidad en la Sierra Gorda, Querétaro-San Luis Potosí y describen esta porción como una zona intraplaca sísmicamente importante.
- Montalvo-Arrieta, *et. al.*, (2008), reportan también la respuesta sísmica de sitio en la Ciudad de San Luis Potosí obtenida a partir de registros de microtemores. Estudios que aunque no tienen una relación directa con el monitoreo de la sismicidad en el estado, permiten ir reconociendo el comportamiento de las diferentes zonas y unidades geológicas en la región.
- Un estudio más de carácter regional que habrá de ser considerado en la evaluación de las estructuras con potencial sismogénico es el de Suter (1991), que evalúa el estado de estrés y deformación activa en México, en base a datos de elongación en perforaciones, mecanismos focales, alineación de fuentes volcánicas y análisis directo de fallas activas, reportando de manera general para el área de estudio valores de extensión aproximada E-W compatible con fallamiento normal N-S a N-NW.

- Entre los trabajos publicados más recientes que brindan una idea más clara de la constitución geológica del subsuelo en la zona de estudio está el de la Plataforma Cretácica Valles-San Luis Potosí, en el centro-noreste de México, de Basáñez-Loyola, *et al.*, (1993). Este estudio está basado en los registros de las perforaciones exploratorias de PEMEX en la región.

## Metodología.

El método que se aplicó para la realización de este trabajo consistió en las etapas de gabinete, campo y laboratorio.

### **A) GABINETE**

En esta parte se incluyó toda la recopilación de información bibliográfica, buscando en boletines, folletos técnicos, asistiendo a la biblioteca central de la UASLP, la hemeroteca, el archivo histórico del estado de San Luis Potosí, entre otros, con lo cual se pasó a integrar la información y posteriormente a elaborar la base de datos sobre los sismos regionales, lo cual servirá para ir ampliando el historial y con ello dar una posible explicación del origen de éstos así como de las estructuras y áreas sismogénicas. Se prosiguió a pasar los resultados a cartas topográficas y geológicas 1:50,000; se digitalizaron algunos mapas con ayuda de algunos paquetes de "software" de computadora como "AutoCad" y "Corel Draw", otros programas como "Global Mapper" y "ArcView" fueron utilizados para editar imágenes y sobre imágenes "Google Earth" se ubicaron las zonas donde se recopilaron las muestras y datos de campo. Finalmente, se exponen los resultados de la investigación en este trabajo.

### **B) CAMPO**

Esta etapa consistió en realizar visitas a algunas de las zonas donde se han sentido los movimientos telúricos, pudiéndose apreciar aunque no en todos los casos algunas de las secuelas que dejaron en edificios, calles, etc. En los casos en que fue posible se

obtuvieron datos estructurales y muestras de basaltos que afloran cerca de algunas de las zonas afectadas y que posiblemente presentan una estrecha relación con las fallas sismogénicas que se proponen, aunque no necesariamente con un volcanismo que pueda considerarse activo.

### **C) LABORATORIO**

El trabajo de laboratorio consistió en elaborar láminas delgadas de las muestras obtenidas en campo y sus respectivas descripciones petrográficas al microscopio de polarización y toma de microfotografías digitales de las láminas. Estos trabajos se llevaron a cabo en los laboratorios de preparación y de microscopía del Instituto de Geología de la UASLP. Para las descripciones petrográficas se utilizó un microscopio Leica DMLP, con cámara digital Leica EC3.

## Fisiografía y geomorfología.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la República Mexicana se encuentra dividida en 15 provincias fisiográficas.

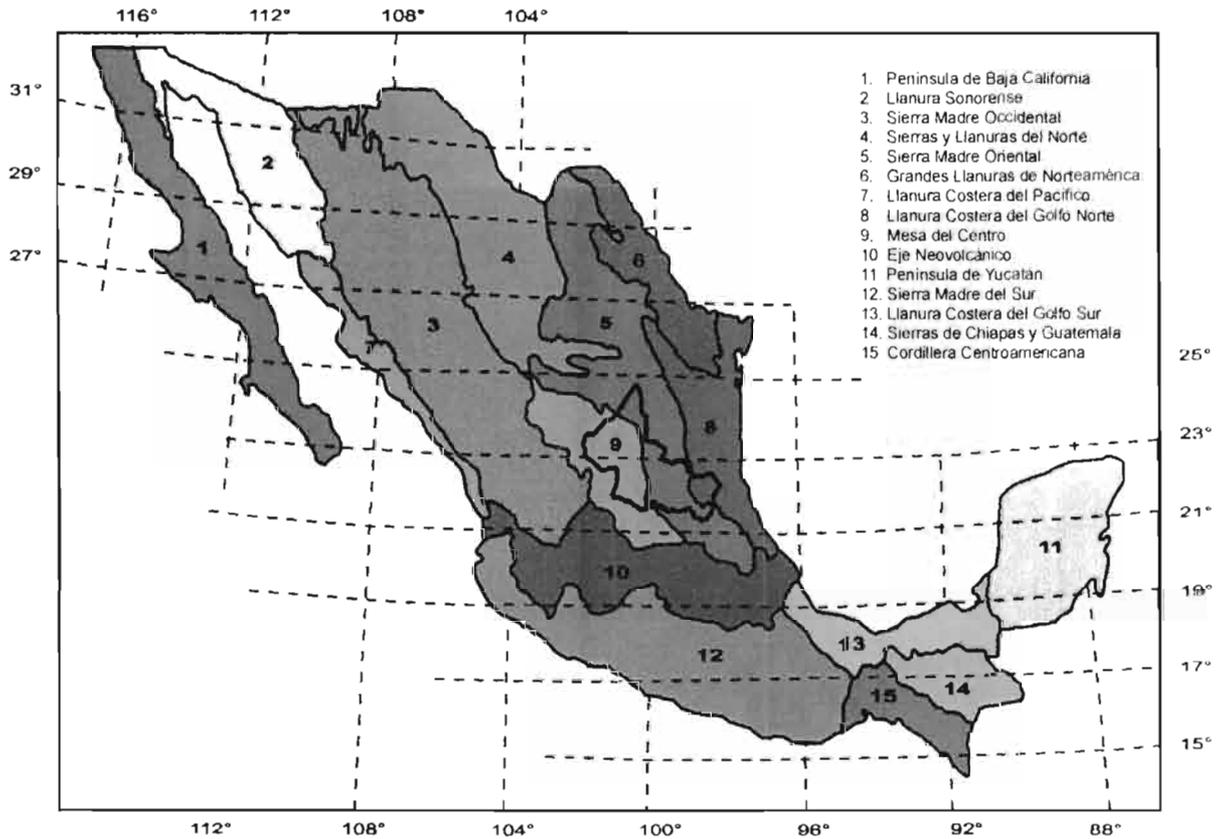


Figura 4. Provincias fisiográficas de la República Mexicana (Modificada de INEGI).

San Luis Potosí comprende parte de las siguientes provincias:

**1. Mesa Central:** Esta es una meseta elevada. En ella se encuentran numerosos valles con promedios de elevaciones entre 1500 y 2000 msnm, que están separados entre sí por algunas elevaciones que en diversos puntos rebasan los 2500 msnm y llegan a alcanzar poco más de 3000 (Nieto-Samaniego et al., 2005).

**2. Sierra Madre Oriental:** Es una cadena accidentada en donde se alcanzan alturas entre los 2000 y 2500 metros sobre el nivel del mar e incluye algunas cuencas intermontanas hacia la llamada zona media del estado, con elevaciones promedio de 1000 msnm. Las rocas sedimentarias calcáreas del Cretácico son las más potentes en espesor y constituyen acuíferos en sus unidades karstificadas.

**3. Llanura Costera del Golfo Norte:** Su paisaje es monótono con predominancia de llanuras planas y onduladas descendiendo en el frente de la Sierra Madre Oriental hasta los 300 msnm y paulatinamente baja hacia la zona de Ébano. La llanura inundable del río Moctezuma la comparten San Luis Potosí y Veracruz. Sus suelos son en su mayor parte de origen aluvial y coluvial, tienen un substrato rocoso de lutita del Cretácico Superior, y lutita-arenisca terciarias.

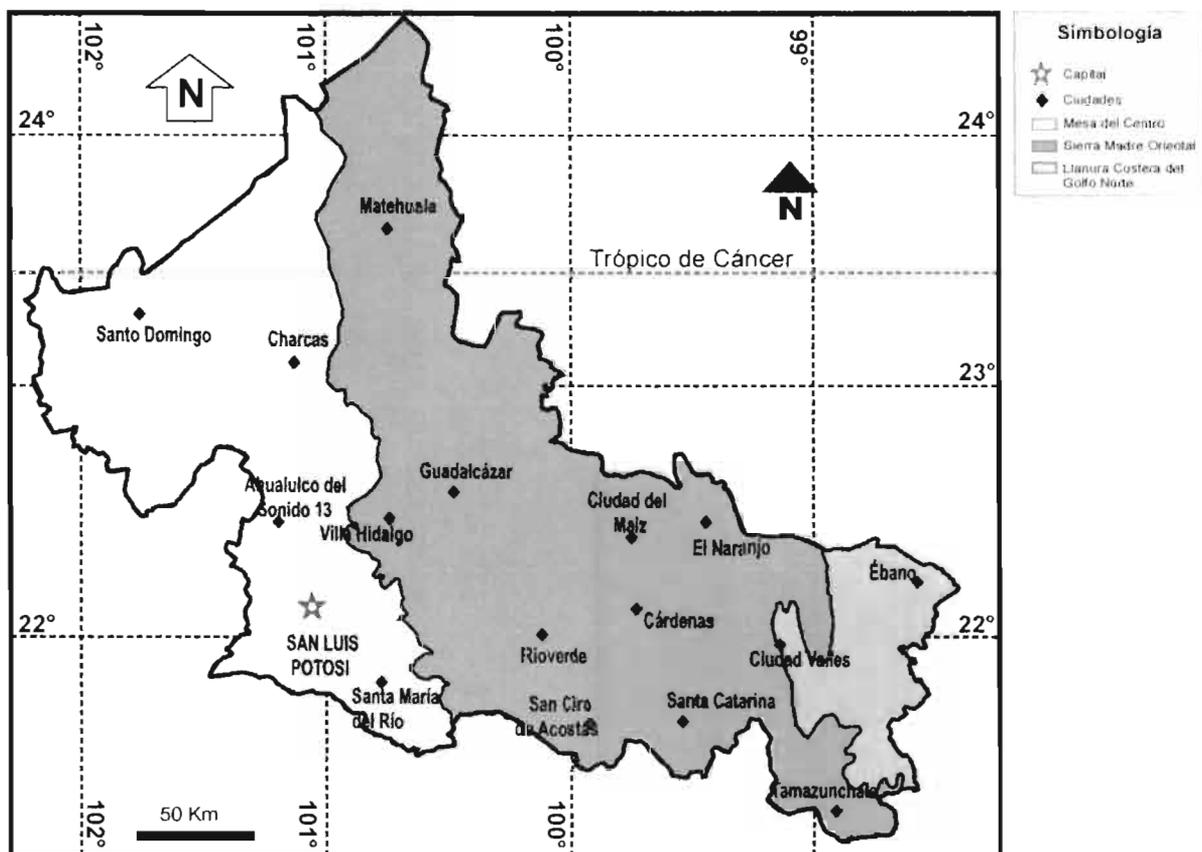


Figura 5. Fisiografía de San Luis Potosí (Modificada de INEGI).

Geología regional.

Las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental y Mesa Central y la poseen un basamento cristalino Precámbrico-Paleozoico que no aflora y sobre este descansa parcialmente una secuencia de sedimentos triásicos continentales en el oriente y marinos hacia el occidente, así como rocas volcánicas y sedimentos continentales o marinos someros del Jurásico Inferior a Medio (Barboza-Gudiño et al., 1999). Sobreyace a éstos una secuencia carbonatada marina del Jurásico Superior y Cretácico. El límite entre la Mesa Central y la Sierra Madre Oriental es una zona de falla o lineamiento regional de orientación norte-sur (Nieto-Samaniego et al., 2005).

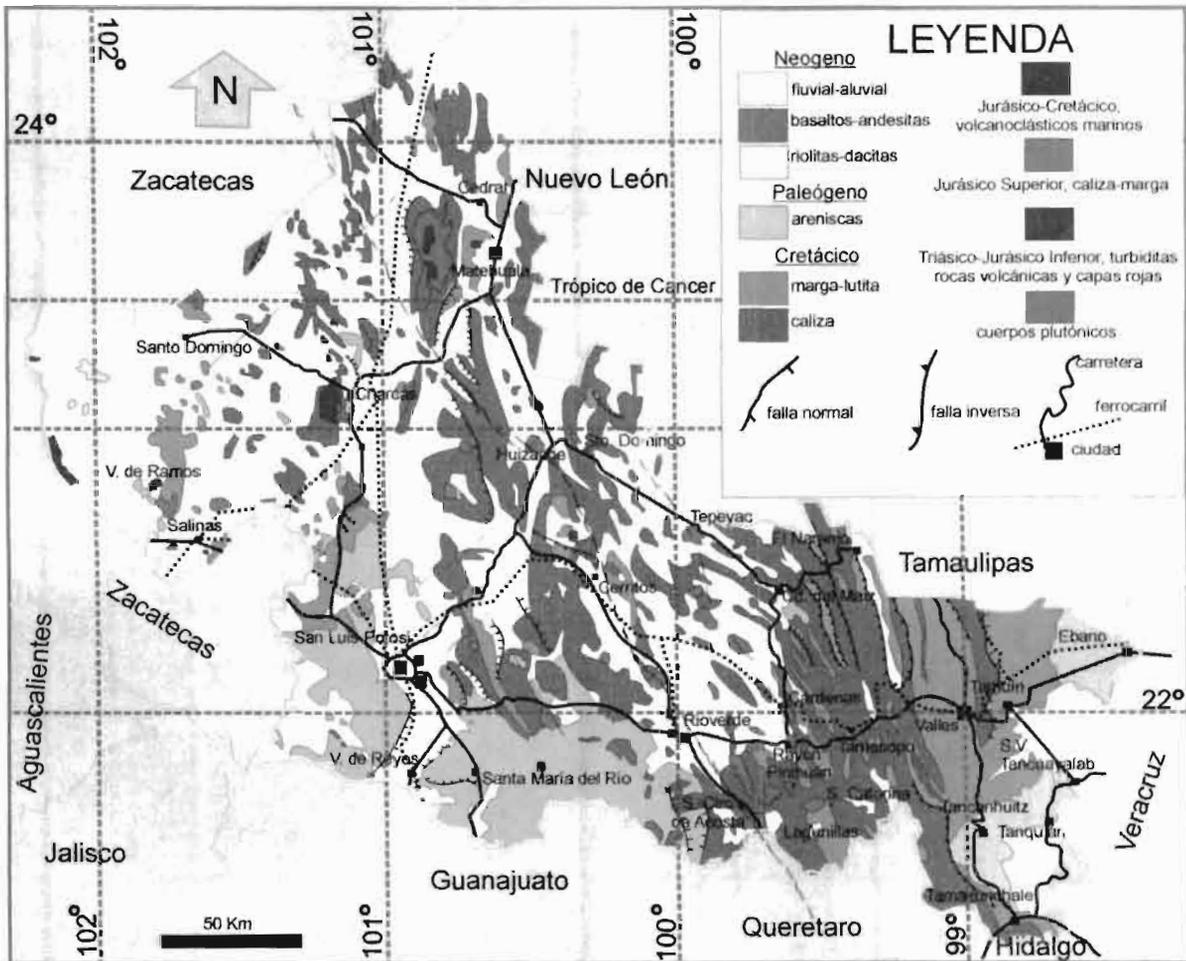


Figura 6. Mapa geológico del Estado de San Luis Potosí (Modificada de carta estatal geológica 1:700,000).

La Mesa Central es un bloque levantado con fallamientos internos de tipo normal y una componente lateral izquierda de orientación noroeste-sureste, así como algunas fallas noreste-suroeste con componente lateral derecha, principalmente hacia el límite con la Sierra Madre Oriental . (Barboza-Gudiño et al., 2004).

Se han estudiado fallas norte-sur que posiblemente aparecieron desde el Paleógeno, aunque a las mismas se asocian algunos basaltos miocénicos así como a las fallas noroeste-sureste (Barboza-Gudiño et al., 2004). Aparentemente también ocurrieron intrusiones de magmas basaníticos poco diferenciados del Plioceno-Pleistoceno a lo largo de estas fallas norte-sur. (Aranda-Gómez et al., 2005).

No se han detectado hasta el momento evidencias físicas de actividad reciente en éstas fallas, aunque podría haber alguna relación con los fenómenos telúricos referidos en este trabajo.

Estratigrafía de la zona media del estado de San Luis Potosí

## **CRETÁCICO INFERIOR**

### **FORMACIÓN GUAXCAMÁ**

#### **Hauteriviano- Aptiano**

##### a) Definición

Denominada informalmente con este nombre por Martínez (1965), quien la describe como una secuencia evaporítica. La localidad tipo se encuentra a 25 km al suroeste del Municipio de Cerritos, S.L.P., en los alrededores de la mina de Guaxcamá.

##### b) Distribución

Aflora en los anticlinales de Santo Domingo y Guaxcamá (Carrillo-Bravo, 1971)

##### c) Litología

Capas de 5 a 50 cm de espesor de yeso y anhidrita blanca, bien estratificada, finamente bandeada por presencia de material arcilloso. Esporádicamente se encuentra caliza microcristalina y dolomita (Carrillo-Bravo, 1971).

# Columna estratigráfica

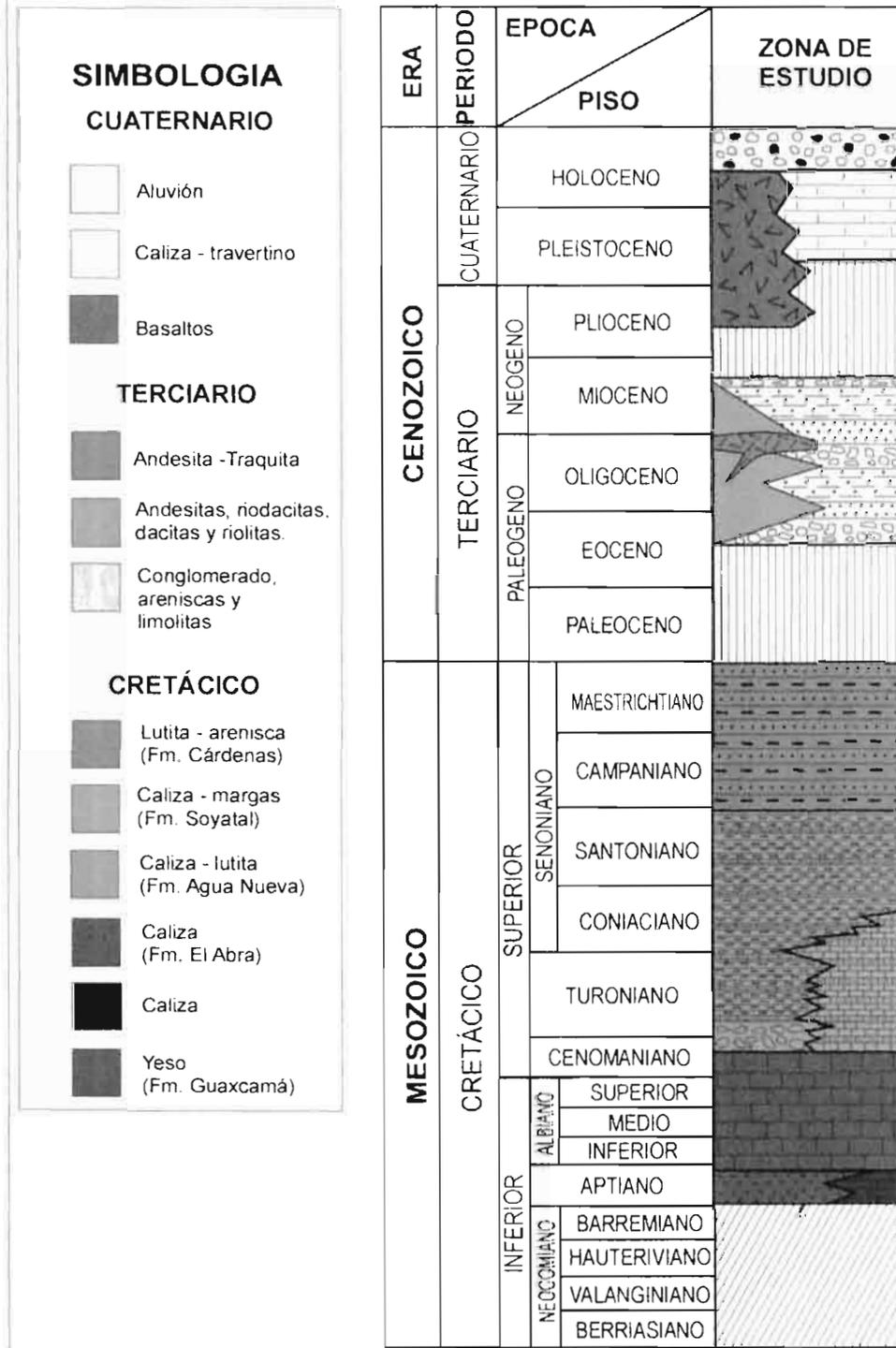


Figura 7 Columna estratigráfica de la zona media de San Luis Potosí, construida en base a las unidades sedimentarias descritas por De la Fuente-Navarro (1964) y volcánicas según Labarthe-Hernández et al. (1989), y Aranda-Gómez et al (2005).

d) Relaciones estratigráficas

Se encuentra subyaciendo concordantemente a la Formación El Abra en la sierra de Guadalcázar, S.L.P.

e) Edad y correlación

Martínez (1965) le asigna una edad Neocomiano-Aptiano. Carrillo-Bravo (1971) considera que su límite inferior puede abarcar desde el Berriasiano. En base a la asociación faunística, Aguilar (1984) le ha asignado una edad del Hauteriviano-Aptiano.

## **FORMACIÓN EL ABRA**

### **Albiano - Cenomaniano**

a) Definición

Originalmente descrito por Garfias (1915, en Carrillo-Bravo 1971), aplicado por primera vez por Power (1925, en Carrillo-Bravo, 1971) y elevada por Kellum (1930) a la categoría de formación. Su localidad tipo se encuentra en la Sierra de El Abra, sobre la carretera Cd. Valles-Tampico a 10 Km al este de Ciudad Valles, S.L.P (Aguayo-Camargo, 1998).

b) Distribución

Distribución amplia, desde Ciudad del Maíz y Tamasopo hasta cerca de la ciudad de San Luis Potosí.

c) Litología y espesor

Consta de calizas gris-crema claro, desde blanquecinas hasta oscuras, densas, compactas, con estratificación media a gruesa que varía de 20 cm a 1.5 m, presentándose hasta de 5 ó 6 m de espesor y ocasionalmente más gruesas. Presentan también líneas estilolíticas en algunos horizontes. Las calizas contienen pedernal en poca cantidad principalmente en forma de nódulos o pequeños bandeamientos, su color varía de negro, blanquecino a pardo rojizo. Algunos fósiles se encuentran reemplazados por pedernal (De la Fuente-Navarro, 1964). Contiene además zonas dolomitizadas constituídas por cristales aislados que llegan a formar verdaderos cuerpos con un alto porcentaje de dolomita Fries

(1960), considera que la dolomitización de esta formación fue contemporánea a su litificación.

Su espesor es variable; oscila de los 1000 m en las cercanías de la ciudad de San Luis Potosí a más de 2000 m hacia el oriente donde su base no ha sido observada, pero según secciones realizadas por el Heim (1925) en su informe "Sketch of the railway section from Cárdenas to Tamasopo", debe tener un espesor mayor a los 2000 m. Se encuentra muy plegada como consecuencia de esfuerzos que también produjeron metamorfismo dinámico. Se observa recristalización en algunas partes y un proceso de disolución que dejó numerosas dolinas, cavernas y zonas de alteración que dan lugar a una topografía kárstica.

#### d) Relaciones estratigráficas

Sobreyace a la Formación Guaxcamá y en su base De la Fuente Navarro (1964) describe algunas capas calcáreas con fauna del Aptiano. La Formación El Abra subyace a su vez discordante a la Formación Soyatal (De la Fuente-Navarro, 1964).

#### e) Edad y correlación

En base a los fósiles que se han encontrado, tanto de ambiente arrecifal (*Discyclina schlumbergeri*, *Nummoloculina heimi*...) como nerítico (*Pitonella ovalis*, *Calcisphaerula innominata*), se ha podido determinar que la edad de la Formación es del Albiano – Cenomaniano (De la Fuente-Navarro, 1964).

Es correlacionable con la Formación Cuesta del Cura de la Cuenca Mesozoica del Centro de México.

## **CRETÁCICO SUPERIOR**

### **FORMACIÓN SOYATAL**

#### **Turoniano**

##### a) Definición

Descrita originalmente por White (1948) y posteriormente por Wilson (1955) y otros autores. Wilson *op.cit.*, la describió como una formación que sobreyace a la formación Doctor (actual El Abra) y su contacto parece ser concordante en algunos lugares y discordante en otros. La parte inferior de esta formación está constituida por estratos de 10

a 20 cm de espesor, de caliza gris oscura de grano fino, separados por intercalaciones delgadas de lutita roja. La parte superior consiste de caliza con interestratificación de capas más delgadas de caliza arcillosa y lutita calcárea. Ochoa-Camarillo (1980) menciona que la base de esta unidad consiste de estratos de 10 a 20 cm de espesor de caliza con textura mudstone-wackestone intercalada con lutita negra que intemperizan pardo ocre, y aumenta su espesor hacia la parte superior. Por otro lado, López-Doncel (2002), menciona que esta unidad consiste de caliza, caliza margosa, marga, arenisca fina y lutita que se intercalan localmente con bancos de brecha calcárea.

#### b) Distribución

Tiene amplia distribución desde Santa María del Río a Ciudad Valles abarcando prácticamente toda la zona media del Estado de San Luis Potosí.

#### c) Litología y espesor

Tiene un conglomerado basal que consta de fragmentos medianos a grandes (20 a 40 cm.), sub-redondeados y mal clasificados de calizas pardo claro, crema y negras, a veces fragmentos de pedernal negro, cementados o en matriz de marga calcárea de color claro. Este cuerpo puede tener hasta unos 15 m de espesor (De la Fuente-Navarro, 1964).

La Formación Soyatal consta en general, de lutita verdosa amarillenta y rojiza por oxidación, con estratificación delgada, presenta algunas capas delgadas de caliza arcillosas gris-crema y lentes de arenisca, todas con estratificación de 5 a 20 cm. En niveles superiores se encuentra lutita gris a oscura y negra, fisiles, con algunas intercalaciones de calizas gris-oscuro en cuerpos lenticulares de hasta 10 m y estratificación delgada. También puede presentar arenisca compacta, arcillosa o margosa en capas de 20 a 40 cm en bancos de más de 10 m. Tentativamente se considera que tiene un espesor de 400 m.

#### d) Relación estratigráfica

Sobreyace a las calizas de la Formación El Abra, la discordancia es ligeramente angular y frecuentemente tiene un conglomerado basal irregular.

e) Edad y correlación

Según De la Fuente-Navarro (1964), se han encontrado fósiles, algunos son *Globigerina*, *Heterohelix*, *Gloobotruncana*, fragmentos de moluscos, entre otros, lo cual determina que son de una edad Turoniana.

## **FORMACIÓN AGUA NUEVA**

### **Turoniano**

a) Definición

De la Fuente-Navarro (1964) la describe como Formación Agua Nueva en la zona media del estado de San Luis Potosí, constituida por caliza gris oscura a negra, laminar, con intercalaciones de caliza margosa, marga y lutita en capas de 5 a 20cm, con algunos bandeamientos de pedernal negro. Aproximadamente en la parte media de la formación el mismo autor describe un conglomerado que consta de fragmentos de calizas gris-crema a gris oscuro, hasta de 40 cm de diámetro, sub-redondeados, con fragmentos de macrofauna en matriz compuesta de caliza gris oscura margosa, oolítica. El espesor de este conglomerado llega a alcanzar los 20 metros.

b) Distribución

Aflora en la zona de "La Calera" sobre la carretera de San Luis Potosí a Río Verde.

c) Litología y espesor

Consta de fragmentos sub-redondeados de caliza color crema con macrofauna entera y pedernal blanco lechoso, también contiene fragmentos más escasos de caliza negra; la matriz es una caliza gris oscura micrítica. El espesor máximo que se considera a la Formación Agua Nueva es de 500 m a 600 m (De la Fuente-Navarro, 1964).

d) Relaciones estratigráficas

Descansa sobre la Formación El Abra. Aunque es de la misma edad que la Formación Soyatal, no hay reportes de interdigitación entre estas formaciones en la zona de estudio.

e) Edad y correlación

La edad se determinó con los fósiles: *Heterohelix*, *Calcisphaerula innominata*, *Globotruncana lapparenti tricarinata*, *foraminiferos*, entre otros, indicando una edad del Turoniano (De la Fuente-Navarro, 1964).

## **FORMACIÓN CÁRDENAS**

### **Maastrichtiano-Campaniano**

a) Definición

Descrita por Myers (1968). Esta formación estudiada en el Sinclinal de Cárdenas está dividida, según el autor en tres miembros, que se designan informalmente. El inferior de 180 m de espesor de capas alternantes de lutita, arenisca y biospatita; el miembro medio de 445 m de lutita y limolita y el superior de 430 m de limolita, arenisca y biosparrudita.

b) Distribución

Aflora ampliamente al oriente del camino Río Verde –Arroyo Seco, en los afloramientos de la localidad tipo en los alrededores de Cárdenas y Alaquines, así como a lo largo de numerosas estructuras sinclinales de toda la región.

c) Litología y espesor

Consta de lutita gris oscuro, margosa y en algunas partes arenosa con intercalaciones de arenisca gris verde y plomo amarillento de 10 a 60 cm de espesor, compactas, de grano fino a medio que a veces cambian vertical y horizontalmente a lutitas grises y esporádicamente a verdaderas calcarenitas formadas por fragmentos de macrofauna. Todos estos cuerpos son lenticulares, aunque existen algunos horizontes de calizas oolíticas y calcareníticas. Se han medido más de 3000 m de espesor de sedimentos que corresponden a esta formación (De la Fuente-Navarro, 1964).

d) Relaciones estratigráficas

Descansa discordantemente sobre la Formación El Abra y solo en el Rancho La Sanguijuela, al poniente de Lagunillas, S.L.P., se observa cubriendo a la Formación Agua Nueva.

#### e) Edad y correlación

El contenido en micro y macro-fauna es grande y variado, se encuentran *Pseudorbitoides*, *Globotruncana*, *Annomalina*, *Bolivina incrasata*, entre otros, pudiendo ubicar esta Formación en el Campaniano- Maastrichtiano, sin alcanzar el tope del Cretácico (De la Fuente-Navarro, 1964).

## CENOZOICO

Cubriendo las rocas mesozoicas se pueden encontrar rocas continentales, sedimentarias y volcánicas que marcan un cambio entre el medio marino que imperó durante el Mesozoico y el continental del Cenozoico cuyos depósitos yacen de manera discordante sobre los primeros.

Los depósitos sedimentarios han sido poco estudiados y frecuentemente no se conoce su edad precisa y son confundidos con rellenos aluviales recientes, sin embargo, la presencia de algunos vertebrados fósiles así como las relaciones estratigráficas con las rocas volcánicas de las que si existen algunas edades absolutas, indican que en algunas zonas se depositaron sucesiones de espesores considerables de conglomerado, arenisca y limolita del Paleógeno y Neógeno. En algunos casos la compactación y colores que denotan procesos diagenéticos y de alteraciones diversas, son indicativos de una edad por lo menos mas antigua que el Plioceno-Pleistoceno.

En cuanto a las rocas volcánicas, para la zona media de San Luis Potosí, especialmente hacia su parte occidental, en sus límites con las zonas Centro y altiplano del mismo estado, se observan andesitas, dacitas, riódacitas y riolitas, en forma de flujos de lava, domos y productos piroclásticos, todos estos depósitos abarcan un rango de edades del Eoceno al Mioceno (Labarthe-Hernández *et al.*, 1989 y Garza-Blanc, 1978). Finalmente hacia el fin del Mioceno y en el Cuaternario, se presentó un volcanismo máfico, que produjo coladas de basaltos, derrames, conos cineríticos, algunas tobas asociadas y xalapazos o maars, producto de explosiones freatomagmáticas (Aranda-Gómez *et al.*, 2005).

## **CUATERNARIO**

Se encuentra representado por una variedad de sedimentos continentales, caliza lacustre, travertino y caliche (sedimentos de origen químico), conglomerados, gravas, arenas y limos (sedimentos de origen mecánico) según su sitio de depósito, además de los productos volcánicos máficos ya mencionados y que son característicos desde el Mioceno y Plioceno.

## **CALIZAS**

En las cercanías del Ejido "Álvaro Obregón", coronando a dos cerros, se encuentran unas calizas grumosas, masivas de unos 10m de espesor, de color gris lechoso que fueron interpretadas por De la Fuente-Navarro (1964), como posibles calizas de agua dulce (lacustres).

## **TRAVERTINOS**

En el Valle de Río Verde se observan en los cortes del río del mismo nombre unos cuerpos de travertino poroso, bien estratificado, color gris amarillento, intercalados hacia la parte media de lo expuesto, hay depósitos de caída de ceniza de color pardo oscuro y amarillentas, también estratificadas. Sobreyaciendo estos piroclásticos, hay nuevamente otro cuerpo de travertinos que tienen fauna removilizada, propia de la Formación Cárdenas, así como clastos de las calizas de la Formación El Abra.

## **CALICHE**

Distribuido irregularmente y cubriendo las partes bajas de las sierras, se encuentran depósitos de caliche blanquecinos que cubren las rocas calcáreas resistentes a la erosión. Este caliche es representativo del ciclo climático desértico a que ha estado expuesta esta zona en tiempos posteriores a la denudación intensa que labró la topografía actual.

Los sedimentos gruesos se sitúan en los ríos o sus cercanías y también intercalados indicando que ocurrieron algunas inundaciones.

## ESTRUCTURA REGIONAL

Las rocas sedimentarias mesozoicas, pertenecientes esencialmente a la Plataforma Valles-San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1971), fueron plegadas a fines del Cretácico Superior y durante el Terciario Inferior, por efecto de la Orogenia Laramídica, lo cual dio origen a gran parte de los rasgos estructurales de esta área, siendo notables la gran cantidad de anticlinales y sinclinales, cuyos ejes tienen dirección NNW debido a los esfuerzos compresivos ENE de la orogenia. Además de algunas cabalgaduras que esencialmente ocurren más al oriente con un transporte tectónico hacia el este-noreste, en el frente de la Sierra Madre Oriental, también se han reportado algunos ejemplos de estas estructuras en la Sierra de Álvarez, al poniente del área de estudio (Tristán-González y Torres-Hernández, 1992).

Debido a la litología dominante que consiste de calizas con estratificación gruesa a masiva, las estructuras plegadas son amplias o en forma de cajón o cofre o en algunos casos pliegues asimétricos, o bien, especie de monoclinales en flexuras comúnmente asociadas a zonas de despegue o de las cabalgaduras citadas. Algunas estructuras plegadas mayores en la región son descritas por Carrillo-Bravo (1971).

Las estructuras producto de la extensión cenozoica en la zona, no han sido muy documentadas, sin embargo existen fallas normales norte-noroeste, compatibles con la extensión este-oeste a noreste que se ha registrado para la región y posiblemente prevalezca en la actualidad como lo ha propuesto Suter (1991).

Algunas de las estructuras delimitan o se encuentran en las márgenes de amplios valles con rellenos aluviales a manera de estructuras tipo fosa tectónica o graben a medio graben, coinciden de manera general con lineamientos regionales, como se aprecia en la figura 8.

Además se encuentran evidencias de actividad volcánica de edad Plioceno-Pleistoceno (Aranda-Gomez et al., 2005), tanto conos volcánicos como derrames fisurales y xalapascos siguiendo en general una dirección N- NW en la zona de estudio, lo cual se

asocia evidentemente con estructuras mayores o regionales tipo fallas o zonas de debilidad cortical en esa posición.

Por otro lado, debido a que el terreno kárstico sufrió colapsos, dio origen a la formación de varias dolinas principalmente en las zonas media y huasteca del estado y la asociación de varias de estas estructuras ha producido estructuras mayores, tipo "poljes", con márgenes escarpadas a las que se asocian algunos depósitos tipo avalanchas de escombros.

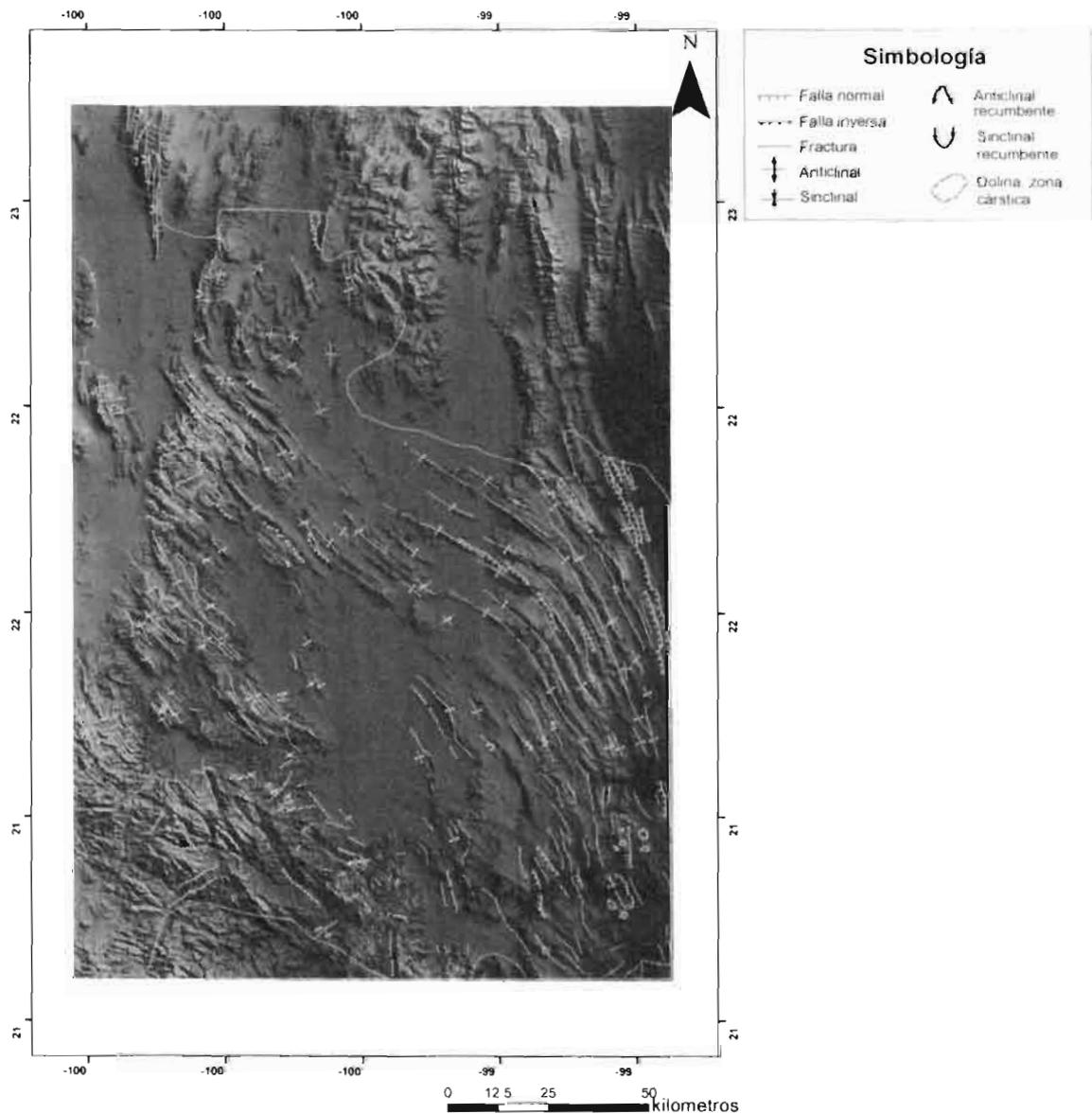


Figura 8. Mapa estructural regional de la zona media sobrepuesto en imagen de proyección de elevaciones. Las estructuras representadas fueron tomadas de la cartografía 1:500 000 del Servicio Geológico Mexicano

## Sismicidad en México.

Los terremotos son producto de la ruptura de un segmento de la corteza terrestre por una deformación gradual de las rocas ocasionando un desplazamiento relativo de los bloques involucrados y la liberación de la energía acumulada que ha sido producida por los procesos tectónicos. Estos procesos también pueden ser desencadenados por sacudidas bruscas del terreno al chocar las placas tectónicas, al haber algún proceso volcánico o por el desplome del techo de cavidades en zonas kársticas, entre otros.

Se ubica su origen en un solo punto conocido como foco. Desde el foco de un sismo se propagan las ondas en todas direcciones. El concepto fue introducido por Mallet desde mediados del siglo XIX (Udías, 1999) y es fundamental para la determinación de la localización y tiempo de origen del movimiento telúrico. El foco hacia la profundidad es denominado hipocentro y su proyección vertical es llamada epicentro. El hipocentro se encuentra invariablemente dentro de los primeros 700 km desde la superficie terrestre. La mayoría de los sismos son generados por movimientos a lo largo de un plano de falla, así puede extenderse la región focal por varios kilómetros.

La magnitud de un terremoto es medida en base a la energía liberada. Actualmente existen varias escalas para medir la intensidad de un terremoto, pero la más utilizada es una escala logarítmica denominada escala de "Richter" que al aumentar 1 en la magnitud, implica que se incremente 30 veces la energía liberada (Udías, 1999).

La energía liberada por los terremotos es transmitida a través de la Tierra por diferentes tipos de ondas sísmicas, las cuales se propagan por la deformación elástica de las rocas que atraviesan. Las ondas que penetran el interior de la Tierra son conocidas como ondas internas o de cuerpo y transmiten la energía en todas direcciones a partir del hipocentro (ondas P o compresionales y S o distorsionales). Las ondas que transmiten la energía sísmica a lo largo de la superficie de la Tierra a partir del epicentro se denominan ondas externas o de superficie, también conocidas como ondas "Rayleigh y Love".

Para detectar estas ondas y encontrar el origen del sismo, se utilizan sismógrafos, que son instrumentos que detectan desplazamientos del suelo, variaciones en velocidad o aceleración asociadas al paso de las ondas sísmicas. Éstos aparatos se ubican en diferentes puntos de la superficie terrestre a fin de monitorearla permanentemente y poder

obtener datos de las variaciones de velocidad que presentan las ondas por los fenómenos refracción y reflexión al ocurrir un evento sísmico, así entre los diferentes observatorios o institutos que cuenten con sismógrafos y que hayan detectado el evento se puede realizar una triangulación y con ello determinar la ubicación del epicentro. La profundidad focal se puede determinar si una red sismográfica existe en las inmediaciones del epicentro, por medio de una triangulación en un plano vertical, usando la diferencia de tiempo entre las ondas P-S y calculando la distancia hasta el foco.

La República Mexicana actualmente se ha dividido en cuatro zonas sísmicas en base a los catálogos de sismos de la República Mexicana desde inicios de siglo. Estas zonas reflejan la frecuencia de los movimientos telúricos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar durante un sismo (Figura 9).

- Zona A: no se tienen registros históricos de sismos, ni se han reportado estos movimientos en los últimos 80 años. No se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
- Zonas B y C: son intermedias. se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del Valle de México, pueden esperarse altas aceleraciones.
- Zona D: se han reportado grandes sismos históricos, donde su ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

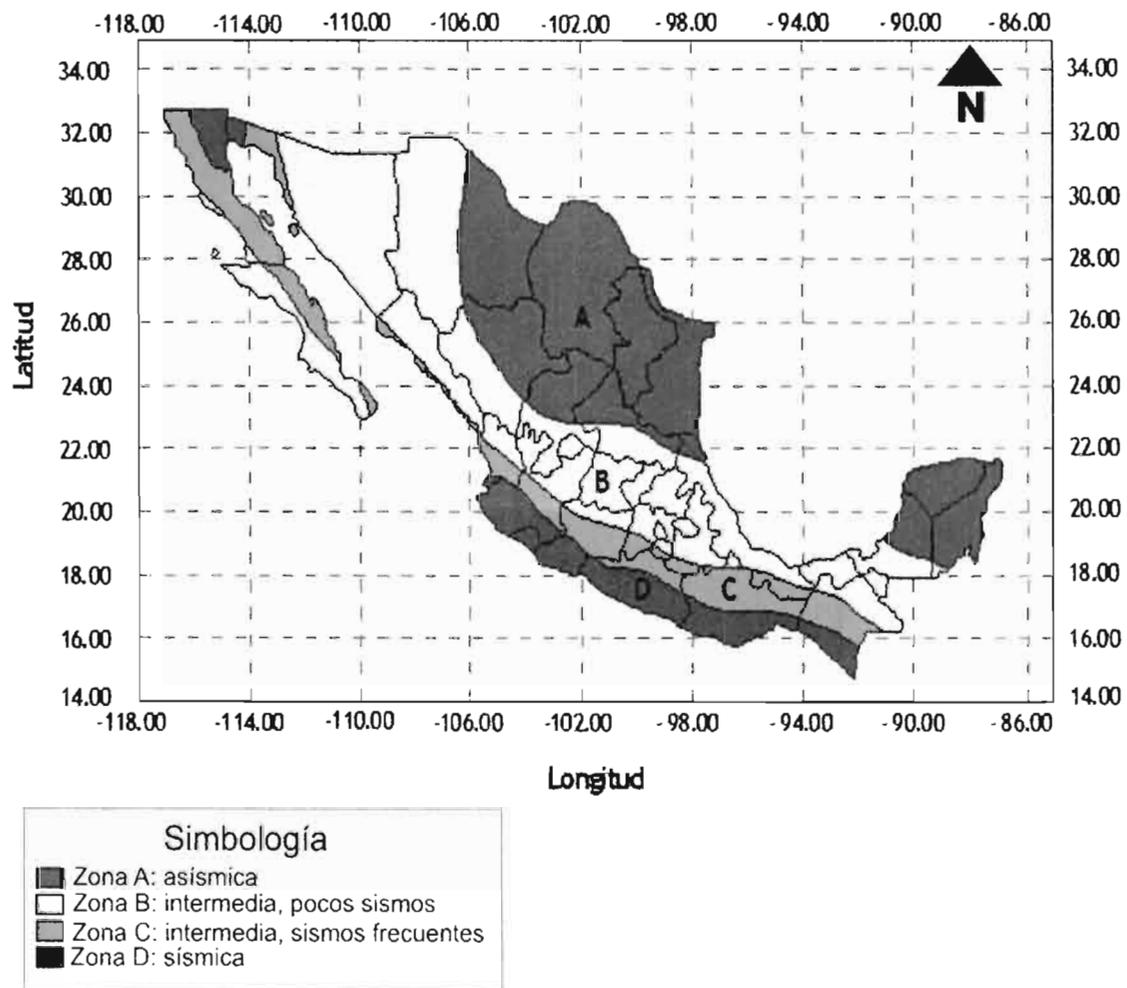


Figura 9. Regiones sísmicas en México (Modificada de Servicio Sismológico Nacional).

México se encuentra situado en una de las regiones sísmicas más activas del mundo. El estudio de la actividad sísmica en este país es relativamente reciente, sin embargo, su observación tiene antecedentes remotos.

La actividad sísmica y volcánica en México ha sido registrada desde sus primeros pobladores, quienes dejaron testimonio de ello de diversas maneras. Durante la colonia, los frailes dejaron descripciones acerca de algunos temblores y posteriormente con ayuda de la invención de la imprenta fue más fácil para naturalistas, publicistas y público en general reportar los datos sismológicos en los periódicos de la época, continuando así hasta que el 5 de septiembre de 1910, por Decreto Oficial se creó e inauguró el Servicio

Sismológico Nacional como una dependencia del Instituto Geológico Nacional, iniciándose así la medición de los temblores por medio de instrumentos. La red inicial estuvo constituida por el Observatorio Central de Tacubaya y estaciones ubicadas en Oaxaca (Oax.), Mérida (Yuc.), Zacatecas (Zac.), Mazatlán (Sin.), Guadalajara (Jal.) y Monterrey (N.L.), las cuales con algunas modificaciones y mejoras han continuando en operación hasta nuestros días.

En 1929, el Instituto Geológico Nacional pasó a ser el Instituto de Geología de la UNAM y el Servicio Sismológico formó parte de este nuevo Instituto. Posteriormente, en 1949, se creó el Instituto de Geofísica y el Servicio Sismológico pasó a formar parte del mismo, cobrando vida hacia 1965-1967, cuando se instalaron estaciones de mayor sensibilidad en Tehuantepec, Vista Hermosa, Comitán, Toluca, León, Presa Infiernillo, Presa Mal Paso, Ciudad Universitaria, Tepoztlán y Popocatépetl. En 1970 se instaló una red de estaciones en el noroeste del país, controlada actualmente por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE).

Hoy en día, el Servicio Sismológico opera una red de 35 estaciones, jugando así un papel muy importante en el desarrollo de la sismología en México, trabajando junto con el Instituto de Geofísica en el Departamento de Sismología y Vulcanología; con el Instituto de Ingeniería enfocando su trabajo principalmente a problemas de riesgo sísmico y manejando una red de estaciones telemétricas (SISMEX) y con el CICESE, que estudia la actividad sísmica asociada tanto al Golfo de California como a la Falla de San Andrés.

Actualmente, algunas instituciones de enseñanza superior en el interior de la República se han interesado por el estudio de la sismicidad regional y han colocado ya tres redes locales: la red de Oaxaca instalada y operada por el Instituto Tecnológico Regional de Oaxaca, la red de Puebla instalada en 1984 por la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Puebla y la Red Sismológica de Colima (RESCO) instalada entre 1989 y 1991 por el Centro Universitario de Investigación en Ciencias Básicas de la Universidad de Colima. Esta última es la primer red en nuestro país cuyo propósito es la vigilancia del volcán de Colima o volcán de fuego.

Así mismo, otros estados en breve planean instalar más redes sismológicas, como Chiapas para observar el comportamiento del volcán Tacaná, así como la Dirección Estatal de Protección Civil del Estado de San Luis Potosí en colaboración con el Instituto de Geología de la UASLP, para el estudio de los movimientos en este territorio.

## **1. El registro sísmico en el estado de San Luis Potosí.**

Revisando diversas fuentes bibliográficas se obtuvo el registro de varios movimientos telúricos en la región, desde los registros de testimonios de la población en medios publicados y resguardados en archivos históricos y hemerotecas o bibliotecas, hasta la sismicidad registrada y reportada por el servicio sismológico nacional y los registros de las campañas locales que en años más recientes, en los estados de Querétaro y San Luis Potosí ha realizado el personal del Centro de Geociencias UNAM con sede en Juriquilla, Querétaro y el Instituto de Geología de la UASLP.

Como se puede constatar en la información recopilada de archivos y hemerotecas, la sismicidad en el estado de San Luis Potosí no es una manifestación de un fenómeno en los últimos tiempos, sino que en la actualidad los medios de comunicación, los registros de la red sismológica nacional o de las organizaciones tanto de protección civil como académicas, han propiciado la mayor difusión de este tipo de eventos, sin embargo, existen registros en la prensa del estado y zonas aledañas de sismos que pudieron rebasar magnitudes de 4 e incluso 5, basados en los testimonios de la población que describen eventos aislados, los lugares que afectaron y en algunos casos verdaderas crisis sísmicas bien documentadas y localizadas.

Algunas de las notas que en relación con el tema del presente trabajo fueron publicadas en periódicos antiguos son las siguientes:

### **EL ESTANDARTE, SLP, 27 de noviembre de 1887.**

**“Ayer a las 5:04 am se sintió en esta ciudad, en una gran extensión, un ligero temblor oscilatorio, de oriente a poniente, que duraría de 3 a 4 segundos....”**

### **MOMENTO, SLP, 24 de agosto de 1993.**

**“Inusual temblor sacudió ayer la cabecera municipal de Ciudad del Maíz causando alarma entre la población... se registró a las 6:15 hr de acuerdo a los datos proporcionados por la Comisión Federal de Electricidad y habitantes de esa localidad, con duración de 5 segundos aproximadamente....”**

**EL SOL DE SAN LUIS, SLP, 31 de agosto de 1993.**

“Una serie de movimientos de tierra, atribuidos a acomodamientos de la corteza terrestre, produjo confusión y temor entre los dos mil habitantes de la comunidad Presa del Tepetate, del municipio de Guadalcázar...”

**PULSO, SLP, 3 marzo 1994.**

“Temblores de tierra de baja intensidad se han registrado en Pinihuán, municipio de Lagunillas, desde el pasado 24 de febrero...El primer temblor se registró a las 11:30 de la mañana del 24 de febrero, antecedido por un estruendo bajo la tierra...Ese mismo día se registró otro temblor a las 9 de la noche y otros más conforme pasan los días. Ayer se sintieron dos temblores, a las 5 y 5:30 de la mañana...”

**PULSO, SLP, 20 julio 2006.**

“Alrededor de las 23:30 horas del martes, en la cabecera municipal, en la zona de Pasquines y en el entronque con la carretera Valles- Ríoverde se sintió un fuerte estruendo que provocó la alarma entre sus habitantes... El Servicio Sismológico Nacional confirmó el movimiento telúrico en su página oficial de Internet...”

**SAN LUIS HOY, SLP, 30 noviembre 2006.**

“Un fuerte estruendo acompañado de un temblor de tierra se registró este miércoles en la Cabecera Municipal de Tamasopo aproximadamente a las 11: 25 horas, provocando el pánico entre los habitantes del municipio...”

**HUASTECA HOY, SLP, 12 febrero 2007.**

“Hasta 13 estruendos sintieron alrededor de 500 habitantes de la comunidad de Rancho Nuevo perteneciente a Tamasopo, pero el momento de mayor pánico ocurrió alrededor de las

22:00 hrs cuando se suscitó el más fuerte de los movimientos de tierra...El Servicio Sismológico Nacional no registró ningún movimiento telúrico en la entidad, por lo que todo indica que de nueva cuenta los estruendos se debieron a reajustes de tierra a causa del subsuelo cavernoso que existe bajo Tamasopo...”

PULSO, SLP, 13 febrero 2007.

“Otros 2 estruendos bajo tierra se registraron ayer por la mañana en este municipio...el primero se registró a las 7 de la mañana y 2 horas después, alrededor de las 9 hrs hubo un segundo estruendo...”

Los epicentros que de manera aproximada se pueden establecer a partir de estas notas, así como otros sismos que ya han sido documentados, se incluyen en la siguiente tabla:

<b>Año (fecha y hora)</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Epicentro (observaciones)</b>	<b>Reportado en:</b>	<b>Fuente</b>
28 abril 1841 20:32 hrs			Mazapil, Zac.	San Luis Potosí; La Tierra y el Hombre, Montejano-Aguiñaga , 1997, p.17
7 abril 1845			D.F. San Luis Potosí, SLP	San Luis Potosí; La Tierra y el Hombre, Montejano-Aguiñaga , 1997, p.17
7 abril 1868			Villa Hidalgo, SLP	Archivo histórico, Periódico Oficial "La Sombra de Zaragoza" No. 152 p.3
22 mayo 1868			Villa Hidalgo, SLP	Archivo histórico, Periódico Oficial "La Sombra de Zaragoza" No. 144 p.4
20 octubre 1868			Villa Hidalgo, SLP	Archivo histórico, Periódico Oficial "La Sombra de Zaragoza" No. 173 p.4
21 octubre – 4 noviembre 1868		Se instala albergue en SLP. Se reúnen fondos para damnificados	Villa Hidalgo, SLP	Archivo histórico, Periódico Oficial "La Sombra de Zaragoza" No. 174 p.4
Abril a noviembre 1868			Villa Hidalgo, SLP	
1, 6 noviembre 1868			Villa Hidalgo, SLP	Archivo histórico, Periódico Oficial "La Sombra de Zaragoza" No. 175 p.4
1885	Se forma un cráter		Entre Lagunillas y Tanlacú	San Luis Potosí; La Tierra y el Hombre, Montejano-Aguiñaga , 1997, p.17
8 mayo 1887			Arroyo Seco - Jalpan – Landa – Pinal, Qro.	SSN
26 noviembre 1887	5.3		Arroyo Seco - Jalpan – Landa – Pinal, Qro.	SSN
26 noviembre 1887 5:04 am			Sta. Ma. Del Río, Cerritos, Rioverde, Valles, Alaquines, San Luis Potosí, SLP	Periódico Oficial No. 912, p.3.
14 octubre 1895	Ruidos subterráneos ensordecedores		Santa Catarina, SLP	San Luis Potosí; La Tierra y el Hombre, Montejano-Aguiñaga , 1997, p.17

17 octubre 1895	Se forma joya cuadrangular		Santa Catarina, SLP	San Luis Potosí; La Tierra y el Hombre, Montejano-Aguiñaga , 1997, p.17
1908			Pozas de Santa Ana	San Luis Potosí; La Tierra y el Hombre, Montejano-Aguiñaga , 1997, p.17
1943			Carretera Huizache - Santo Domingo, SLP	Sr. Antonio Martínez Mtz., Villa Hidalgo, SLP
1943 – 1945		Santo Domingo, Mpio. Guadalcázar, SLP.		Sr. Antonio Martínez Mtz., Villa Hidalgo, SLP
1° enero 1988	4.2		Cerritos, SLP.	SSN
10 septiembre 1989	4.6		Landa de Matamoros, Qro.	SSN
23 de agosto de 1993 6:15 hr			Ciudad del Maíz, SLP	CFE y habitantes Periódico Momento, SLP, 24 agosto de 1993.
30 Agosto 1993 20:00 y 20:30 hr			Guadalcázar, SLP	Periódico El Sol de San Luis, 31 de agosto de 1993.
31 agosto 1993 1:00 am	Hasta 3.5 basados en descripciones de lugareños		Guadalcázar, SLP	Periódico El Herald, SLP, 1° septiembre de 1993.
Agosto 1993	Hasta 4.7		Ciudad del Maíz, Tamasopo, Valles, SLP	Periódico El Sol de San Luis, 31 de agosto de 1993.
24 febrero 1994 11:30am y 21:00			Pinihuán, mpio. Lagunillas, SLP	Periódico PULSO, SLP, 3 marzo 1994.
2 marzo 1994 5 y 5:30			Pinihuán, mpio. Lagunillas, SLP	Periódico PULSO, SLP, 3 marzo 1994.
1994			Ciudad del Maíz, SLP	San Luis Potosí; La Tierra y el Hombre, Montejano-Aguiñaga , 1997, p.17
1995	7.5	Colima, Col. Se sintió en SLP.	SLP	San Luis Potosí; La Tierra y el Hombre, Montejano-Aguiñaga , 1997, p.17
8 enero 1998 22:00			El Temazcal, Armadillo de los Infante, SLP.	Habitantes de la comunidad.
2000		Cerritos, SLP	Cerritos, SLP	SSN

Mayo 2000			Cerritos, SLP	Pobladores de Cerritos.
15 diciembre 2001 – enero 2002			Arroyo Seco, SLP	UEPCQ (Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Querétaro)
15 enero a 8 marzo 2002			Armadillo de los Infante, SLP	
21 enero 2003		Colima, Col.	San Luis Potosí, SLP	CFE, en la estación Villa de Reyes.
5 abril 2004 23:13	ruidos y movimientos oscilatorios M=4	A 100km al NE de San Luis Potosí, 60km al NE de Villa de Arista, 40 km al W de Lázaro Cárdenas.	100 km al NE de la capital de SLP	SSN
6 abril 2004 Primeros minutos del día	ruidos y movimientos oscilatorios M=4		Villa Hidalgo, SLP Peutillos y Corcovada, Villa Hidalgo, SLP	
5 julio 2004 2:07 am	4.1	125 km al E de capital de SLP, 30 km al SW de Cd. Del Maiz, 35 km al NE de Río Verde y a 17km al NW de Cárdenas.	125 km al E de capital de SLP	Estación sismológica del CGEO de la UNAM
18 julio 2006 23:30	Movimiento y fuerte estruendo		Tamasopo, SLP	SSN, Periódico Pulso, SLP, 20 de julio de 2006.
29 noviembre 2006 11: 25			Tamasopo, SLP	Periódico SAN LUIS HOY, 30 noviembre 2006
11 febrero 2007	13 Movimientos con fuertes estruendos		Rancho Nuevo, Tamasopo, SLP	Periódico HUASTECA HOY, SLP, 12 febrero 2007
12 febrero 2007 7:00 y 9:00 am	2 movimientos con fuertes estruendos		Rancho Nuevo, Tamasopo, SLP	Periódico HUASTECA HOY, SLP. 13 febrero 2007
26 mayo 2009 21:00:33	4.2	Latitud 22°01' Longitud -99°35'	30km al E de Cárdenas, SLP.	SSN

Los datos más recientes han sido obtenidos por estaciones que se han colocado en los límites de los estados de San Luis Potosí – Querétaro para el monitoreo sísmico de estas regiones, esto fue llevado a cabo por el Dr. Juan Martín Gómez González (CGEO) y el Dr. José Rafael Barboza Gudiño (Instituto de Geología, UASLP), con lo que se han registrado gran cantidad de microsismos, además de varios eventos que ha reportado el Servicio Sismológico nacional en los últimos años y cuyo registro por parte de dicha red sismológica nacional implica que sus magnitudes ha sido superiores a 4.0 o 4.5.

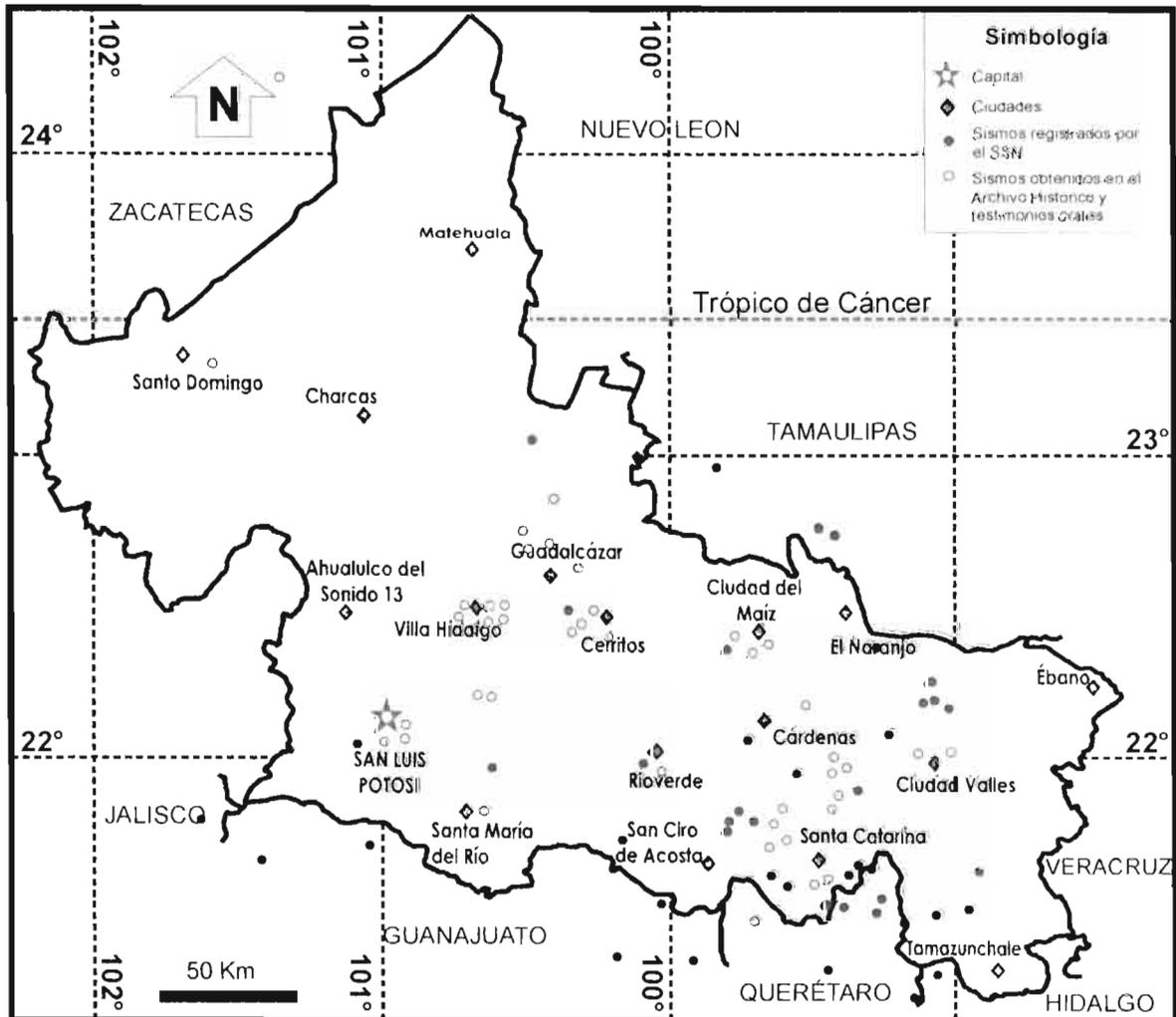


Figura 10. Ubicación de epicentros registrados en San Luis Potosí (modificado de INEGI).

Al ubicar en la imagen de la zona los epicentros que se han documentado, se puede observar la mayor concentración en la zona media, principalmente cerca de los límites con Querétaro (ya que ha sido la zona más estudiada), siguiendo una dirección preferencial N-NW, por lo cual es posible decir que hay 2 corredores principales que podrían considerarse como relacionados a zonas de debilidad cortical o fallas regionales, sismogénicas, las cuales se han denominado lineamiento San Ciro-La Pólvara y Pinihuán-Tepeyac.

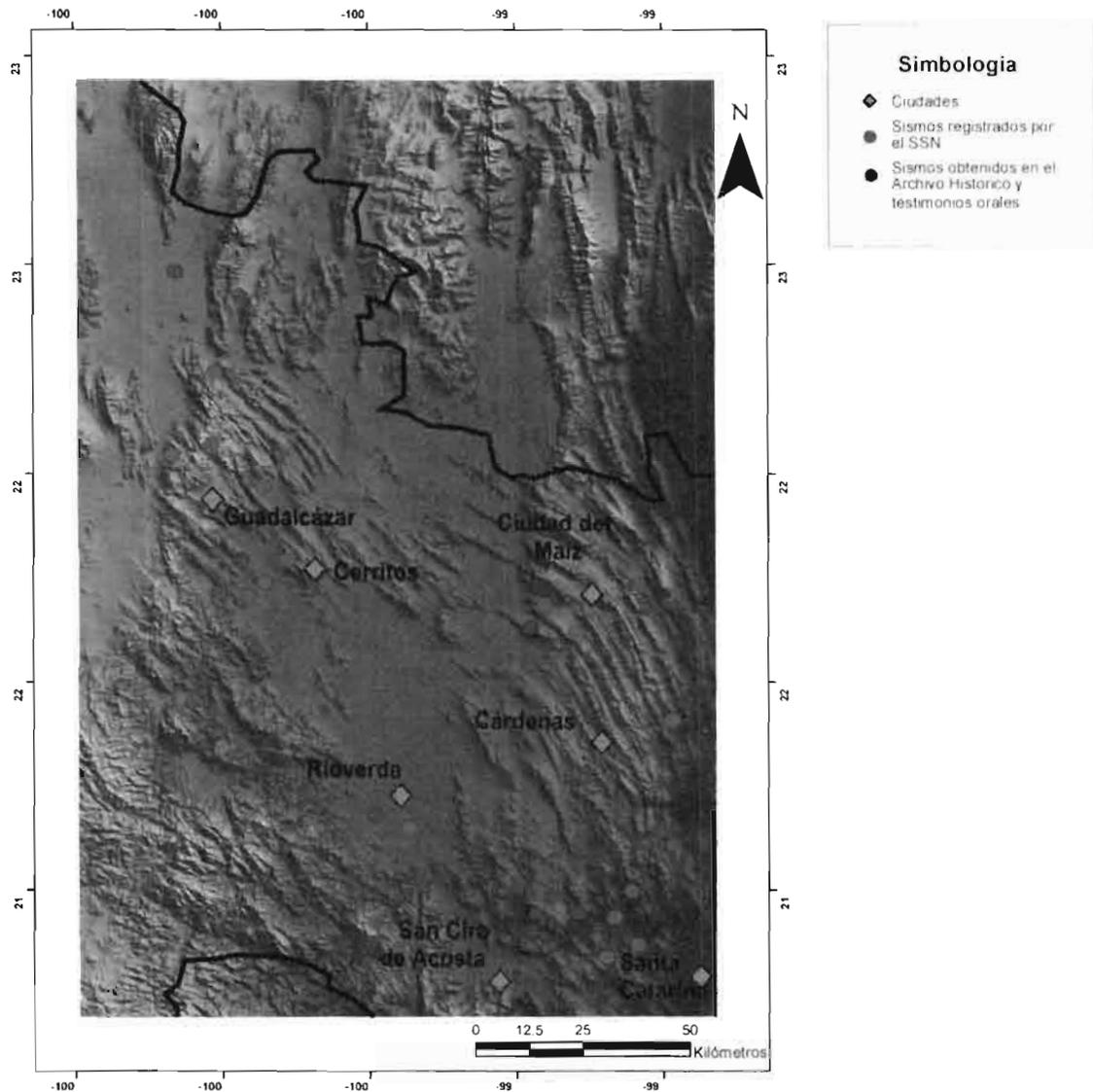


Figura 11. Ubicación de epicentros zona media de San Luis Potosí.

## 2. Posibles estructuras sismogénicas.

Integrando los epicentros aproximados de sismos históricos, los datos de sismos recientes registrados por el Servicio Sismológico Nacional, por las redes locales instaladas o referidos por el testimonio de la población, así como las evidencias de campo tales como los centros volcánicos recientes que ocurren a lo largo de lineamientos regionales o las estructuras de fallas directamente observadas o medidas, es posible hacer algunas sugerencias a cerca de la presencia y naturaleza de estructuras sismogénicas.

En general se ha observado una estrecha relación entre lineamientos regionales a los que se asocian algunos de los centros volcánicos más recientes en la región y los epicentros reportados (Figura 12). Los centros volcánicos con edades regularmente del Plio-Cuaternario, que han arrojado magmas basálticos a basaníticos, los cuales regularmente se interpretan como productos magmáticos provenientes de profundidades grandes, se distribuyen en gran parte del estado de San Luis Potosí como centros de volcanismo intra-placa y en particular su distribución forma alineamientos de conos cineríticos, derrames de fisuras y volcanes de explosión, descritos en la literatura como *maars* o xalapazcos. (Aranda-Gómez et al., 2005). Los alineamientos pueden tener distintas orientaciones, pero en particular en el área de estudio, ocurren en una amplia franja o lo que se describe en este estudio como dos lineamientos paralelos: 1. El lineamiento San Ciro – La Pólvora y 2. El lineamiento Pinihuán– Tepeyac (Figura 13).

Además de las estructuras y productos volcánicos antes mencionados, se encuentran en la zona de Tanlú, al sureste de Santa Catarina, una serie de estructuras tipo dolinas, que son conocidas como joyas. Aunque en esta zona no afloran productos volcánicos, la presencia de estas estructuras y una serie de depósitos de materiales clásticos, esencialmente calcáreos, parcialmente compactados a su alrededor, sugieren un posible origen por explosiones freáticas, cosa que habría de ser confirmada con estudios más detallados, ya que es esta zona la que se ha relacionado con los eventos sísmicos registrados en esta localidad en Octubre de 1895. Cabe además señalar que la localidad de Tanlú se encuentra directamente sobre la continuación hacia el sur de los centros volcánicos alineados desde Cárdenas hasta Pinihuán.

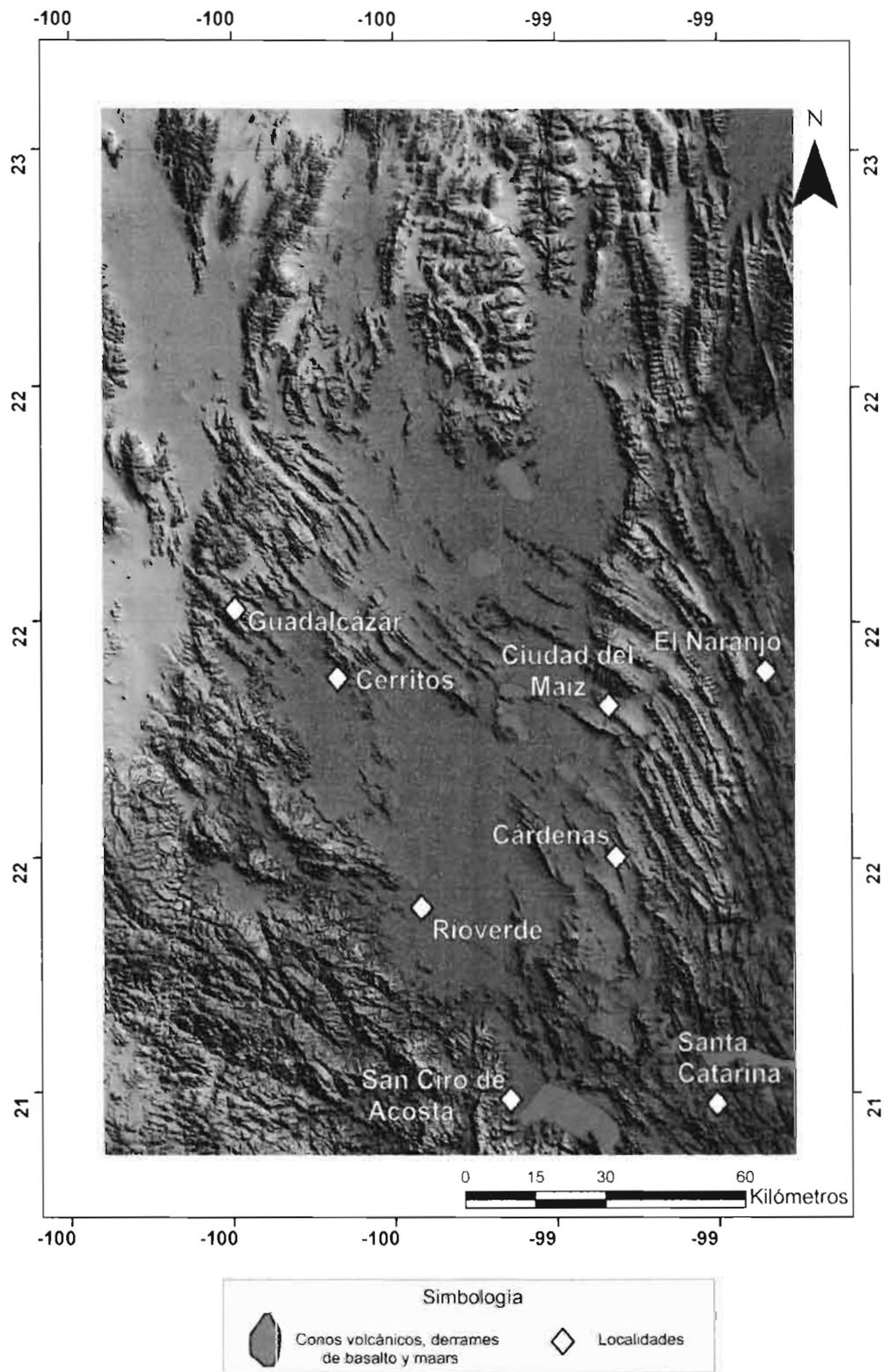


Figura 12. Ubicación de basaltos en imagen de proyección de elevaciones.

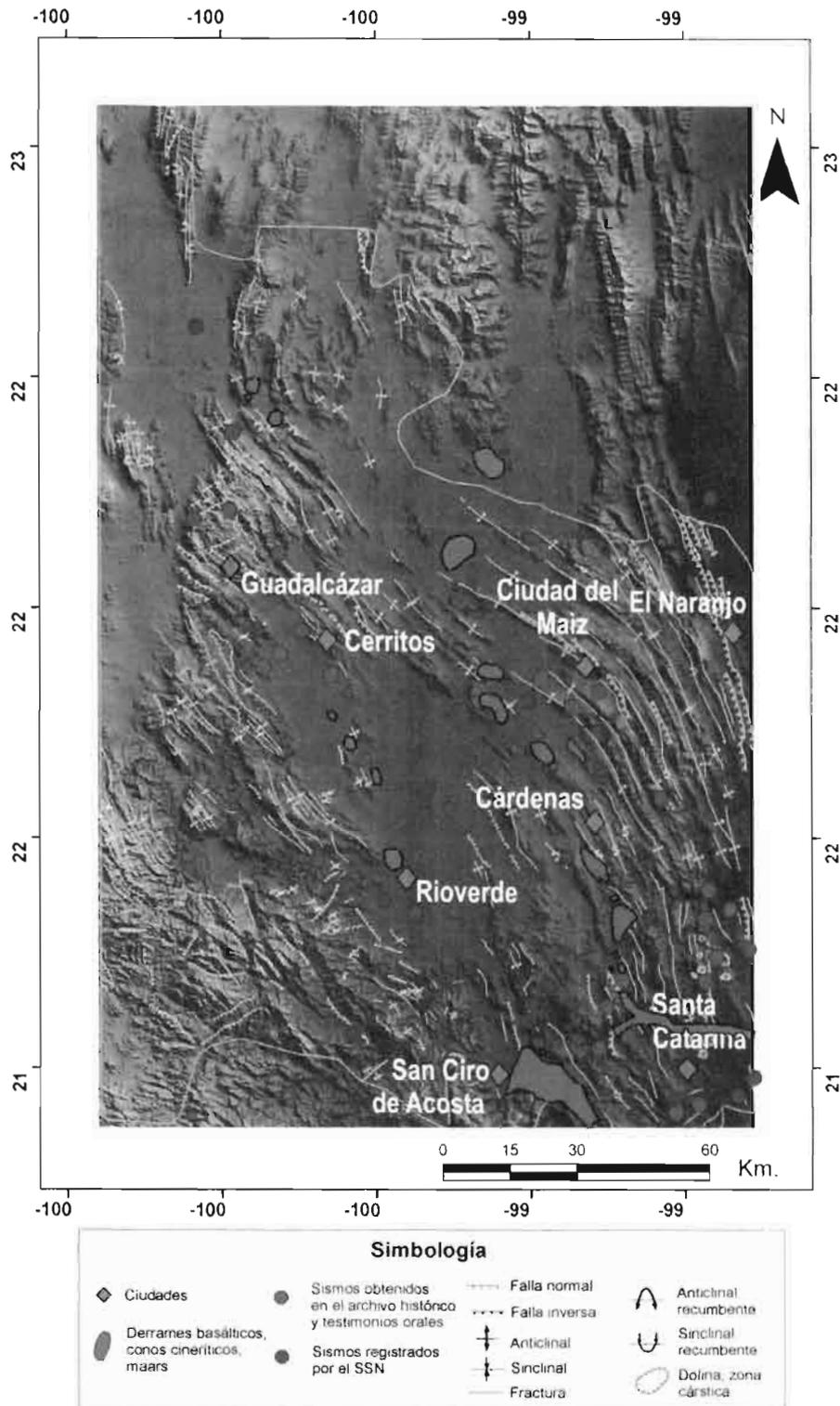


Figura 13. Basaltos, epicentros y estructural de la zona media sobrepuesto en imagen satelital.

Las erupciones hidromagmáticas se producen cuando el magma que asciende hacia la superficie entra en contacto con agua acumulada bajo la corteza o con agua superficial de ríos o lagos. Este contacto puede ser directo o indirecto. En caso de ser directo, la relación agua-magma es suficiente y se dan las condiciones de presión que generan una erupción freatomagmática en la que se emiten columnas formadas por gases, principalmente vapor de agua, piroclastos y fragmentos más o menos pulverizados de la roca encajonante. En las explosiones freatomagmáticas se desarrollan flujos piroclásticos (oleadas piroclásticas, ocasionalmente direccionales). Esta actividad volcánica se caracteriza por la violencia de sus explosiones (Cas & Wright, 1987).

Si el magma y el agua no entran en contacto directo puede ocurrir que aquella sea calentada hasta su vaporización por la temperatura que desprenden las acumulaciones de magma (sistemas geotermales) dando lugar a una explosión freática.

Estas actividades producen estructuras denominadas "*Maar*" o "xalapascos", que son edificios volcánicos constituidos por un anillo de piroclastos que rodean una depresión central, en la que a menudo se localiza una laguna. Puede haber diferentes tipos de "*maars*", según tengan o no anillo de piroclastos: los cráteres de explosión sin anillo de piroclastos constituyen depresiones cerradas de contornos circulares y bordes suavizados por la erosión. Los que presentan anillo de piroclastos, o *maars* verdaderos, consisten en una forma de cráter o depresión suave, situada en ocasiones bajo el nivel de la superficie topográfica circundante y con un anillo de mayor relieve que la bordea total o parcialmente, constituido por la acumulación de los piroclastos producidos por las explosiones freatomagmáticas. En su zona central suelen formarse depresiones endorreicas, a menudo con lagunas. (Cas & Wright, 1987).

En el caso de las explosiones freáticas se efectúan explosiones sin la participación directa ni manifestación en superficie de magmas o materiales de origen ígneo, simplemente ocurre la acumulación de gases y el aumento de la temperatura de algún cuerpo de agua en el subsuelo, con lo que aumenta la presión de vapor, motor de este tipo de actividad explosiva.

## Mecanismos focales.

Las ondas sísmicas generadas por los sismos, cuando son registradas por las estaciones sismológicas alrededor del mundo, pueden utilizarse para determinar la naturaleza de las fallas asociadas con los movimientos telúricos, inferir la orientación del plano de falla y obtener información sobre el estado de los esfuerzos en la litosfera. Los resultados de cada uno de los análisis se presentan como una solución de mecanismo focal o solución de plano de falla. La técnica representa un sólido método de análisis de los movimientos de la litosfera, ya que en particular estos se asocian con las placas tectónicas. La información está disponible en escala mundial como sismos de magnitud mayor a 5.5 que pueden proporcionar soluciones y no es necesario tener aparatos en los alrededores de los terremotos, así que la información es proporcionada desde regiones que son inaccesibles para estudiarlas directamente. De acuerdo a la teoría del rebote elástico la energía liberada durante un sismo es transmitida por las ondas sísmicas que se propagan desde el foco. Las primeras ondas en registrarse son las P, que causan compresión/extensión en las rocas a través de las que viajan. Con esta información se realizan los mecanismos focales, que dividen el terreno alrededor del sismo en cuatro cuadrantes en base a los primeros movimientos de las ondas P, definidos por el plano de falla y el plano auxiliar. Se basa en la distribución por cuadrantes alternando los signos de compresión y extensión, separados por dos planos ortogonales. Los cuadrantes sombreados, definidos por los planos de falla y auxiliares, son por movimientos de compresión a lo largo de las fallas y así, si el primer movimiento de las ondas P registrado generalmente por la componente vertical de los sismogramas tiene hacia arriba el incremento de actividad sísmica, se registra en estos cuadrantes de compresión. Por el contrario, los cuadrantes blancos, son de extensión por los movimientos de las fallas, si el primer movimiento de las ondas P muestra hacia abajo el primer registro de variación de onda en los sismogramas, se ubicarán en estos cuadrantes extensionales (Kearey et al., 2009) (Figura 14).

Así, una solución de mecanismo focal podría ser obtenida por los registros de un terremoto en un número de sismógrafos distribuidos alrededor de su epicentro, determinando la naturaleza de los primeros movimientos de las ondas P, y luego seleccionando los dos planos ortogonales que mejor las dividen en compresional y extensional, es decir los planos nodales. En la práctica, sin embargo, la técnica es

complicada por la forma esferoidal de la Tierra y el aumento progresivo de velocidad sísmica con la profundidad que origina que las ondas sísmicas sigan caminos curvos entre el foco y los sismógrafos.

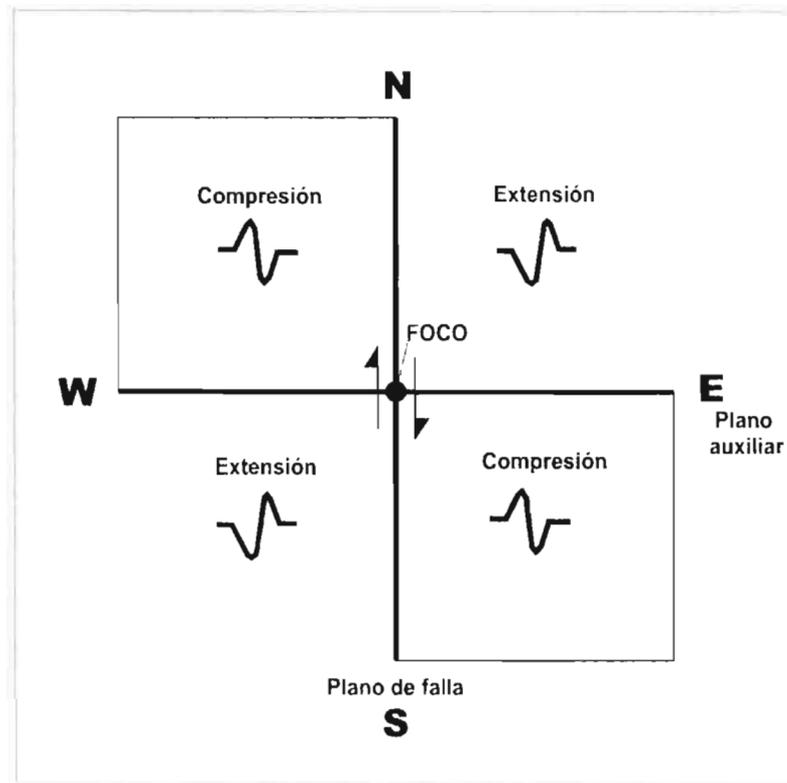


Figura 14. Distribución de cuadrantes de compresión y extensión para ubicar ondas P en un sismo (Modificado de Kearey et al., 2009).

Es claro entonces, que al trazar un mapa simple de los primeros movimientos compresionales y extensionales en la superficie de la Tierra, éste no puede proporcionar fácilmente la solución de mecanismo focal.

Sin embargo, las complicaciones pueden disminuirse al considerar las direcciones en las cuales las ondas sísmicas dejaron la región focal, como es evidente que las compresiones y extensiones estén restringidas a ciertos rangos angulares. Cada estación registra el terremoto. Se utiliza un modelo estructural de la velocidad de la Tierra para calcular el camino de la onda sísmica del foco a la estación, y de ahí calcular la dirección en la cual la onda dejó la región focal.

Estas direcciones entonces son trazadas, usando un símbolo apropiado para los primeros movimientos compresionales o extensionales, sobre un área de proyección de la mitad inferior de la esfera focal, es decir una esfera imaginaria de radio pequeño pero centrado en el foco. La escala alrededor de la circunferencia de tal red se refiere al azimut, o el componente horizontal de dirección, mientras las pendientes son trazadas por la escala radial de  $0^\circ$  en el perímetro y  $90^\circ$  en el centro. Los planos hacia el foco son representados sobre el terreno por círculos grandes con una curvatura apropiada a su pendiente; de ahí un diámetro representa un plano vertical.

Una solución de mecanismo focal entonces es obtenida a partir del trazado de todos los datos de observación sobre la proyección de la esfera focal.

Cuando el movimiento de la falla se dirige hacia el foco, el cuadrante es de extensión y si el movimiento de la falla se aleja del foco, el cuadrante es de compresión.

La energía sísmica que se desprende del foco, dispersa ondas que se propagan en todas direcciones por los llamados frentes de onda que definen superficies esféricas o esferas focales que aumentan de radio con el tiempo. Las ondas de energía sísmica son perpendiculares a los frentes de onda que por su parte definen las diversas esferas que en conjunto constituyen la esfera focal, todas relacionadas con un tiempo determinado por su frente de onda correspondiente.

Durante un terremoto, las ondas sísmicas se generan en el foco del sismo. Un concepto importante es el método de la esfera o del mecanismo focal que se basa en la interpretación de los desplazamientos o impulsos iniciales detectados en un lugar particular. Dependiendo de la posición de ese lugar en relación con el hipocentro se reciben señales que permiten interpretar el tipo de falla que ha generado el terremoto, ya sea esta normal, inversa o lateral.

Estos movimientos se registran o miden en muchas estaciones sismológicas, que rastrean la propagación de las ondas sísmicas y que pueden proporcionar información útil respecto a la naturaleza de la falla que causa el sismo. Una vez identificado el plano de falla, el otro plano nodal será el auxiliar.

Esta información es particularmente útil en los numerosos casos en que un sismo no causa ruptura de las rocas de la superficie. Además estos análisis son importantes para determinar movimientos relativos de bloques o placas litosféricas donde estos bloques no puedan observarse directamente.

Para determinar el tipo de falla, ya sea normal, normal oblicua, inversa o inversa oblicua, el cuadrante que aparece más al centro del estereograma es el que denota el tipo de falla.

La energía sísmica que se libera en el foco, se irradia en todas direcciones formando los frentes de onda. Los frentes de onda marcan la posición de la energía sísmica mientras viajan o se transmiten por las rocas de la Tierra. Las ondas de energía sísmica son perpendiculares a los frentes de onda que además se relacionan con un tiempo determinado.

Durante un terremoto, el primer movimiento que experimenta una partícula rocosa será como un empujón o compresión en dos cuadrantes de la esfera focal, mientras que en los otros dos cuadrantes, el primer movimiento será como un jalón o extensión. Una estación sísmica puede registrar un primer movimiento compresional o extensional dependiendo de la posición de la estación sismológica con respecto al hipocentro y al plano de desplazamiento en la esfera focal.

Las diferentes estructuras descritas en este trabajo y posiblemente algunas otras han dado origen a algunos de los sismos registrados en esta zona, pero muchas veces no se puede reconocer a ciencia cierta cual estructura es la que realmente origina el movimiento, es por esto, que es de gran ayuda utilizar diagramas de mecanismos focales, obtenidos a partir de datos sísmicos de redes locales, ya que son una herramienta muy importante para realizar un mejor análisis sismotectónico de la región y con esto es más fácil deducir el tipo de estructura que da origen a los sismos.

Si realizamos estos mecanismos focales en la zona de estudio, se puede determinar si se registran esfuerzos compresivos, que pueden corresponder a fallas inversas, donde se representa el esfuerzo de compresión en los cuadrantes centrales de la proyección (Figura 15A). En las zonas de esfuerzos extensionales, los mecanismos

focales se muestran como de fallas normales (extensión en los cuadrantes laterales, en negro) (Figura 15B). Y en las fallas laterales el mecanismo focal muestra como se alternan los cuadrantes de compresión y extensión señalando el sentido de rotación de la falla (Figura 15C).

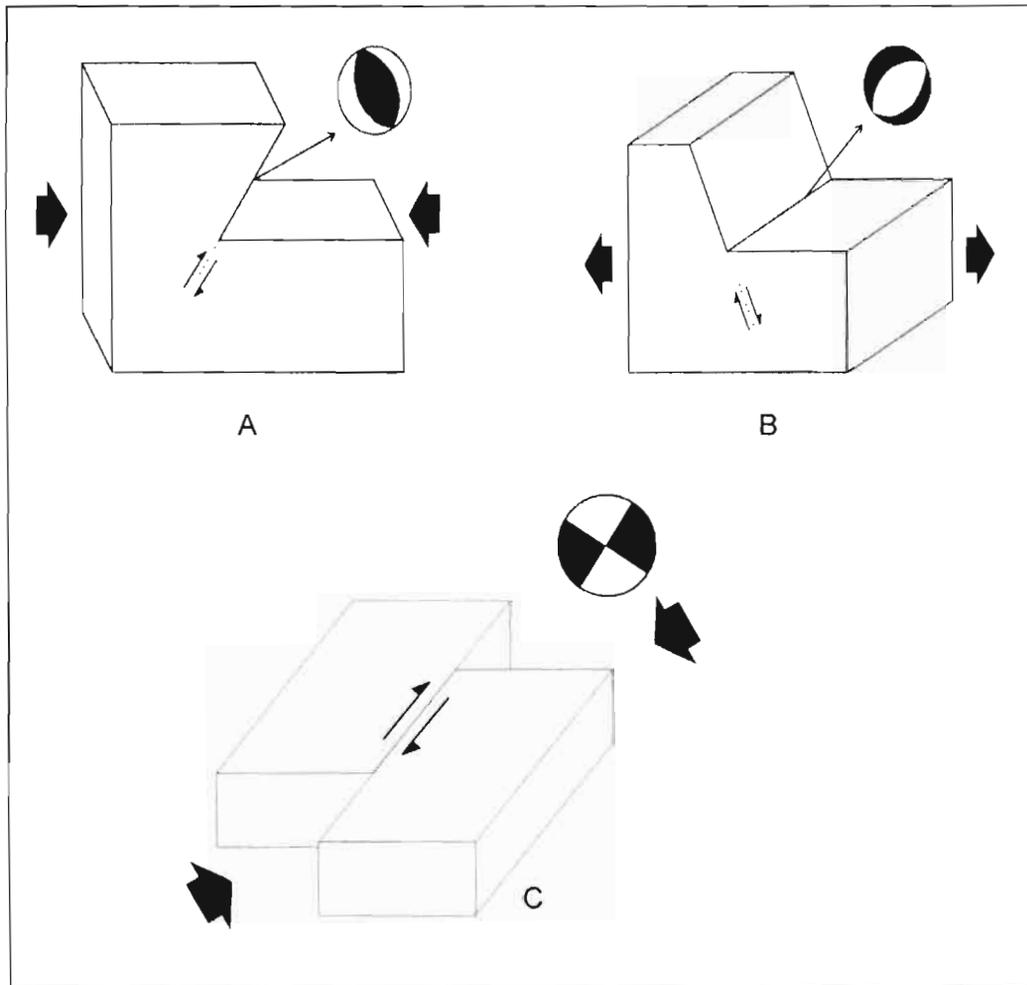


Figura 15. Mecanismos focales en fallas normales, inversas y laterales. (Modificado de Kearey et al., 2009).

Es por esto, que teniendo toda la información necesaria sobre los sismos de la región, y elaborando estos diagramas de mecanismos focales podemos interpretar el tipo de estructura y esfuerzos que dieron origen al movimiento.

### 3. Evidencias de campo en la zona media del estado de San Luis Potosí.

Dentro de las actividades de campo se realizaron varios recorridos en diversas zonas para detectar secuelas de los sismos en edificios, calles, modificaciones en la geomorfología de las áreas, con lo cual se pudo confirmar la ya señalada estrecha relación entre las zonas donde se han sentido los movimientos telúricos y afloramientos de basaltos del Plioceno-Pleistoceno, que en general solo en escasos ejemplos son menores de 1 Ma antes del presente y en ningún caso existen evidencias para pensar en un volcanismo activo, sin embargo si resulta evidente su relación a las mismas estructuras que en la actualidad pudieran aún poseer una tasa de deformación que aunque muy baja pudiera ocasionar los movimientos telúricos registrados.

En cuanto a las evidencias directas de los eventos sísmicos más recientes, no se observaron en campo más que algunas cuarteaduras ligeras en casas habitación o edificios públicos, aunque no en todos los casos es clara su relación con los eventos sísmicos. Así mismo, se tiene el testimonio de la población.

En el Templo de Arroyo Seco, Querétaro (Figura 3) se observan algunas secuelas como resultado de un sismo que se presentó en 1887. En el exterior se puede apreciar que una de las torres cayó, y en la parte posterior del templo se ve que parte de las bardas también se colapsaron. En el interior del Templo se puede apreciar que hay una fisura que atraviesa todo el techo del edificio por la mitad, desde el altar mayor hasta la puerta de entrada principal. Ha sido resanada pero todavía queda rastro de ella (Fotografía 1).

Un origen un tanto distinto ha sido supuesto también para algunos eventos sísmicos que ocurren en esta zona y hacia la región huasteca hacia el oriente, siguiendo un patrón de distribución disperso en la cadena alta de la Sierra Madre Oriental. En algunos de estos casos es también evidente la presencia de colapsos posiblemente de cavernas que dan origen a dolinas y estructuras kársticas mayores a cuyas márgenes se asocian, depósitos antiguos de avalanchas de escombros (Lámina 1.2).

En el área al sur de San Ciro de Acosta, S.L.P., en dirección a Arroyo Seco, Querétaro, se pudo apreciar una zona inundada en forma de una laguna somera muy extensa, esto puede deberse a que la escorrentía se encuentra obstruida por la presencia de flujos de basaltos que presentan un aspecto de lava de bloques muy reciente, lo cual trae como consecuencia que el agua no tenga a donde fluir y se quede estancada (Lámina 1.3).



Fotografía 1. Templo en Arroyo Seco, Qro. Torre izquierda se precipitó como consecuencia del sismo registrado el día 26 de noviembre de 1887. Gómez-González y Barboza-Gudiño, 2003. (21°32.867N/99°41.321W).

Además de las diferentes estructuras y evidencias de campo, se reconoce como principal evidencia la distribución de los diversos epicentros que hasta el momento han sido establecidos en base a registros sísmicos del SSN o de redes locales, así como en base al testimonio de pobladores en etapa reciente o histórica. Dicha distribución permite reconocer más claramente a nivel de mapas regionales o de imágenes de satélite, una perfecta coincidencia de epicentros y alineaciones regionales de las fuentes de rocas máficas del cuaternario. En base a los mismos se han definido en el área que comprendió este estudio, los lineamientos aquí denominados San Ciro-La Pólvora y Pinihuán-Tepeyac. Ambas atraviesan la zona media del estado de San Luis Potosí, de sureste a N25°-30°W, son paralelos y distantes 40-45 km entre sí.

## LÁMINA 1



1. Geomorfología de los flujos de basalto al sur de Arroyo Seco, Qro.
2. Posible dolina al oriente de San Ciro de Acosta, S.L.P.
3. Zona inundada al sur de San Ciro de Acosta.
4. Una de las Joyas de Santo Domingo, al lado de la carretera.
5. Basaltos en ambos lados del río que atraviesa Pinihuán.
6. Cono pequeño y derrames de basaltos en Tepeyac.

### 3.1 Lineamiento SAN CIRO – LA PÓLVORA.

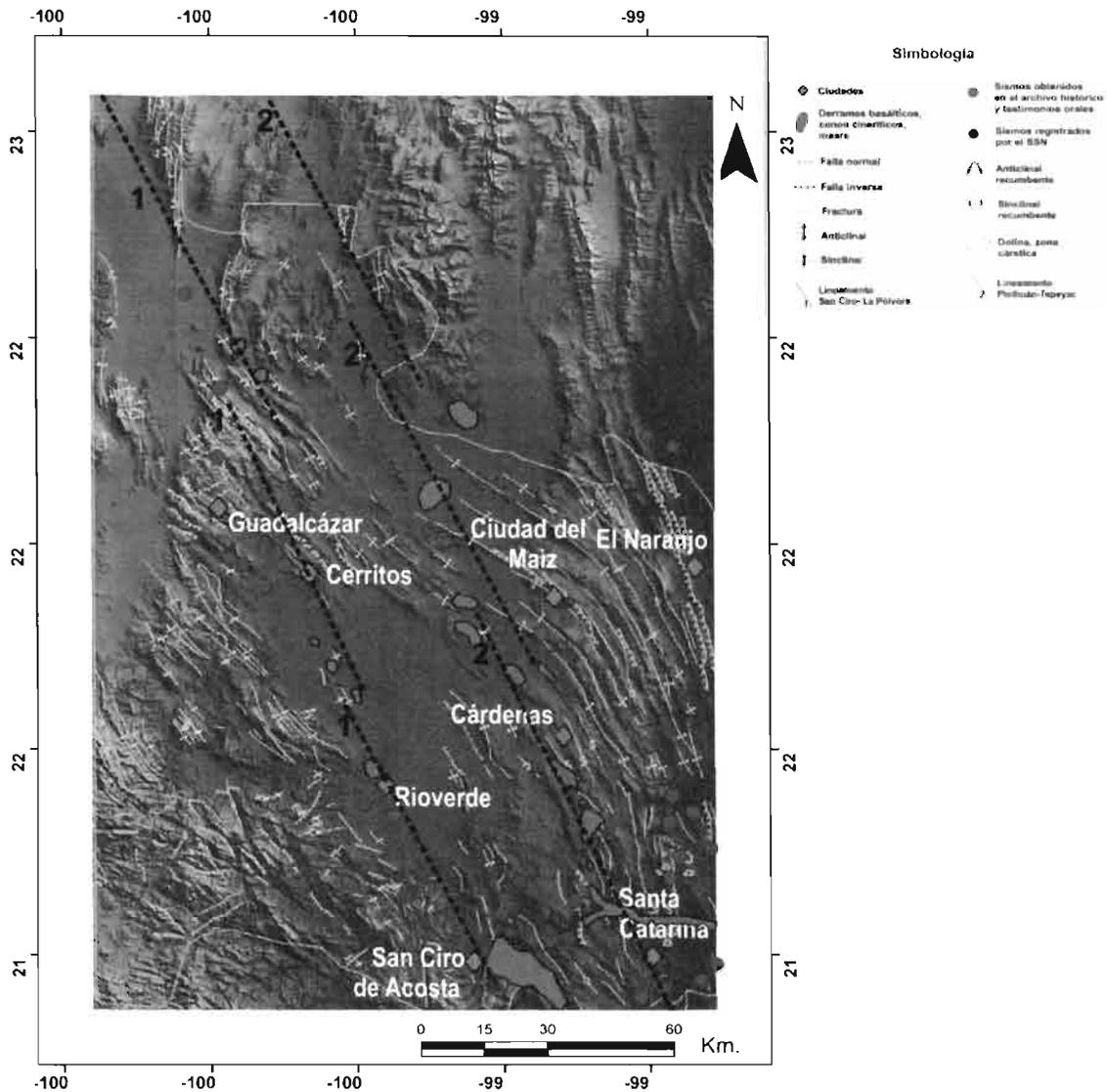
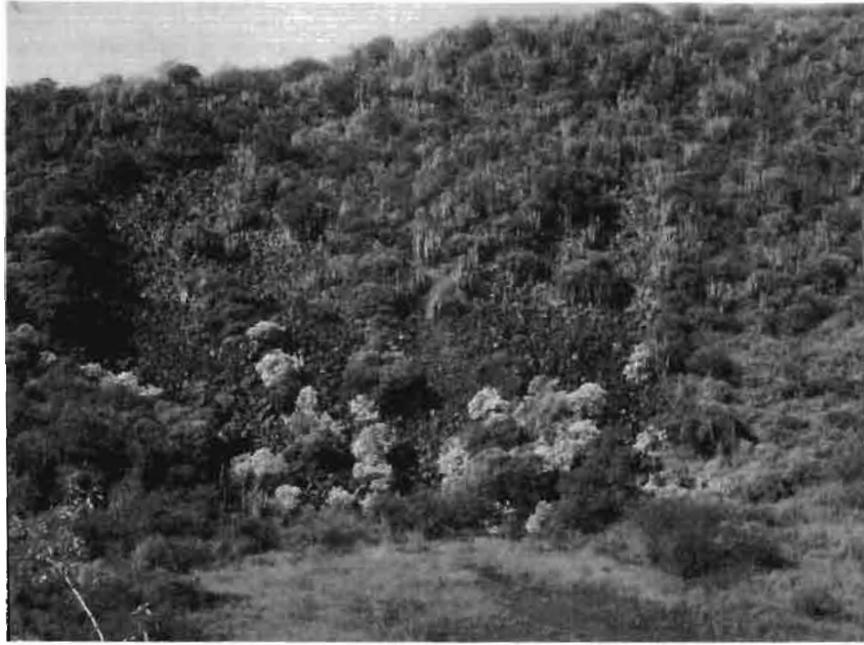


Figura 16. Lineamientos San Ciró-La Pólvara y Pinihuán-Tepeyac.

Este lineamiento comienza en la localidad San Ciró de Acosta, donde se encuentran expuestos varios afloramientos de basaltos de gran extensión que forman parte de la geomorfología de a los alrededores de la Carretera Federal 69 camino a Arroyo Seco, Qro., incluso se pueden observar en las coordenadas  $21^{\circ}39.031' / 99^{\circ}47.085'$  coladas de lava y lava de bloques que al avanzar y encontrarse formaron una depresión dando una apariencia de “cráter”. En esta zona se ha tenido registro de un sismo y hacia el sur, en los límites con Querétaro se han monitoreado varios en los últimos años.



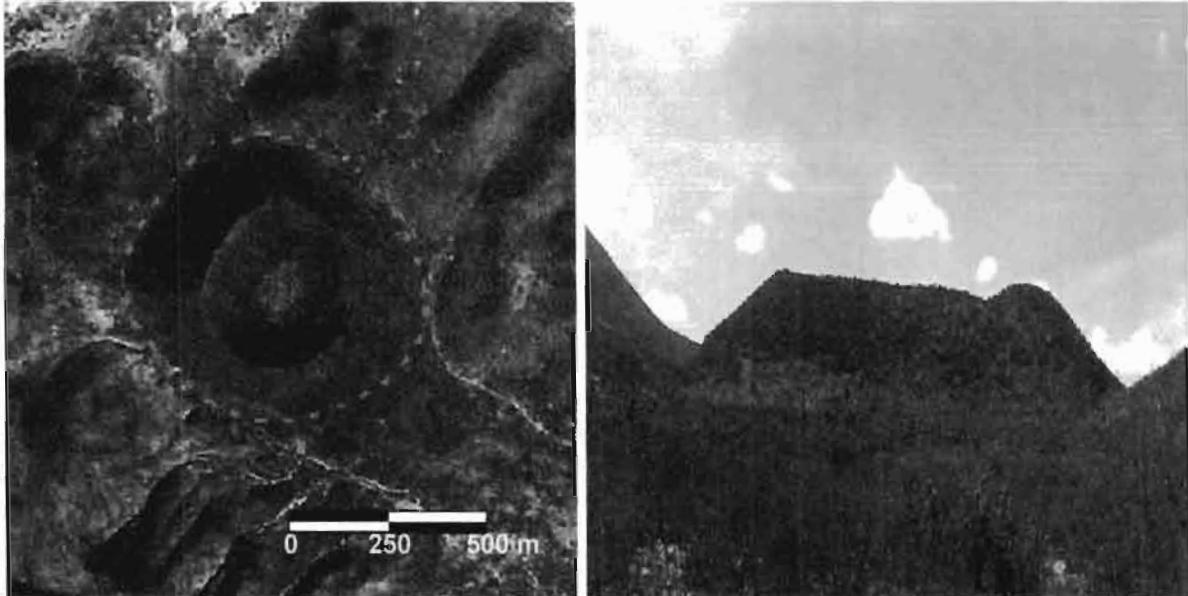
Fotografía 2. Basaltos en forma de un flujo de lava bloques de al sur de San Ciro de Acosta.

Continuando hacia el NW, por la autopista Ríoverde-SLP se observan algunos afloramientos en los alrededores de Ciudad Fernández, encontrando otros más hacia La Angostura y hasta Cerritos. En Ríoverde se tiene registro de 2 movimientos telúricos pero ya hacia Cerritos aumenta el número a 5 registros sísmicos.



Fotografía 3. Derrames basálticos al lado de la autopista Ríoverde-SLP

En la misma dirección, llegando a Guadalcázar se han ubicado otros 3 epicentros, y más adelante en dirección N, se encuentran las Joyas de Santo Domingo y un volcancito en La Pólvara. En los alrededores de esta zona se han documentado 2 epicentros.



Fotografía 4. a) Imagen satelital del volcán de la Pólvara (izq). b) Vista lateral del volcán de la Pólvara (der).

### 3.2 Lineamiento PINIHUAN – TEPEYAC.



Foto 5. Derrames basálticos en las márgenes del río en Pinihuán.

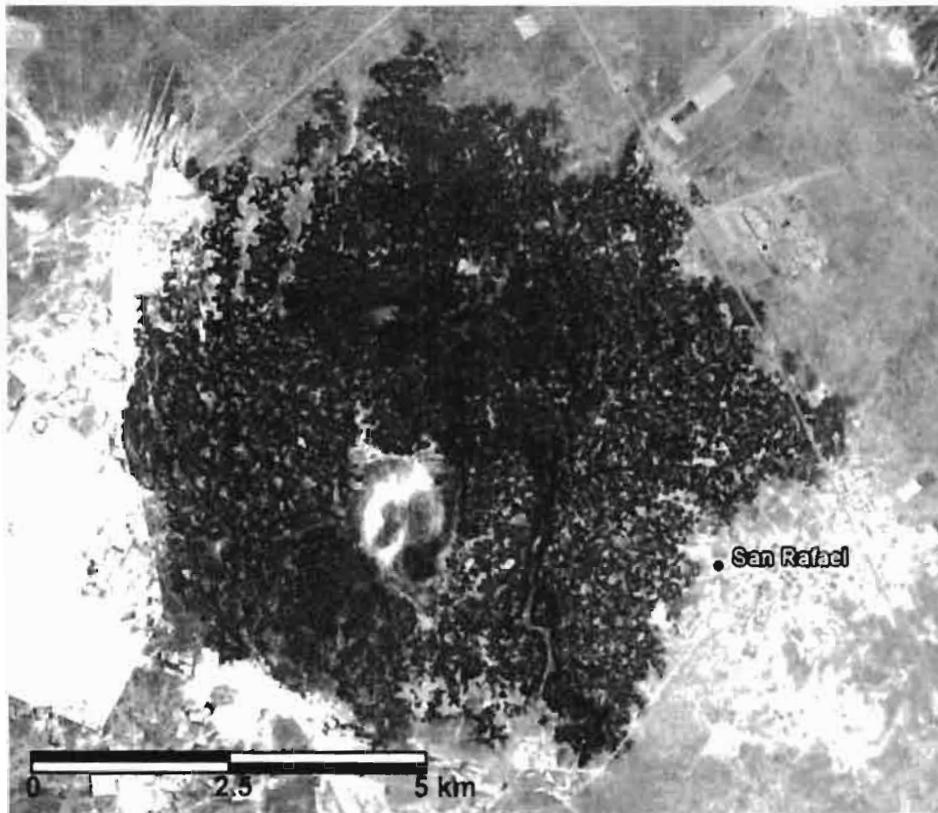
El lineamiento Pinihuán- Tepeyac comienza en el municipio de Lagunillas, en los derrames basálticos que se encuentran en ambos lados del Río Verde que atraviesa la localidad de Pinihuán. Es en esta zona donde se han registrado gran cantidad de movimientos sísmicos, detectados en su mayoría en los últimos años por los estudios realizados entre el CGEO de la UNAM y el Instituto de Geología de la UASLP (Fotografía 5).



Fotografía 6. Cono de escorias denominado Cerro Colorado, en carretera Rayón-Cárdenas.

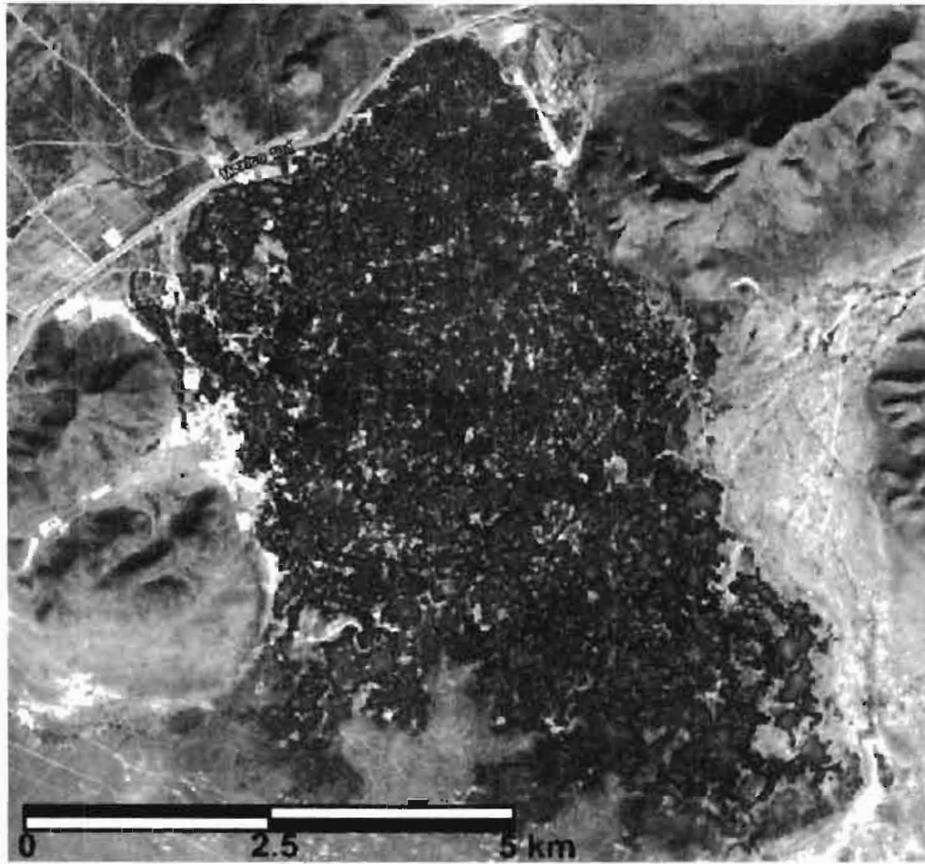
Los afloramientos se siguen encontrando al avanzar hacia Rayón y Cárdenas, como montículos pequeños que parecen tener una orientación preferencial NW-SE, e incluso se encontró un cono de escorias ( $21^{\circ}57.054'/99^{\circ}37.327'$ ) al que se le da el nombre de Cerro Colorado. En este lugar se ha estado explotando por los lugareños el material tipo escoria conocido como tezontle. En los alrededores se han tenido registro de algunos movimientos, sintiéndose en su mayoría en Tamasopo. Otro afloramiento se encuentra pasando Alaquines, antes de llegar a Colonia Álvaro Obregón, entre esta zona y Ciudad del Maíz se han reportado 4 movimientos telúricos (Fotografía 6).

En la misma dirección, se encuentra un afloramiento en la localidad Tepeyac, el cual muestra las diferentes direcciones que tomaron las coladas de lava, e incluso un pequeño cono monogenético por donde salió buena parte de estos flujos. (Fotografía 7).



Fotografía 7. Vista aérea de los derrames del Tepeyac. (Tomada de Google Earth).

A su vez, a pocos kilómetros al norte de Tepeyac, ya dentro del estado de Tamaulipas, hay otro afloramiento de gran tamaño, el cual se encuentra en la zona de Miguel Hidalgo, antes de llegar a Ciudad Tula (Fotografía 8).



Fotografía 8. Derrames de Miguel Hidalgo, Tamps. (Tomada de Google Earth).

#### **4. Descripción de centros y productos volcánicos asociados.**

Los diversos afloramientos se presentan como coladas algunas de gran magnitud, tomando diferentes direcciones, la mayoría se encuentran bien preservados aunque algunos estaban un poco alterados. Se les observan a simple vista plagioclasas así como olivino en algunos casos y en otros calcita como relleno de vesículas.

Como complemento a los estudios geológicos de la zona y a fin de caracterizar y comparar entre sí algunas rocas volcánicas que se han visto frecuentemente asociadas a las diferentes áreas en donde se han registrado eventos sísmicos históricos y recientes, se realizaron estudios petrográficos de dichas rocas al microscopio de polarización, en lámina delgada.

En general la composición de estas rocas es basáltico-andesítica en los diferentes afloramientos visitados.

##### **San Ciro de Acosta:**

En las inmediaciones al sur de San Ciro de Acosta se presenta una zona extensa cubierta de productos volcánicos de composición andesítico-basáltica en forma de derrames, conos de escorias y lavas de bloques. Este centro volcánico hacia el estado de Querétaro en donde se puede apreciar al sur de Arroyo Seco en las márgenes del Río Santa María, un paquete de flujos o derrames de más de 500m de espesor. En esta zona se recolectaron muestras a fin de describir estas rocas y compararlas con los productos volcánicos de los otros centros situados sobre los lineamientos regionales descritos en el presente estudio.

En el área entre San Rafael y San Ciro de Acosta se recolectaron también algunas muestras para su análisis petrográfico y se prepararon las secciones delgadas que a continuación se describen:

MUESTRA: ZM-08-01 AL SUR DE ARROYO SECO, QRO. (21°30.727'/099°40.173')

En la muestra se distingue una matriz microcristalina que envuelve fenocristales de minerales máficos en su mayoría oxidados. Contiene a su vez mineral opaco (magnetita) así como vesículas. Se aprecian las texturas serial y afieltrada. (Lámina 2.1)

Componentes:

- Plagioclasas (Bitownita): se encuentran en un 30% de la muestra, euhedrales-subhedrales, de 2.25 mm a menores.
- Olivino: se observan en un 20% de la muestra. Son de forma euedral-anhedral, con tamaño variable entre 1.75 a 0.05 mm. Los fenocristales de este mineral se encuentran oxidados casi en su totalidad.
- Augita: pueden apreciarse en 10% de la muestra. Micro-fenocristales de forma euedral-anhedral, de 3.75 mm a menores. En su mayoría se encuentran oxidados.
- Matriz: constituye un 15 % de la muestra. Microcristales de plagioclasa y de augita.
- Se observan vesículas en un 15% de la muestra, así como magnetita en un 5%.

Roca: basalto olivínico.

MUESTRA: ZM-08-6a AREA SAN CIRO. (21°39.031'/099°47.085')

Muestra con gran cantidad de plagioclasas y minerales máficos. También se observan vesículas y magnetita. Se distinguen las texturas subofítica, seriada y afieltrada (Lámina 2. 2 y 2.3).

Componentes:

- Plagioclasas: ocupan un 40%, de forma euedral, de mm a menores. No presentan orientación preferencial.

- Olivino: se presentan en un 15% de la muestra, como cristales euhedrales a subhedrales de 1.25 mm a menores. Los bordes de algunos cristales se encuentran oxidados.
- Augita: se presenta en un 15%, como fenocristales euhedrales a subhedrales de 1.5 mm a menores. Los bordes de algunos cristales se encuentran oxidados. También se encuentra como microcristales formando parte de la matriz.
- Matriz: microcristales de plagioclasa y augita (10%).
- Presenta vesículas en un 15% de la muestra y magnetita en un 5%.

Roca: basalto olivínico.

MUESTRA: ZM-08-6b SAN CIRO. (21°39.031'/099°47.085')

Presenta matriz microcristalina de plagioclasa con fenocristales de minerales máficos, algunos de los cuales se encuentran oxidados. También se observan vesículas y magnetita. Se distinguen las texturas subofítica, porfiritica, seriada y afieltrada (Lámina 2.4 y 2.5).

Componentes:

- Plagioclasas (labradorita-bitownita): ocupan un 35%, de forma euhedral a subhedral, de 0.80 mm a menores.
- Olivino: se encuentran en un 20% de la muestra, como cristales euhedrales a anhedrales de 0.75 mm a menores, algunos de ellos presentan una aureola de oxidación.
- Augita: se presenta en un 20%, como fenocristales euhedrales a anhedrales de 1.75 mm a menores. También se encuentra como microcristales formando parte de la matriz.
- Matriz: microcristales de plagioclasa y augita (10%).
- Contiene además alrededor del 12% de vesículas y 3% de magnetita.

Roca: basalto olivínico.

## **Cd. Fernández-La Angostura:**

Sobre la autopista Ríoverde-SLP, aproximadamente 25km en dirección a Cerritos, se pueden encontrar diversos afloramientos basáltico-andesíticos, los cuales ocurren en forma de derrames. Las muestras que se obtuvieron se observan de color negro, son vesiculares, conteniendo carbonatos en algunas de las vesículas. Se observan algunas mesetas de este tipo de rocas, entre La Reformita, al poniente de Ciudad Fernández, sobre la autopista en dirección a Cerritos en la zona de Pastora, hasta al surponiente de La Angostura.

Entre Cd. Fernández y La Angostura se obtuvieron algunas muestras, de las que a continuación se describen sus secciones delgadas.

### MUESTRA: RV-07. ÁREA DE RÍOVERDE-CIUDAD FERNÁNDEZ

Al microscopio se observa una matriz desvitrificada con algunos microcristales de plagioclasa, envolviendo a fenocristales de minerales máficos de distintos tamaños, así como plagioclasas y algunos cuarzos. Se observa muy vesicular. La textura es porfirítica. Presenta escasos minerales opacos y óxidos. (Lámina 2.6).

Componentes:

- **Matriz:** se presenta desvitrificada, con algunos microcristales anhedrales de plagioclasas los cuales, por su tamaño, no son muy visibles. Ocupa un 40 %.
- **Máficos:** Ocupan un 20 % de la muestra. Se presentan en fenocristales de forma euhedral a anhedral; se distingue augita con textura seriada (15 %) y escaso olivino (<5 %).
- **Plagioclasas:** se presentan en microcristales aciculares de forma subhedral. 15% de la muestra.
- **Cuarzo:** presenta corona de exolución debido a una parcial asimilación. Se presenta en cantidad menor al 5 %.

- Las vesículas son muy abundantes ocupando un 20 %.

Roca: basalto

#### MUESTRA RV-09 ÁREA DE RÍOVERDE-CIUDAD FERNÁNDEZ

Al microscopio se distingue un agregado de microcristales de plagioclasa, envolviendo a fenocristales de minerales máficos de distintos tamaños, así como granos heredados de cuarzo. La matriz es microcristalina y esta formada en su totalidad por plagioclasa, se observan vesículas y algunas amígdalas. La textura es porfiritica-seriada y en la matriz la textura es afieltrada. Presenta escasos minerales opacos y óxidos. (Lámina 3. 1 y 3.2).

Componentes:

- Plagioclasa: se presenta en microcristales aciculares de forma subhedral y con una pseudorientación, en un 65 %.
- Máficos: se presentan en 20% de la muestra. Fenocristales de forma euhedral-subhedral, algo alterados, se distinguen augita (15 %) y olivino (5 %).
- Calcita; se presenta como relleno de vesículas y reemplazando algunos minerales máficos, < al 5 %.
- Cuarzo: presenta corona de exolución, en ocasiones esta parcial o totalmente asimilado y es menor al 5 %.

Roca: basalto olivínico.

#### MUESTRA: RV-10. ÁREA DE LA ANGOSTURA

La muestra se observa como un agregado de microcristales de plagioclasa pseudorientados, envolviendo a fenocristales de minerales máficos, así como cuarzo. La matriz es microcristalina y esta formada casi en su totalidad por plagioclasa aunque

muestra escaso vidrio desvitrificado, se observan vesículas. La textura es porfirítica-seriada y en la matriz es afieltrada. Presenta algunos minerales opacos (Lámina 3. 3).

Componentes:

- Plagioclasa: se presenta en microcristales aciculares de forma subhedral y con una pseudorientación preferencial. Representa un 60 % de la roca.
- Máficos: se presentan en fenocristales de forma euhedral-subhedral, poco alterados, se distinguen augita (25 %) y olivino (5 %) en un 30 % de la muestra.
- Cuarzo: es menor al 5 % y presenta corona de exolución, en partes esta parcial o totalmente asimilado.
- Los minerales opacos representan casi un 5 %.

Roca: basalto olivínico.

#### MUESTRA: RV-11. ÁREA DE LA ANGOSTURA

La muestra se observa como un agregado de microcristales de plagioclasa sin orientación, envolviendo a fenocristales de minerales máficos, así como xenocristales de cuarzo. La matriz es microcristalina y esta formada casi en su totalidad por plagioclasa aunque muestra escaso vidrio desvitrificado. La textura es porfirítica-seriada y en la matriz es afieltrada. Los minerales opacos y óxidos son escasos. La muestra presenta vesículas (Lámina 3. 4).

Componentes:

- Plagioclasa: se presenta tanto en microcristales como en escasos fenocristales, de forma subhedral, aciculares y sin orientación preferencial, en un 65 %.
- Máficos: se presentan en un 30 % de la muestra, se distinguen augita (25 %) y poco olivino (5 %) de forma subhedral y algo alterados.
- Cuarzo: es menor al 5 % y presenta textura de exolución, en zonas esta totalmente asimilado.

Roca: basalto olivínico.

#### MUESTRA: RV-14

Al microscopio se distingue una matriz desvitrificada envolviendo fenocristales de minerales máficos de distintos tamaños, así como microcristales de plagioclasa y algunos cuarzos. Se observa muy vesicular. La textura es porfirítica. Presenta escasos minerales opacos y óxidos (Lámina 3.5).

#### Componentes:

- Matriz: desvitrificada, presenta microcristales de plagioclasa no muy visibles, ocupa un 55%.
- Máficos; se presentan en fenocristales de forma euhedral-subhedral, algo alterados, se distinguen augita (15 %) y olivino (5 %) en un 20 % de la muestra.
- Plagioclasa: se presenta en microcristales aciculares de forma subhedral, en un 20%.
- Cuarzo; presentan textura de exolución, en partes están parcialmente asimilados y son menores al 5 %.

Roca: basalto olivínico.

#### MUESTRA: ZM-08-07 LA ANGOSTURA AUTOPISTA RÍOVERDE-SLP. (22°02.157'/100°02.569')

En esta muestra se distingue una matriz microcristalina envolviendo fenocristales de plagioclasa así como de minerales máficos. También contiene vesículas y minerales opacos (magnetita). Se distinguen las texturas porfirítica, seriada y afieltrada (Lámina 3.6 y 4.1).

#### Componentes:

- Plagioclasas (Bitownita-Anortita): se encuentran en un 40% de la muestra, euhedrales, de 1.5 mm a menores. Algunas presentan zoneamiento.
- Máficos: se observan algunos olivinos (15%) de forma euhedral-anhedral, de diversos tamaños (1.75 a 0.15 mm), algunos se encuentran poco oxidados. A su

vez, pueden apreciarse fenocristales de augita (10 %) de forma subhedral-anhedral, también se encuentra de forma microcristalina formando parte de la matriz.

- Matriz: constituye un 15 % de la muestra, se conforma por microcristales de plagioclasa y de augita.
- Se observan vesículas en un 15% de la muestra, así como magnetita en un 5%.

Roca: basalto olivínico.

### **Santo Domingo – La Pólvora:**

Hacia el norte de la Sierra de Guadalcázar, en La Pólvora, se encontró un volcán con un diámetro de poco menos de medio kilómetro. Frente a él se encuentra un pórfido diorítico del Plioceno (Rodríguez-Ríos, et al., 2000). Dentro de la misma zona, hacia el norte se encuentran expuestos otros derrames basálticos. Al oriente de La Pólvora, se encuentra un conjunto de xalapazcos, las Joyas de Santo Domingo, en las que se obtuvieron muestras donde se observan fenocristales de olivino y nódulos de lehrzolititas, provenientes del manto superior y de granulitas, provenientes de la corteza inferior.

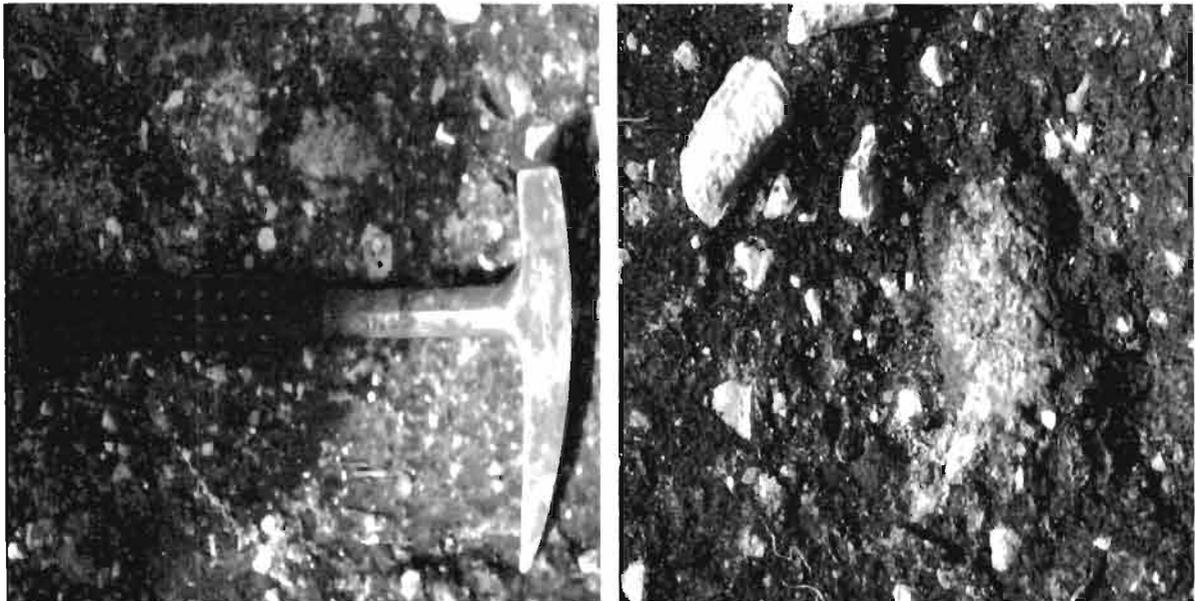


Foto 9. a) Nódulos de olivino y clastos expulsados al momento de la formación de la joya (izquierda).  
b) Acercamiento a un nódulo de olivino (derecha).

## Tanlú:

En la zona de Tanlú, municipio de Santa Catarina, no se observan productos volcánicos de ningún tipo, sin embargo en esta zona se han registrado numerosos eventos sísmicos, además de hallarse este punto justo sobre la traza, en el extremo sur del lineamiento aquí denominado Pinihuan-Tepeyac. Como se puede observar en los registros de la sismicidad, históricos y recientes, es una zona con bastante actividad y dentro de los mismos fenómenos registrados se habla de colapsos que han originado estructuras grandes cratiformes que en la zona son conocidas como "Joyas". Estas estructuras, que bien pueden pasar en la mayoría de los casos por simples dolinas, a juzgar por una serie de depósitos en sus alrededores, parecen haber expulsado dichos materiales en forma de concentrados de escombros húmedos o saturados que adquirieron después del depósito el aspecto de una brecha o acumulación de detritos bastante compactados o consolidados. Tales estructuras y los depósitos a su alrededor son interpretados de manera preliminar como productos de explosiones freáticas sin la intervención de magmas o la expulsión de materiales volcánicos hacia la superficie, pero igualmente relacionados a este mismo lineamiento regional, y por ende, como posibles estructuras o eventos sismogénicos.

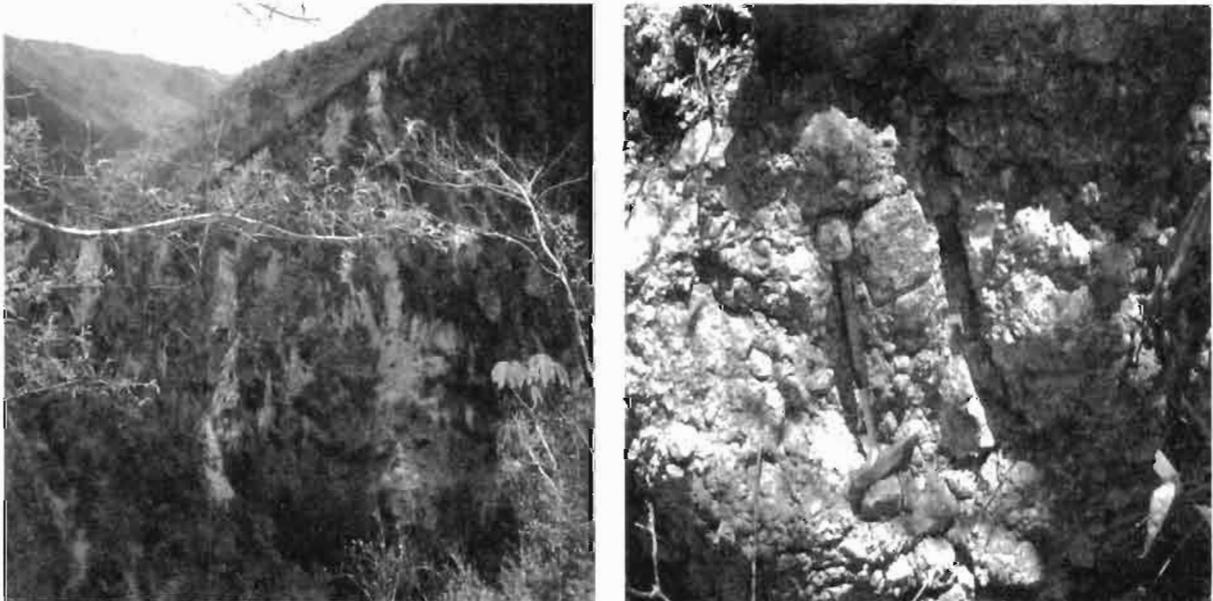


Foto 10. a) Pared sur de la hoya de Ciriaco, al sur de Tanlú, municipio de Santa Catarina (izquierda).  
b) Depósito consolidado de detritos aparentemente expulsados (derecha).

## **Pinihuán:**

En el municipio de Lagunillas, pueden observarse los derrames basáltico-andesíticos de gran extensión a lo largo del Río Verde, desde la zona de Pinihuán hacia el oriente de Lagunillas. Se observan con pseudoestratificación y hay presencia de algunos diques. La parte inferior de los afloramientos se encuentra poco vesicular, aumentando hacia la zona más superficial. Hacia el norte de Pinihuán afloran otros derrames que pueden apreciarse en ambos lados de la carretera que conecta esta localidad con Rayón.

De las muestras obtenidas, se realizaron las láminas delgadas, describiéndose a continuación:

### MUESTRA: ZM-08-08a AREA DE PINIHUÁN. (21°42.713'/099°34.445')

La muestra presenta gran cantidad de plagioclasas con pseudo-orientación así como de minerales máficos. Se pueden observar algunas vesículas cuyos bordes presentan un poco de calcita (Lámina 4.2 y 4.3).

Componentes:

- Plagioclasas: ocupan un 45% de la muestra, la mayoría presentan un mismo tamaño (0.25 mm) a menores. Se observan euhedrales. Se encuentran pseudo-orientadas.
- Augita: 15% de la muestra, de diversos tamaños variando de 4.5 mm a menores. Se encuentran alterados parcialmente por clorita.
- Olivino: se encuentra en 5% de la muestra, su tamaño varía de 0.5 mm a menores. Es de forma euhedral a subhedral.
- Vesículas en un 15%, en los bordes de algunas de ellas presenta un poco de calcita (en menos del 5%).
- Clorita: se encuentra reemplazando parcialmente algunos cristales máficos, puede observarse en un 15-20% de la muestra.

Roca: basalto olivínico.

MUESTRA: ZM-08-08b AREA DE PINIHUÁN. (21°42.713'/099°34.445')

La muestra presenta una matriz de microcristales de plagioclasa sin orientación así como de máficos. Los cristales de los diversos componentes varían en tamaño, contiene desde fenocristales a microcristales. Además se pueden observar algunas vesículas. Se aprecian las texturas seriada y afieltrada. Algunos de los minerales máficos se presentan con poca oxidación (Lámina 4.4 ).

Componentes:

- Plagioclasas (Bitownita-anortita): ocupan un 45% de la muestra, varían de fenocristales (1.25 mm) a menores, también como microcristales formando parte de la matriz. Se observan de euhedrales-subhedrales.
- Olivino: 20-22% de la muestra, de diversos tamaños, de fenocristales (1.5 mm) a menores. Algunos presentan oxidación.
- Augita: se encuentra en menos del 10% de la muestra, su tamaño oscila entre los 2 – 0.5 mm. Algunos presentan una aureola de oxidación.
- Matriz: conformada por microcristales de plagioclasa y augita (15%).
- Vesículas: ocupan alrededor de un 10% de la muestra.

Roca: basalto olivínico.

MUESTRA: ZM-08-09 ÁREA DE PINIHUÁN. (21°46.321'/099°34.708')

En la muestra se observa una matriz de microcristales de plagioclasa sin orientación, envolviendo cristales de minerales máficos. Presenta la textura seriada y afieltrada. Los minerales máficos presentan aureola de oxidación. La muestra contiene vesículas así como un mineral opaco (magnetita) (Lámina 4.5 y 4.6).

Componentes:

- Plagioclasas (Labradorita): ocupan un 60% de la muestra variando de 1.5 mm a menores. Son euhedrales-subhedrales, con textura subofítica ya que se encuentran rodeando los piroxenos.

- Máficos: son piroxenos (augita) euhedrales-anhedrales, de tamaño 0.6 mm a menores, ocupan el 20% de la muestra y presentan aureola de oxidación. También se encuentra olivino (5%), euhedrales a anhedrales.
- A su vez, pueden observarse vesículas en un 20% y un mineral opaco -magnetita en un 3%.

Roca: basalto olivínico.

### **Rayón-Cárdenas:**

En los alrededores de Rayón se encontraron varios afloramientos basálticos, presentándose como derrames color rojizo, porosos, que contenían fenocristales de olivino. Las muestras que se obtuvieron se encontraban alteradas. Ésta zona volcánica se extiende alrededor de 20 km desde Rayón hasta Cárdenas, donde se observa desde la carretera, diferentes derrames basáltico-andesíticos, encontrando también algunos conos de escorias que se han estado explotando por los lugareños.

Las descripciones de las secciones delgadas son las siguientes:

#### MUESTRA: ZM-08-10 AREA CÁRDENAS-RAYON. (21°51.672'/099°36.748')

Presenta matriz de plagioclasa intersticial con fenocristales de minerales máficos. También se observan vesículas y minerales opacos (magnetita). Se distinguen las texturas porfirítica, seriada y afieltrada (Lámina 5.1 y 5.2).

Componentes:

- Plagioclasas (Labradorita-Bitownita): se encuentran en un 55% de la muestra, de forma euhedral a subhedral, de 1 mm a menores.
- Máficos: se observa augita en un 30% de la muestra, principalmente como fenocristales (4.5 mm – 0.15 mm) euhedrales – anhedrales. A su vez, se encuentra olivino en un 5 %, de tamaños menores a 0.2mm. Se aprecian de forma euhedral a anhedral.

- Se observan vesículas en menos del 5% de la muestra, así como magnetita en un 3% y otro mineral de forma tabular, posible feldespatos (sanidino) en menos del 2%.

Roca: basalto olivínico.

MUESTRA: ZM-08-11 AREA CÁRDENAS-RAYÓN. (21°58.379'/099°38.547')

Presenta matriz microcristalina con fenocristales de plagioclasa, olivino, augita así como magnetita y vesículas. Se observan las texturas subofítica, porfirítica, seriada y afieltrada (Lamina 5.3 y 5.4).

Componentes:

- Plagioclasas (anortita): se encuentran en 45% de la muestra, de forma euhedral variando de 3 mm a menores.
- Augita: se observa en 15%, de forma euhedral – anhedral, en tamaños menores a 1 mm.
- Olivino: ocupan el 10%, en cristales euhedrales a subhedrales, en 1.75 mm a menores, se encuentran en forma individual y en agregados rodeados de augita y plagioclasa.
- Matriz: cristales y microcristales de plagioclasa y augita (10%).
- Se observa poco más del 15% de vesículas, así como 3% de magnetita.

Roca: Basalto olivínico.

**Tepeyac:**

Este centro volcánico se encuentra cerca de los límites de los estados de San Luis Potosí y Tamaulipas. El terreno se encuentra cubierto por gran cantidad de derrames en todas direcciones, así como lavas de bloques, conos volcánicos y de escoria. El área que cubren estos basaltos es de forma circular con aproximadamente 9 km de diámetro. También se encuentra una zona extensa cubierta por depósitos de cenizas blancas.

Continuando hacia el estado de Tamaulipas, en las inmediaciones de la localidad Miguel Hidalgo (Fotografía 8), se encuentra otro afloramiento de gran magnitud, su extensión es también de alrededor de 9 km de largo por aproximadamente 5 km de ancho y pueden observarse al lado de la carretera los derrames así como las áreas fuente en forma de por lo menos dos conos volcánicos.

A continuación se describen las láminas delgadas de las muestras obtenidas.

MUESTRA: ZM-08-15a AREA DEL TEPEYAC. (22°38.910'/099°55.550')

Muestra con matriz microcristalina de plagioclasas sin orientación, con fenocristales de plagioclasa, máficos, magnetita y vesículas. Se encuentran las texturas porfírica, seriada y afieltrada (Lámina 5.5 y 5.6).

Componentes:

- Plagioclasas (Labradorita-Bitownita): fenocristales de hasta 3.75 mm (15%) a menores (35%). De forma euhedral a subhedral.
- Augita: ocupan el 15%, de forma euhedral – subhedral, en forma individual y agregados. Puede observarse como fenocristales.
- Olivino: Son cristales euhedrales a anhedrales, de 1.25 mm a 0.05 mm, que ocupan el 15% de la muestra. Algunos se encuentran en agregados, rodeados de augita y otros de forma individual.
- Matriz: se conforma de microcristales de plagioclasa y augita (10%).
- Contiene 5% de vesículas, así como 5% de magnetita.

Roca: basalto olivínico.

MUESTRA: ZM-08-15b ÁREA DEL TEPEYAC. (22°38.910'/099°55.550')

Muestra con plagioclasas como matriz conteniendo mineral máfico (augita). Presenta gran cantidad de vesículas. Se encuentran la textura afieltrada (Lámina 6.1).

Componentes:

- Plagioclasas: Se muestran de tamaño uniforme alrededor de 0.2 mm, formando la matriz. Textura afieltrada. De forma euhedral a subhedral.
- Augita: ocupan el 15%, de forma euhedral – subhedral, Tamaño de 1.5 mm a 0.05 mm.
- Contiene 25% de vesículas.

Roca: Basalto.

MUESTRA: ZM-08-13 ÁREA SUR DE TULA TAMAULIPAS. (22°49.513'/099°53.329')

La muestra presenta gran cantidad de plagioclasas, pocos minerales máficos, y gran cantidad de vesículas. Se observan la textura seriada y afieltrada (Lámina 6.2 y 6.3).

Componentes:

- Plagioclasas (Bitownita-Anortita): como fenocristales (2.5 mm) ocupan el 60%; en tamaños menores forman parte de la matriz. Se encuentran de forma euhedral, presentan texturas seriada, afieltrada.
- Augita: se observa en  $\pm 10\%$  de la muestra, de forma euhedral – subhedral. Su tamaño varía de 3 mm a 0.75 mm.
- Olivino: se observa en  $\pm 10\%$  de la muestra, de forma euhedral – subhedral. Su tamaño varía de 1.25 mm a menores.
- Se observan 15% de vesículas, así como 5% de magnetita.

Roca: Basalto olivínico.

MUESTRA: ZM-08-14 AREA CIUDAD TULA. (22°49.513'/099°53.329')

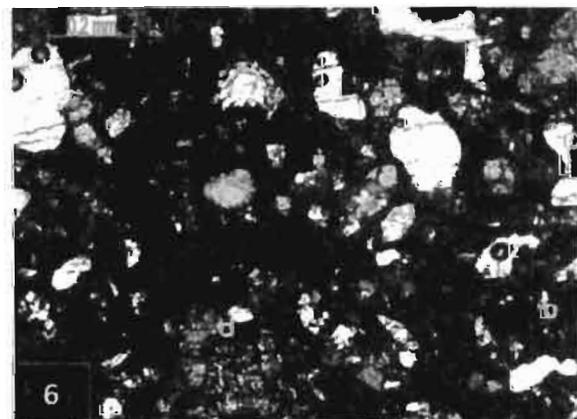
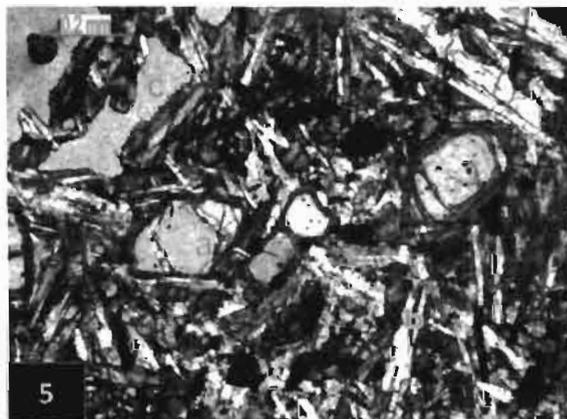
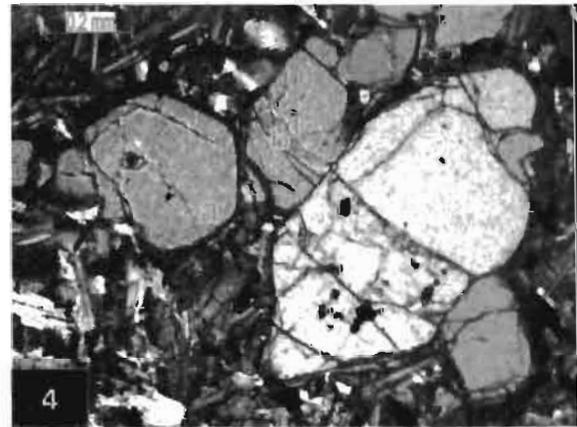
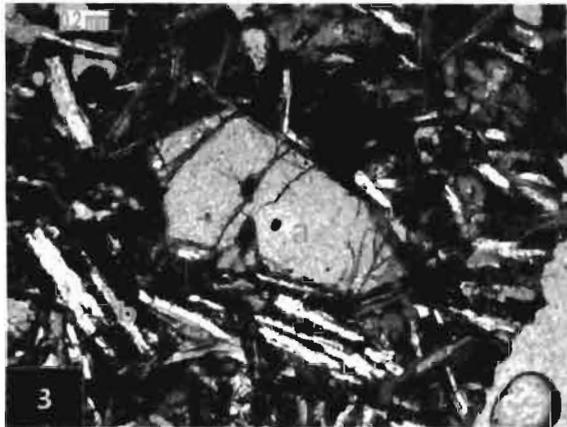
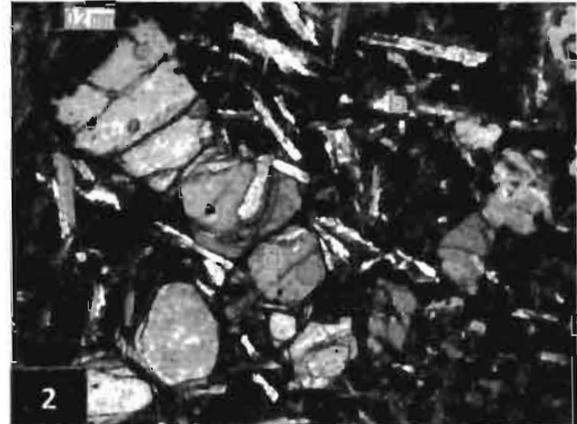
Presenta matriz microcristalina con fenocristales de plagioclasa, máficos así como mineral opaco y vesículas. Se observan las texturas subofítica, porfirítica, seriada y afieltrada (Lámina 6.4 y 6.5).

Componentes:

- Plagioclasas (andesina-labradorita):: como fenocristales (2.5 mm) ocupan el 15%; de tamaños menores ocupan un 35%. Se encuentran de forma euhedral.
- Augita: se observa en 20% de la muestra, de forma euhedral – anhedral, en forma individual y agregados. Su tamaño varía de 1.5 mm a menores.
- Olivino: Son cristales euhedrales a anhedrales, de 1 mm a 0.1 mm, que ocupan el 10% de la muestra, algunos se encuentran rodeados de augita.
- Matriz: se conforma de microcristales de plagioclasa y augita (10%).
- Se observan 5% de vesículas, así como 5% de magnetita.

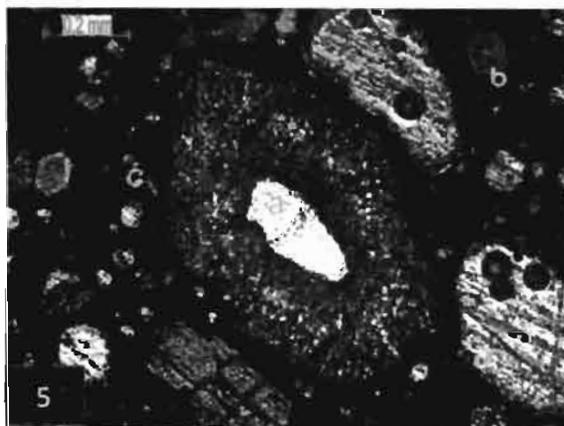
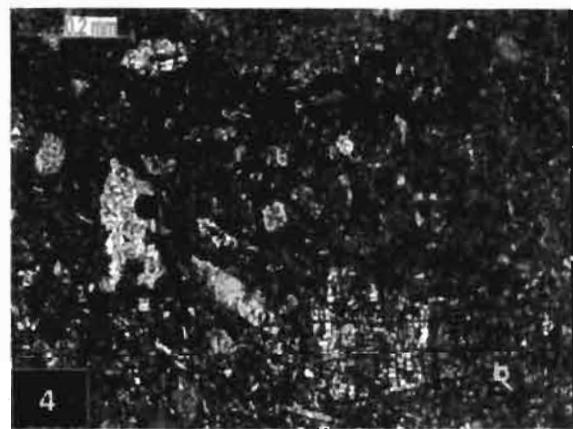
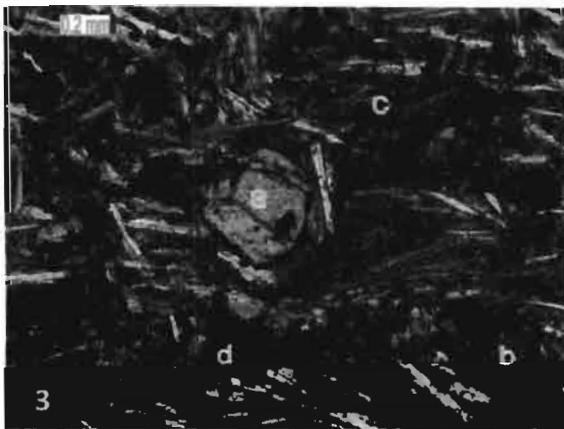
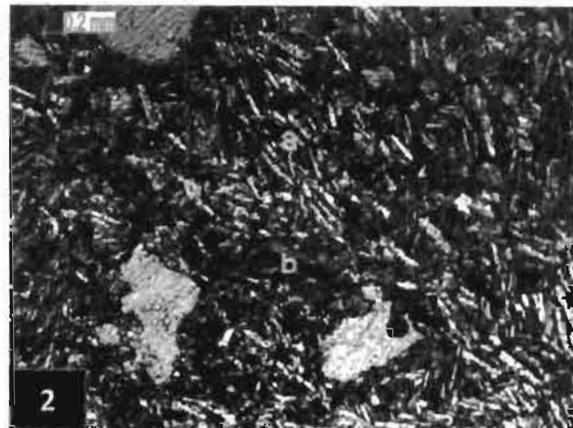
Roca: andesita basáltica.

## LAMINA 2.



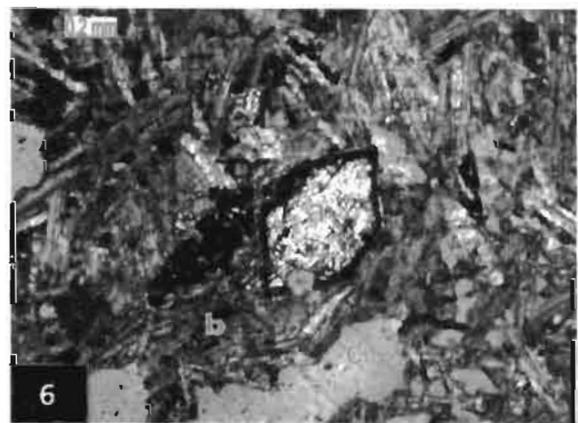
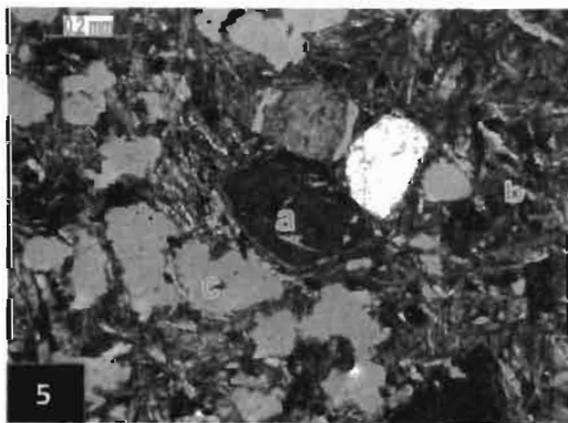
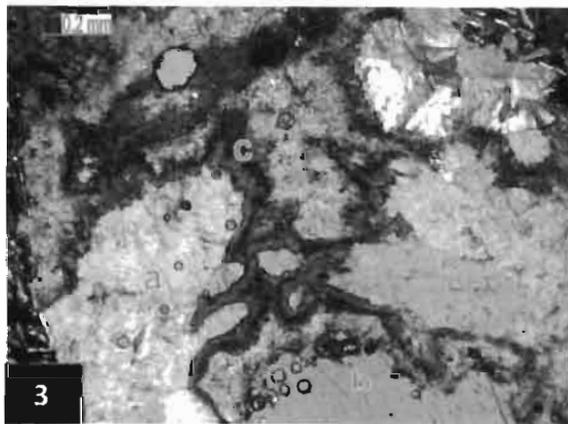
1. Se observa olivino (a), plagioclasas (b) y vesículas (c) (5x, LP).
2. Se observa olivino (a) y plagioclasas (b). (5x, LP).
3. Micro-fenocristal de augita (a) y plagioclasas (b). (5x, LP).
4. Se observan fenocristales de olivino (a) y augita (b). (5x, LP).
5. Se observan olivinos oxidados(a), plagioclasas (b) y vesículas (c) (5x, LP).
6. Minerales máficos (a), cuarzo (b) y vesículas (c) dentro de una matriz desvitrificada (d) (5x, LP).

### LÁMINA 3.



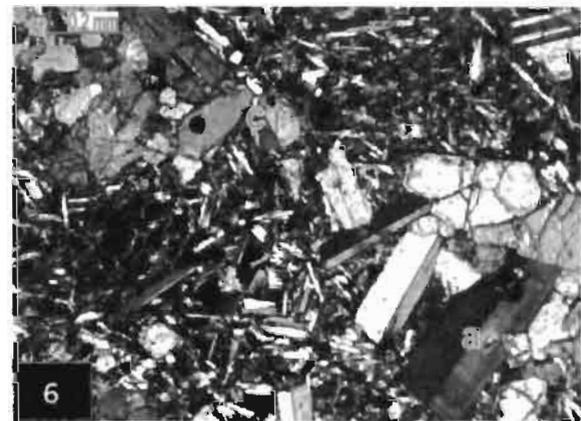
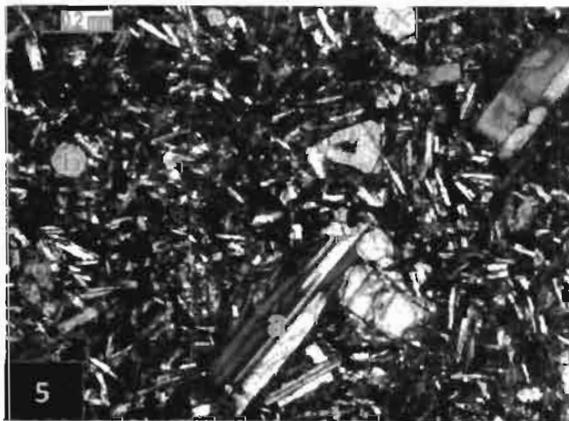
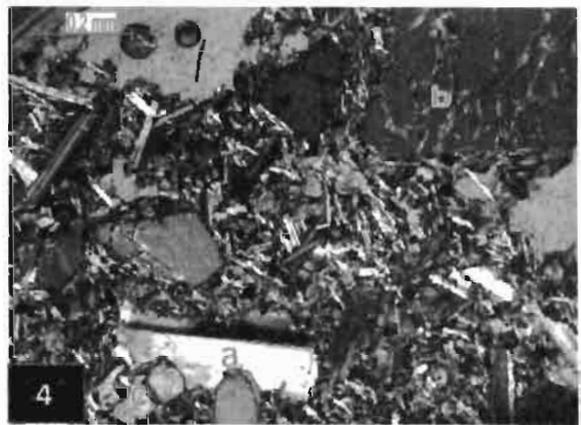
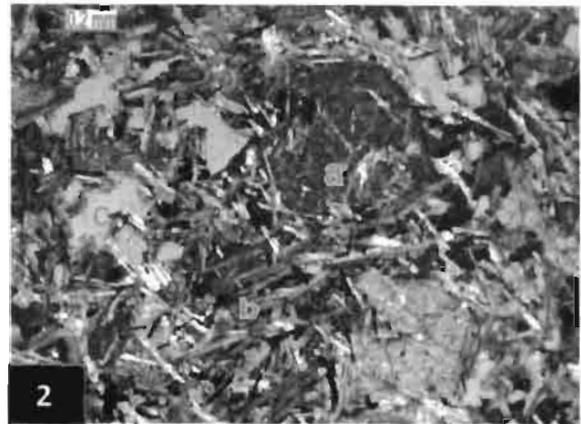
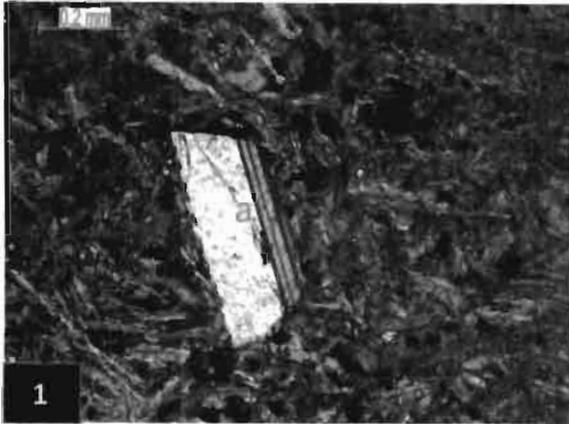
1. Se observan cristales de calcita (a), cuarzo (b) y plagioclasas (c) (5x, LP).
2. Se observan plagioclasas (a), augita (b) y vesículas (c) (5x, LP).
3. Se observan olivino(a), augita (b), plagioclasas (c) y minerales opacos (d) (5x, LP).
4. Se observan minerales máficos (a), plagioclasas (b) y vesículas (c) (5x, LP).
5. Cristales de cuarzo (a), augita (b), algunas plagioclasas (c) y vesículas (d) (5x, LP).
6. Se observan cristales de plagioclasas (a), olivino (b), augita(c) y vesículas (d). (5x, LP).

LÁMINA 4.



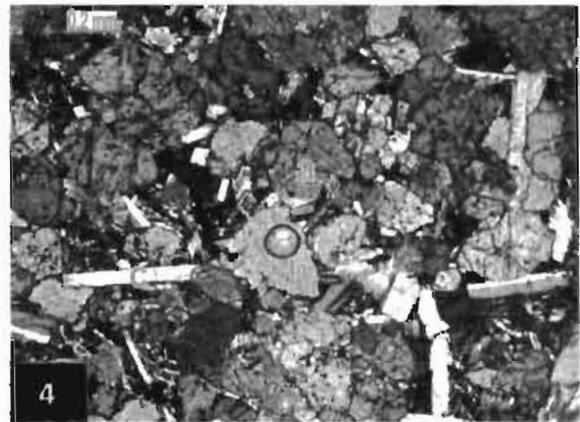
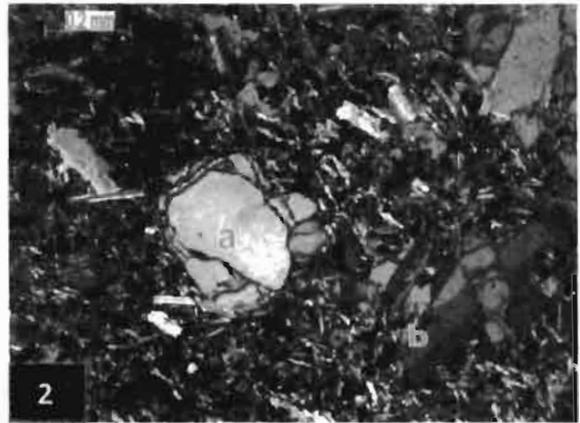
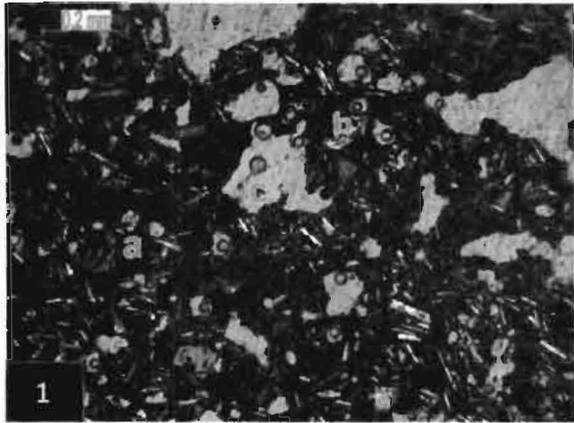
1. Plagioclasas (a), augita (b), magnetita (c), vesículas (d) (5x, LP).
2. Se observan minerales máficos reemplazados por clorita (a) y plagioclasas (b) (5x, LP).
3. Calcita (a) en el borde de una vesícula (b) y mineral de oxidación (c) (5x, LP).
4. Se observa augita (a), plagioclasas (b) y vesículas (c) (5x, LP).
5. Mineral máfico - augita (a), plagioclasas (b) y vesículas (c) (5x, LP).
6. Se observa augita (a), plagioclasas (b) y vesículas (c) (5x, LP).

## LÁMINA 5.



1. Fenocristal de plagioclasa (a). (5x, LP).
2. Se observan augita (a), plagioclasas (b) y vesiculas (c). (5x, LP).
3. Se observan plagioclasas(a), olivino (b) y augita (c). (5x, LP)
4. Micro- fenocristales de plagioclasa (a), augita (b) y olivino(c). (5x, LP).
5. Plagioclasas (a) y olivino (b). (5x, LP)
6. Se observan plagioclasas (a), augita (b) y olivino (c). (5x, LP).

## LÁMINA 6.



1. Se observan matriz de plagioclasas (a), augita (b) y vesículas (c) (5x, LP).
2. Olivino(a) y plagioclasas de diversos tamaños (b) (5x, LP).
3. Plagioclasas (a) y mineral máfico (b) (5x, LP).
4. Agregado de augita (a) alrededor de una vesícula (b), plagioclasas (c) (5x, LP).
5. Plagioclasas (a) y olivino (b) (5x, LP).

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Existen indicios suficientes y documentación histórica, así como testimonios recientes y registro documentado de la ocurrencia de sismos en territorio del estado de San Luis Potosí. Una de las zonas con mayor actividad según los registros y la documentación hasta ahora realizada, es un corredor que cruza el estado desde San Cirio de Acosta y Santa Catarina al sur, hasta Palomas y La Pólvora en los municipios de Cd. Del Maíz y Guadalcázar al norte.

Fuera del estado de San Luis Potosí, estas zonas se extienden hacia el sur del estado de Tamaulipas en las cercanías de Tula y por el sur hacia la zona de la Sierra Gorda en Querétaro.

Se confirmó la percepción inicial de la ocurrencia de rocas máficas de muy probable edad cuaternaria asociadas a las zonas con ocurrencia de sismos, por lo que se deberá de trabajar más exhaustivamente en la demostración con datos duros de la relación de ambos, sismos y derrames volcánicos, con fallas regionales que necesariamente tendrían en la actualidad actividad aunque esporádica y de baja intensidad.

No existen hasta el momento evidencias que confirmen la asociación de los sismos con estructuras estrictamente paralelas a los lineamientos regionales descritos, aunque se ha hecho hincapié en la evidente ocurrencia de los epicentros a lo largo de dichos lineamientos, las verdaderas estructuras sismogénicas podrían tener una dirección diferente pero estar asociadas a las mismas zonas, por ejemplo el caso de transformantes asociadas a las mismas zonas de debilidad cortical, o estructuras tipo riedel (R, R',P), etc, que serían oblicuas a los lineamientos aquí descritos.

Debido a la falta de cobertura adecuada con estaciones sismológicas en la zona, no se han podido reconstruir los mecanismos focales, lo cual impide conocer con exactitud la naturaleza de las estructuras causantes de los sismos y los regímenes de esfuerzos asociados a las mismas, por lo que se recomienda dar continuidad al trabajo, instalando redes sísmicas locales para tener una base de datos y un registro permanente y con ello poder entender mejor el comportamiento de la zona de estudio.

## Bibliografía

- **Aguayo-Camargo, J.E.**, 1998, The middle Cretaceous El Abra Limestone at its type locality (facies, diagenesis and oil emplacement), east-central Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(1), 1-8.
- **Aguilar, R.A.**, 1984, Integración geológica -geoquímica para determinar posibles áreas de generación de hidrocarburos en la porción centro-oriental de la zona norte, Tesis Maestro en Ingeniería, UNAM, 229 p.
- **Aranda-Gómez, J.J., Luhr, J., Housh, T., Valdéz-Moreno, G., Chávez-Cabello, G.**, 2005, El volcanismo tipo intraplaca del Cenozoico tardío en el centro y norte de México: una revisión, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LVII, núm. 3, 187-225p.
- **Barboza-Gudiño, J. R., Hoppe, M., Gómez-Anguiano, M., Martínez-Macias, P. R.**, 2004, Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21, 299-319.
- **Barboza-Gudiño, R., Tristán-González, M., Torres-Hernández, J.R.**, 1999, Tectonic setting of pre-Oxfordian units from central and northeastern Mexico: a review; en Bartolini, C., Wilson, J. L., Lawton, T. F., (eds.), *Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico*: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 340, 197-210.
- **Basañez-Loyola, M. A., Fernández-Turner, R., Rosales-Domínguez, C.**, 1993, Cretaceous Platform of Valles-San Luis Potosí, Northeastern Central Mexico, in Simo, J. A.; Scott, R., Masse, J. P. (eds.), *Cretaceous Carbonate Platforms*: Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 56, 51-59.

- **Carrillo-Bravo, J.**, 1971, La Plataforma Valles San Luis Potosí: Boletín Asociación Mexicana Geólogos Petroleros, V.23, 1-101p.
- **Cas, R.A.F., Wright, J.V.**, 1987, Volcanic Successions Modern and Ancient, London, 33-58, 363-412.
- **De la Fuente-Navarro, J.M.**, 1964, Estudio Geológico del área Cárdenas- Río Verde, SLP y Arroyo Seco, Qro, México., Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, vol XVI, No. 11-12, 237-250 p.
- **Fries, C. Jr.**, 1960, Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. Boletín del Instituto Geológico de México, 60, 236 p.
- **Garza-Blanc, S. A.**, 1978, Cartografía Geológica Santa Catarina, S.L.P., Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico No. 61, 37 p.
- **Gómez-González, J. M., Barboza-Gudiño, J. R., Luque, N.A., Figueroa, A.G.**, 2008, Segundo reporte sobre la sismicidad en los Municipios de Landa de Matamoros y Jalpan de Serra, Querétaro. Universidad Nacional Autónoma de México Campus Juriquilla, Qro – Universidad Autónoma de San Luis Potosí, agosto de 2008.
- **Gómez-González, J.M., Barboza-Gudiño, J.R.**, 2005, Sismicidad en el Estado de San Luis Potosí, folleto técnico 129, Universidad Nacional Autónoma de México Campus Juriquilla, Qro – Universidad Autónoma de San Luis Potosí
- **Gómez-González, J.M., Barboza-Gudiño, J. R.**, 2003, Reporte de Actividades de Monitoreo Sísmico en el Estado de San Luis Potosí, Universidad Nacional Autónoma de México Campus Juriquilla, Qro – Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Marzo 2003.

- **Heim, A.**, 1925, Sketch of the Railway Section from Cardenas to Tamasopo, Informe inédito, Petróleos Mexicanos.
- **Kearey, P., Klepeis, K., Vine, F.**, 2009., Global Tectonics, Wiley-Blackwell, 9-21p.
- **Kellum, L.B.**, 1930, "Similarity of surface Geology in front range of Sierra Madre Oriental to subsurface in Mexican south fields", Bulletin of the American Association of Petroleum Geology, 14, 73p.
- **Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Aguillón-Robles, A., Jiménez-López, L. S., Romero, A.**, 1989, Cartografía Geológica 1:50,000 de las Hojas El refugio y Mineral el Realito, Estados de San Luis Potosí y Guanajuato. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Instituto de Geología, Folleto Técnico No. 112, 76 p.
- **López-Doncel, R.**, 2002, Estudios estratigráficos y deposicionales de la Formación Soyatal (Turoniano), en la Sierra de Álvarez y Sierra del Coro, porción centro-occidental del estado de San Luis Potosí (resumen), en XVI Convención Geológica Nacional, Puerto Vallarta, Jalisco: México, D.F., Sociedad Geológica Mexicana, 335-336.
- **Martínez, P.J.**, 1965. Exploración geológica del área San Francisco - El Estribo, S. L. P., Petróleos Mexicanos, Zona Norte. Informe Geológico. No 516 (inédito)
- **Montalvo, J.C., Gómez, J.M., Ramírez, J.A., Luque, N., Barboza, R.**, 2008, Respuesta Sísmica de sitio en la Ciudad de San Luis Potosí obtenida a partir de registros de microtemores.- Unión Geofísica Mexicana, GEOS vol 28, No. 2 Octubre 2008.
- **Myers, R. L.**, 1968, Biostratigraphy of the Cárdenas Formation (Upper Cretaceous) San Luis Potosí, México, Revista de Paleontología Mexicana, No. 24, Instituto de Geología de la UNAM, 89 p.

- **Periódico Oficial “La Sombra de Zaragoza”**, SLP, No. 175, 6 de noviembre de 1868, Archivo Histórico, p. 4.
- **Periódico Oficial “La Sombra de Zaragoza”**, SLP, No. 912, 26 de noviembre de 1887, Biblioteca Pública Universitaria p.3.
- **Periódico Oficial**, SLP, 24 de enero 1896, Biblioteca Pública Universitaria.
- **Periódico PULSO**, SLP, 30 noviembre 2006, Biblioteca Pública Universitaria.
- **Periódico PULSO**, SLP, 13 febrero 2007, Biblioteca Pública Universitaria.
- **Periódico PULSO**, SLP, 15 febrero 2007, Biblioteca Pública Universitaria.
- **Periódico PULSO**, SLP, 20 julio 2006, Biblioteca Pública Universitaria.
- **Periódico PULSO**, SLP, 3 marzo 1994, Biblioteca Pública Universitaria.
- **Periódico San Luis Hoy**, SLP, 30 noviembre 2006, Biblioteca Pública Universitaria.
- **Rodríguez-Ríos, R., Martínez-De la Cruz, M.**, 2000, Cartografía-Minera-Geoquímica de la hoja Pozas de Santa Ana (F-14-A-55), Servicio Geológico Mexicano, 95 P.
- **Suter, M.**, 1991, State of stress and active deformation in Mexico and western Central America, in Slemmons, D. B., Engdahl, E. R., Zoback, M. D., and Blackwell, D.D., eds., Neotectonics of North America: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Decade Map Volume 1, chapter 22, p. 401-421.
- **Tristán-González, M., Torres-Hernández, J. R.**, 1992, Cartografía Geológica 1:50,000 de la Hoja Charcas, Estado de San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología, Folleto Técnico No. 115, 83 p.

Hoja SLP

- **Udías, A.**, 1999, Principles of Seismology, Cambridge, 275-401p.
- **White, D.E.**, 1948, Antimony Deposits of Soyatal District, State Of Queretaro, Mexico: United State Geological Survey Bulletin, 960-b, 35-175.
- **Wilson, B.W., Hernández, J.P., Meave, E.**, 1955, Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del estado de Querétaro, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 18(1), 1-10.