

3



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA  
CUENCA DE LA INDEPENDENCIA Y SUS  
ALREDEDORES, ESTADO DE  
GUANAJUATO, MÉXICO.**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO GEÓLOGO  
P R E S E N T A:  
EDUARDO ALANIS RUIZ**

**DIRECTOR: ING. ALBERTO ARIAS PAZ.**



**MÉXICO, D.F.**

**2002**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

PAGINACIÓN

DISCONTINUA



SEGURIDAD NACIONAL  
SISTEMA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-055

**SR. EDUARDO ALANIS RUIZ**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Alberto Arias Paz y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**EVOLUCION GEOLOGICA DE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA Y SUS  
ALREDEDORES, ESTADO DE GUANAJUATO, MEXICO**

- I INTRODUCCION**
- II GENERALIDADES SOBRE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA**
- III MARCO GEOLOGICO REGIONAL**
- IV GEOLOGIA ESTRUCTURAL**
- V ESTRATIGRAFIA**
- VI APLICACION DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG) EN EL MANEJO DE LA INFORMACION GEOLOGICA**
- VII DISCUSION**
- VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFIA**
- APENDICES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F. a 28 de enero de 2002  
EL DIRECTOR

  
ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB\*RLLR\*gtg

ll

## **DEDICATORIA**

### **A MIS PADRES:**

Raquel y Eduardo

Gracias por su amor y comprensión.

### **A MIS HERMANOS.**

Martín, Raquel, María Elena, Patricia y Jorge

Gracias por su amor y apoyo en todo momento.

### **A MI FAMILIA:**

Con amor para mis abuelos Carmen, Piedad y Ezequiel,  
a toda la familia Ruiz especialmente a mis tías Eva, Olga  
y Elena, gracias por todo.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Expreso mi agradecimiento a la Institución que a contribuido en mi formación profesional: Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.).**

**Un profundo agradecimiento a mis maestros de la Facultad de Ingeniería, especialmente a mis sinodales Ing. Alberto Arias Paz, Héctor L. Macias González, Javier Arellano Gil, Martín C. Vidal García y Lilia Arana Salinas, por su apoyo y por sus valiosos comentarios aportaciones y sugerencias que ayudaron a mejorar esta tesis.**

**Al Dr. Adrián Ortega G. por sus valiosos consejos y comentarios, a los Dres. José Jorge Aranda G. y Gerardo de Jesús Aguirre D. por sus revisiones y valiosas aportaciones para esta tesis; a los Dres. Angel Francisco Nieto S., Luis Francisco Vassallo M., Juventino Martínez R. y Gerardo Carrasco N., por facilitarme su información cartográfica.**

**A mis amigos Agustín Hernández, Alejandro Anaya, Gabriela Rojas, Lilia Arana, Andrea Reyes, Eloisa Domínguez, Carlos Vargas, Ignacio Navarro, Martha Elizondo, Dora Carreón, Mariano Cerca, Soledad Medina, Teresa Orozco, Amabel Ortega, Claudia Romero, Francisco Urrutía, Tania Hernández, Martín Hernández, Dionisio León, Aarón Gutiérrez, Juan M. Gómez, Jorge Cordero y Eugenio Segura, quienes me han brindado su amistad y apoyo en todo momento.**

**A todo el personal de la Unidad de Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT), por todas las facilidades y el apoyo prestado.**

# EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA Y SUS ALREDEDORES, ESTADO DE GUANAJUATO, MÉXICO.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
 <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Trabajos Previos.....	3
<b>1.3 Objetivos y Metas.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Metodología.....</b>	<b>5</b>
1.4.1 Recopilación de información.....	5
1.4.2 Fotointerpretación.....	7
1.4.3 Trabajo de Campo.....	7
1.4.4 Interpretación de los datos de campo y gabinete.....	7
 <b>CAPÍTULO II. GENERALIDADES SOBRE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA</b>	
<b>2.1 Localización.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Vías de comunicación.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Fisiografía.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Hidrología.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Climatología, vegetación y suelos.....</b>	<b>16</b>

## **CAPÍTULO III. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

### **3. Provincias Geológicas**

<b>3.1 Sierra Madre Oriental (SMOr)</b> .....	20
<b>3.2 Faja Volcánica Transmexicana (FVTM)</b> .....	22
<b>3.3 Sierra Madre Occidental (SMOc)</b> .....	24

## **CAPÍTULO IV. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

<b>4.1 Fallamiento en la Mesa Central</b> .....	27
<b>4.2 Edad del Fallamiento</b> .....	29

## **CAPÍTULO V. ESTRATIGRAFÍA**

<b>5.1. Mesozoico</b> .....	32
5.1.1 Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Js-KiM, A-Cz-Ar-D), Js-Ki(Tn-Px).....	32
<b>5.2. Terciario (Neógeno-Paleógeno)</b> .....	39
5.2.1 Paleoceno-Eoceno Te (Cgp-R-Gr).....	39
5.2.2 Oligoceno Tom (R-A-Ig).....	42
5.2.3 Mioceno Tm (A-Da-B-R).....	49
5.2.4 Plioceno-Pleistoceno TnQ (Cgp-Ar-Lm).....	54
<b>5.3. Cuaternario</b> .....	57
5.3.1 Holoceno (Qhal).....	57
<b>5.4. Secciones Geológicas</b> .....	57
5.4.1 Sección Geológica A-B.....	57
5.4.2 Sección Geológica B-C.....	60
5.4.3 Sección Geológica C-D.....	61
5.4.4 Sección Geológica D-E.....	61
5.4.5 Sección Geológica E-F.....	62
<b>5.5. Correlación Estratigráfica</b> .....	62



**CAPÍTULO VI. APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA**

**6.1. Introducción.....66**  
**6.2. Definición de un Sistema de Información Geográfica (SIG).....67**  
**6.3. Procesamiento de la Información.....67**  
**6.4. Componentes de un SIG.....68**  
    6.4.1 Entrada de datos.....68  
    6.4.2 Manejo de datos.....69  
    6.4.3 Análisis de los datos.....69  
    6.4.4 Salida de los datos.....69

**CAPÍTULO VII. DISCUSIÓN.....71**

**CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....74**

**BIBLIOGRAFÍA.....76**

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
<b>Fig. 1</b>	Localización de la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.....	10
<b>Fig. 2</b>	Fisiografía del Estado de Guanajuato. Modificado de la Síntesis Geográfica de Guanajuato de la SPP, (1980).....	12
<b>Fig. 3</b>	Mapa que muestra la hipsografía y el drenaje superficial en la Cuenca de la Independencia.....	14
<b>Fig. 4</b>	Climatología del Estado de Guanajuato. Modificado de la SPP, (1980).....	17
<b>Fig. 5</b>	Provincias geológicas en las que se ubica la Cuenca de la Independencia. Modificado de Ortega-Gutiérrez <i>et al.</i> , (1992).....	21
<b>Fig. 6</b>	Mapa que muestra las principales fallas cenozoicas poslaramídicas de la región central de México. Modificado de Nieto-Samaniego <i>et al.</i> , (1999).....	28
<b>Fig. 7</b>	Afloramiento de rocas mesozoicas en la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.....	33
<b>Fig. 8</b>	Afloramiento de rocas mesozoicas y del Terciario temprano en la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.....	40
<b>Fig. 9</b>	Distribución de rocas mesozoicas a oligocénicas en la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.....	43
<b>Fig. 10</b>	Afloramiento de rocas del Mesozoico al Mioceno en la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.....	50
<b>Fig. 11</b>	Afloramiento de rocas del Mesozoico al Holoceno en la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.....	56
<b>Fig. 12</b>	Mapa Geológico de la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.....	58
<b>Fig. 12a</b>	Secciones geológicas esquemáticas.....	59
<b>Fig. 13</b>	Columna estratigráfica de la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.....	63
<b>Fig. 14a</b>	Relación de columnas estratigráficas y fechamientos de rocas realizadas por varios autores en el área de estudio. Tomado y modificado de Cerca-Martínez <i>et al.</i> , (2000)...	64
<b>Fig. 14b</b>	Relación de columnas estratigráficas y fechamientos de rocas realizadas por varios autores en el área de estudio. Tomado y modificado de Cerca-Martínez <i>et al.</i> , (2000)...	65

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Relación de la cartografía compilada por diversas fuentes.....	6
<b>Tabla 2.</b> Relación de la compilación de fotografías aéreas del sitio en estudio.....	6
<b>Tabla 3.</b> Principales variantes de los climas de la Cuenca de la Independencia en el Estado de Guanajuato.....	18
<b>Tabla 4.</b> Fechamientos isotópicos recopilados en el área de estudio.....	35

## RESUMEN

La Cuenca de la Independencia (CI), abarca en su interior un área de 6,840 km<sup>2</sup> y se localiza al nororiente del estado de Guanajuato en una zona de transición entre las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental (SMOr), Mesa Central (MC) y la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). La evolución geológica de la Cuenca de la Independencia inicia con el depósito en una secuencia de rocas volcanosedimentarias mesozoicas, depositadas en un ambiente marino, probablemente relacionado a un arco de islas del Cretácico Inferior (Arco de Guanajuato) o acumuladas en la Cuenca de Arperos, ambas secuencias se relacionan al Terreno Guerrero. En la parte suroriental de la cuenca, en la Sierra de los Cuarzos, el basamento está formado por esquistos y filitas cubiertos por lavas andesíticas. En Mineral de Pozos la secuencia consiste en intercalaciones de lutitas, limolitas, areniscas y una secuencia de calizas con pedernal negro. Todas estas rocas fueron afectadas por deformaciones compresivas (Orogénia Oregoniana y Laramide) que produjeron estructuras como pliegues, cabalgaduras y metamorfismo de bajo grado. Las secuencias del Terciario Inferior se caracterizan por depósitos de molasa del Conglomerado Rojo de Guanajuato, que contiene algunas intercalaciones de lava basáltica; Un batolito de composición granítica (Granito de Comanja) y por la Riolita la Bufa del Distrito Minero de Guanajuato. Estas rocas constituyen el límite SW de la Cuenca de la Independencia. Durante el Cenozoico Medio y Tardío, las estructuras desarrolladas fueron principalmente fallas y fracturas productos de extensión. Las relaciones entre fallas y algunas unidades estratigráficas permitieron distinguir varios eventos de fallamiento con edades Paleoceno-Eoceno hasta el Plioceno-Pleistoceno. En el Oligoceno ocurrió un incremento en la tasa de volcanismo relacionado a una tectónica de subducción al W de México. Así mismo sucedió un nuevo episodio de fallamiento normal y la emisión de domos riolíticos, grandes volúmenes de ignimbritas y en menor grado flujos andesíticos. Estos fallamientos propiciaron la reactivación de fallas y la generación de fosas y pilares en toda la Cuenca de la Independencia; las rocas asociadas a estas estructuras forman parte de los límites NW y SW, N y E. En el Mioceno tardío cambió la composición del volcanismo, empezando por la actividad de la Faja Volcánica Transmexicana con el emplazamiento de grandes estratovolcanes de composición andesítica-dacítica-basáltica, con una orientación aproximada NE-SW. Estas estructuras originaron el cierre topográfico en la porción S-SE de la Cuenca de la Independencia. Conjuntamente con el fallamiento, que provocó el hundimiento y con los emplazamientos volcánicos, fueron depositándose sedimentos desde el Oligoceno al Reciente. Se estima que el espesor de los sedimentos en la parte central de la Cuenca de la Independencia alcanza los 400 m de profundidad debido a la Falla San Miguel de Allende.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Justificación del Trabajo**

La exploración de los recursos naturales y su explotación son cada vez más difíciles y costosos, de ahí que las técnicas para tales fines sean día con día más sofisticadas. Dentro de este contexto el presente trabajo muestra la importancia de conocer el entorno geológico de cualquier región, para conceptualizar todos los eventos geológicos que han ocurrido tanto en la escala del tiempo geológico como en el espacio. Para conocer la geometría de cualquier área es necesario identificar la litología de cada una de las unidades y establecer detalladamente las características geológicas superficiales y del subsuelo, con el apoyo de métodos de exploración directos e indirectos.

Por las dimensiones tan grandes del área de estudio aproximadamente parte de 15 cartas de INEGI a escala 1:50,000, equivalentes a 13,700 km<sup>2</sup> fue necesario recurrir a todas las fuentes de información disponibles. Debido a que la cartografía geológica existente fue efectuada por distintos autores con diferentes objetivos y a diferentes escalas, fue necesario organizar citas y datos del área para este estudio. Por tanto, se realizó una compilación, interpretación y uniformización de los datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Empleando el SIG se elaboró un mapa geológico de toda la región, apropiado para los fines del estudio. Este trabajo se basó en información publicada e inédita, que sirvió

para describir la evolución de una serie de eventos geológicos y tectónicos que formaron la Cuenca de la Independencia como la conocemos ahora.

La utilización del SIG dió la oportunidad de aplicar un conjunto de herramientas para la captura, almacenamiento, análisis y salida de datos geográficamente referenciados, que permitieron la creación de mapas, ya que los SIG son capaces de combinar información de datos espaciales y no espaciales representados por puntos líneas y polígonos que tienen atributos asociados; la utilización del SIG permitió el manejo de la información en forma eficiente, la cual sirve como una base geológica fundamentada, de calidad y suficiente para la evaluación de los recursos naturales y para la realización de estudios aplicados en diversas áreas como la hidrogeología, minería, geotecnia, ambiental, riesgos geológicos, etc.

## **1.2 Antecedentes**

### **1.2.1 Trabajos Previos**

Aranda-Gómez y colaboradores (1989), publicaron un estudio estratigráfico de la Sierra de Guanajuato, dividiendo la zona en dos grandes paquetes, uno del Mesozoico al cual llaman “complejo basal” y otro posterior denominado “la cubierta”. El primero está formado por rocas sedimentarias y volcánicas de origen submarino y por rocas plutónicas afectadas por metamorfismo de bajo grado y que fueron deformadas por esfuerzos compresivos. El segundo paquete (la cubierta), de edad Cenozoica, está formado por conglomerados continentales del Eoceno y por una secuencia gruesa de rocas volcánicas continentales predominantemente félsicas (Oligoceno). Además, Carranza-Castañeda (1987), afirma que en algunas regiones de la parte meridional de la Mesa Central, existen depósitos extensos de grava con fauna de vertebrados del Plioceno-Pleistoceno, los cuales también ha reportado en partes de la Cuenca de la Independencia, cerca de San Miguel de Allende.

La evolución del Volcán Zamorano, ubicado en las cercanías del SE de la cuenca fue discutida por Carrasco-Núñez *et al.*, (1989), Nieto-Samaniego *et al.*, (1992), quienes estudiaron la tectónica y la estratigrafía cenozoica en la parte suroriental de la Sierra de

Guanajuato y realizaron una interpretación estructural de los rasgos geomorfológicos principales del borde suroccidental de la Cuenca de la Independencia. Martínez-Reyes *et al.*, (1995), analizaron el potencial minero en la porción central poniente del estado de Guanajuato, con base en la estratigrafía y la cartografía de la zona. Por otro lado Nieto-Samaniego *et al.*, (1997), fecharon por métodos isotópicos (K-Ar) rocas de la cubierta cenozoica de la parte meridional de la Mesa Central, estudiaron la deformación cenozoica post-laramídica. Nieto-Samaniego *et al.*, (1999), cartografiaron la hoja San Miguel de Allende y una porción de la Hoja Aldama F14-C53 a escala 1:50,000 que no han publicado.

Los grandes estratovolcanes miocénicos Palo Huérfano, La Joya y El Zamorano, que se localizan en la porción sur de la cuenca, son considerados como los más antiguos en su tipo pertenecientes a la FVTM. Según Pérez-Venzor *et al.*, (1996), algunos de los productos volcánicos provenientes de estas estructuras causaron en el Mioceno el cierre de la Cuenca de la Independencia y analizaron la evolución geológica del volcán Palo Huérfano, además de efectuar algunos fechamientos en algunas rocas, con lo que acotaron las edades del fallamiento del Cenozoico tardío en la parte de la cuenca. Vassallo-Morales *et al.*, (1998), estudiaron un área de 250 km<sup>2</sup> donde aflora un basamento metamórfico cubierto con lavas andesíticas metamorizadas, correlacionaron a esta secuencia metamórfica con la Formación Las Trancas y San Juan de la Rosa del Kimeridgiano-Barremiano. Valdés-Moreno *et al.*, (1998), analizaron la evolución geológica del volcán La Joya y fecharon algunas de sus rocas, relacionando la génesis de este volcán con los inicios de la actividad de la FVTM en la región. Cerca-Martínez *et al.*, (2000), discutieron la evolución geológica en el sur de la Sierra de Guanajuato y la interpretaron como un ejemplo de la transición de la Sierra Madre Occidental y la FVTM, su trabajo se basa en fechamiento isotópico de rocas y en cartografía geológica regional.

### **I.3 Objetivos y Metas**

El objetivo principal de esta tesis es:

- Contar con un modelo de evolución geológica y estructural de la Cuenca de la Independencia, utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Las metas específicas del trabajo son:

- Establecer la estratigrafía de la Cuenca de la Independencia (CI).
- Realizar el modelo de evolución geológica y estructural de la Cuenca de la Independencia.
- De acuerdo con la información disponible, compilar mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) el mapa geológico de la (CI), a una escala adecuada realizando trabajos de gabinete y verificaciones de campo.
- Contar con una base de datos geológicos en formato digital que permita desplegar la información requerida en un mapa geológico, de tal manera, que este se pueda actualizar en forma continua y con temas diversos.

#### **I.4 Metodología**

La metodología utilizada en esta investigación se describe a continuación.

##### **I.4.1 Recopilación de información**

La información referente al área de estudio fue recopilada en diferentes instituciones públicas y consistió en artículos publicados en México y en el extranjero, estudios hidrogeológicos y tesis inéditas.

La información cartográfica, geológica y topográfica disponible acerca del área de estudio, se obtuvo en diferentes instituciones que se mencionan en la Tabla 1: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Consejo de Recursos Minerales (CRM), Instituto de Geología y Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).



**TABLA 1.** Relación de la cartografía compilada por diversas fuentes.

<b>INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI)</b>		<b>CONSEJO DE RECURSOS MINERALES (CRM)</b>	
Escala 1: 250,000	Escala 1: 50,000	Escala 1: 250,000	Escala 1: 50,000
Guanajuato F14-7	Nuevo Valle de Moreno F14-C42	F14-7	F14-C43
	Guanajuato F14-C43		F14-C44
	Dolores Hidalgo F14-C44		F14-C45
	Mineral de Pozos F14-C45		F14-C46
	Doctor Mora F14-C46		
	Ibarra F14-C32	<b>INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y METALURGIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ</b>	
	San Felipe F14-C33	Escala 1: 100,000	Escala 1: 50,000
	San Diego de la Unión F14-C34	Tierra Nueva F14-C25	Presa San Bartolo F14-C23
	San Luis de la Paz F14-C35		Melchor F14-C24
	Sierra de Jacales F14-C22		
	Presa San Bartolo F14-C23		
	Melchor F14-C24		
	Tierra Nueva F14-C25		
Querétaro F14-10	Aldama F14-C53		
	San Miguel de Allende F14-C54		
	Buena Vista F14-C55		
	Colón F14-C56		

También se utilizaron fotografías aéreas verticales de INEGI (Tabla 2) en blanco y negro, escala 1:75,000. De la hoja Guanajuato F14-7 y la hoja Querétaro F14-10.

**TABLA 2.** Relación de la compilación de fotografías aéreas del sitio en estudio.

<b>Hoja Guanajuato F14-7</b>		<b>Hoja Querétaro F14-10</b>	
<b>Escala 1: 75,000</b>		<b>Escala 1: 75,000</b>	
Línea	Numeración de fotos	Línea	Numeración de fotos
L 143	10 a 19	L 146	1 a 5
L 144	10 a 20	L 147	14 a 17
L 146	6 a 17	L 148	14 a 17
L 147	6 a 17	L 149	14 a 17
L 148	1 a 10	L 150	14 a 17
L 149	8 a 17	L 151	1 a 4
L 150	a 10	L 152	1 a 4
L 151	1 a 10	L 153	14 a 17
L 152	8 a 17	L 154	14 a 17
L 153	3 a 10	L 155	1 a 3
L 154	8 a 15		
L 155	1 a 10		
L 156	8 a 17		

#### I.4.2 Fotointerpretación

Con las fotografías aéreas verticales anteriormente mencionadas, a escala 1:75,000, se realizó la fotointerpretación a partir de pares estereoscópicos, auxiliándose de un estereoscopio de espejos y otro de bolsillo. La fotointerpretación consistió en determinar el tipo de litología existente en el área, a partir de los contrastes entre las tonalidades blanco y negro, de las características del drenaje y de los rasgos morfológicos y estructurales visibles. Estas características se marcaron en las fotografías para la construcción de un mapa fotogeológico preliminar.

#### I.4.3 Trabajo de Campo

De acuerdo con el mapa fotogeológico preliminar y con la información cartográfica publicada, se llevó a cabo una serie de visitas de campo, con el fin de corroborar la distribución litológica conocida por cartografía geológica, así como rasgos morfológicos y estructurales. Las actividades de campo ayudaron a comprender la evolución geológica de la zona. Esta información fue comparada con los resultados de la fotointerpretación y con base en esto se hicieron extrapolaciones para incluirse en un mapa preliminar de integración geológica, en una base cartográfica de INEGI a escala 1:50,000.

#### I.4.4 Interpretación de los datos de campo y gabinete

Primero se integró y analizó la información obtenida en todas las actividades desarrolladas anteriormente, para interpretarlas de acuerdo a los objetivos y metas definidos con anterioridad.

Después de ser analizada y sistematizada, toda la información fue georeferenciada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el programa comercial Arcview versión 3.1. Además, se describieron todas las unidades litoestratigráficas que han sido reconocidas en el área de estudio, esta actividad se apoyó en la recopilación de 31 fechamientos de roca realizados por varios autores, con lo que se tuvo un mejor control de

la estratigrafía. La distribución de estas unidades litoestratigráficas conocida por la cartografía geológica, se comparó con los resultados de fotointerpretación. Con base en esto se hicieron extrapolaciones para incluirse en un mapa de integración geológica, lo que permitió enriquecer la información preliminar. El análisis de la bibliografía, datos geofísicos, interpretación fotogeológica y trabajo de campo, coadyuvaron a la descripción del marco geológico regional, la estratigrafía, la geología estructural y la elaboración de secciones geológicas. El uso del SIG permitió realizar una base de datos para la generación de la mayoría de las figuras y mapas incluidos en el trabajo en forma eficiente.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES SOBRE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA**

#### **2.1 Localización**

La Cuenca de la Independencia se ubica al nororiente del estado de Guanajuato, cubriendo principalmente los municipios de Doctor Mora, Dolores Hidalgo, San Diego de la Unión, San Felipe, San José Iturbide, San Luis de la Paz y San Miguel de Allende; incluye parcialmente a los municipios de Guanajuato, León y Ocampo. Se localiza entre los meridianos 100° 10' y 101° 35' de Longitud oeste y los paralelos 20° 45' y 21° 35' de Latitud norte, su extensión en el interior de la Cuenca de la Independencia es de aproximadamente 6,840 km<sup>2</sup> (Figura 1).

#### **2.2 Vías de comunicación**

Las principales vías que comunican al área de estudio son: en la parte sur, son la carretera federal 57 que comunica a México-Piedras Negras; la carretera estatal 51 que comunica a Celaya-San Miguel de Allende-Dolores Hidalgo-San Felipe. En la porción occidental del área la carretera federal 37 comunica a las ciudades de León-San Felipe. La carretera estatal 110 une a Guanajuato-Dolores Hidalgo-San Luis de La Paz-Victoria.



Además, existe una vía férrea que une a las ciudades de Celaya-San Miguel de Allende-San Luis Potosí (Figura 1). Los aeropuertos más cercanos al área de estudio se localizan en las ciudades de León y Querétaro.

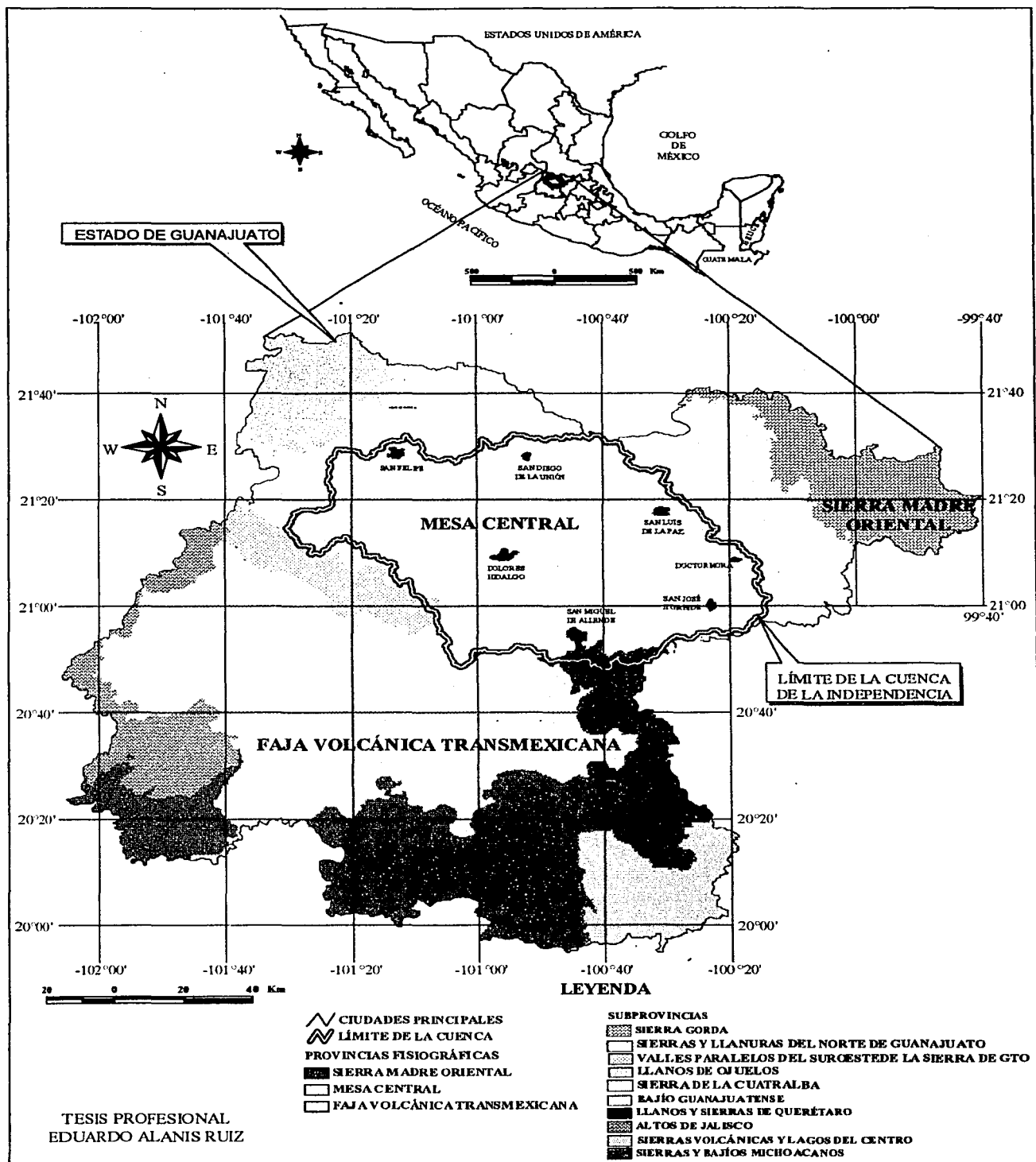
### **2.3 Fisiografía.**

La región se ubica en la zona de transición entre las provincias fisiográficas Sierra Madre Oriental (SMOr), Mesa Central (MC) y Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). La Cuenca de la Independencia se ubica principalmente en la provincia de la Mesa Central y al sureste abarca la porción norte de la FVTM (Figura 2).

#### **Mesa Central**

La Cuenca de la Independencia se localiza en la porción suroriental de la Mesa Central (Figura 2). Esta se caracteriza por ser predominantemente plana, valles amplios, con orientaciones NE y NW, con elevaciones medias sobre el nivel del mar entre 1,700 y 1,800 m. Sus elevaciones están conformadas principalmente por rocas volcánicas del tipo riolítico, las cuales dan lugar a serranías altas en forma de mesetas generalmente inclinadas al NE, con elevación media de 2,100 msnm. El patrón de distribución de sierras y valles dividen a esta provincia en segmentos con formas geométricas semejantes a rombos, lo que refleja los eventos estructurales que tuvieron lugar durante el Cenozoico Medio y Tardío de acuerdo a Aranda-Gómez *et al.*, (1989), Nieto-Samaniego *et al.*, (1990). El relieve que caracteriza a los valles y cimas de las mesetas volcánicas es ligeramente plano. Localmente la morfología esta constituida por zonas de relieve ondulado, escarpes que en algunos sitios los desniveles exceden los 100 m.

Para fines de este estudio, unicamente se realizaron observaciones en la subprovincia de la MC denominada Llanuras y Sierras del Norte de Guanajuato (SPP, 1982), que abarcan en gran parte a los municipios de Doctor Mora, Dolores Hidalgo, San Diego de la Unión, San Felipe, San José de Iturbide, San Luis de la Paz, San Miguel de Allende, Santa Catarina y Tierra Blanca. Ocupa casi 38% de la entidad, teniendo una gran complejidad en sus rasgos



**Figura 2. Fisiografía del Estado de Guanajuato. Modificado de Síntesis Geográfica de Guanajuato de la SPP, (1980).**

fisiográficos, en el que concurren sistemas tan distintos entre sí como sierras, mesetas, lomeríos, valles y llanuras.

En términos generales, las llanuras y las mesetas erosionadas quedan prácticamente al centro de la subprovincia. Se encuentran casi totalmente rodeadas por sierras, mesetas lávicas y lomeríos de pie de monte. Al complejo paisaje de la subprovincia corresponde una litología igualmente complicada, constituida por varios tipos de roca volcánica con altos contenidos de sílice, basaltos e ignimbritas intercaladas con aluviones antiguos.

En la Figura 3 se muestran las laderas suroccidentales de la Sierra de Guanajuato en donde existe una discontinuidad llamada Subprovincia de Valles Paralelos del Suroeste de la Sierra de Guanajuato (SPP, 1982). Se caracteriza por la forma de sus valles, los cuales se hacen más pronunciados y angostos hacia el fondo de sus cañadas. La región cubre aproximadamente el 2.8% de la superficie total del Estado de Guanajuato, está formada por dos sistemas de topoformas: en la parte norte, la sierra con valles paralelos con dirección principalmente NE, separados entre sí por superficies planas en sus partes altas. Al sur, la sierra con valles ramificados muy amplios, como en el que se ubica el arroyo La Giganta, que da origen al río Silao y aloja a la ciudad de Guanajuato.

### **Faja Volcánica Transmexicana**

En Guanajuato coexisten cinco subprovincias de la FVTM: Bajío Guanajuatense, Altos de Jalisco, las Sierras Volcánicas y Bajíos Michoacanos, los Llanos y Sierras de Querétaro y las Sierras y Lagos del Centro.

Solo una porción de la subprovincia de Llanos y Sierras de Querétaro está contenida en Guanajuato y la Cuenca de la Independencia. Presenta los siguientes sistemas de topoformas: volcanes-escudo, lomeríos con llanos y bajíos aislados.



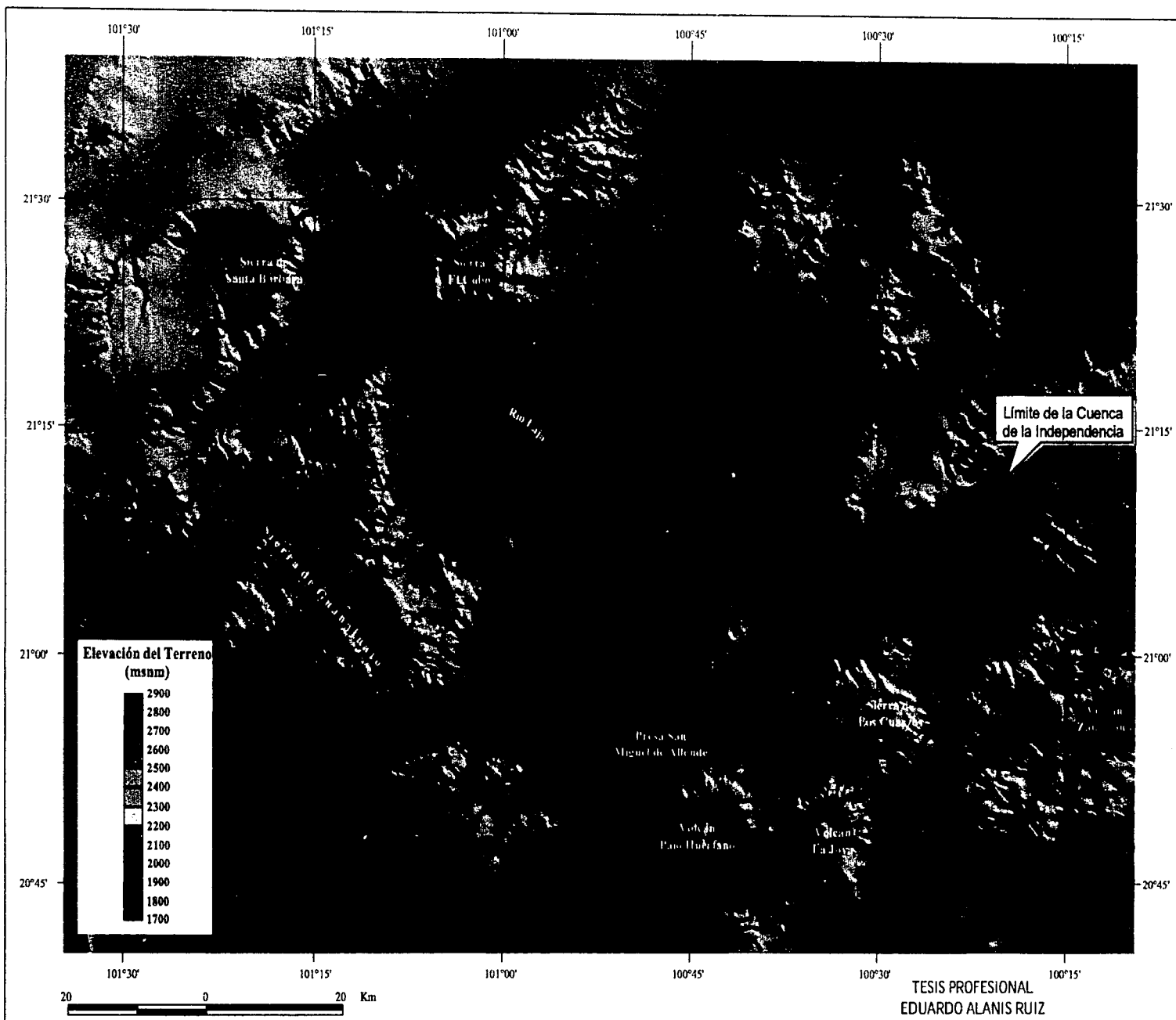


Figura 3. Mapa que muestra la hipsografía y el drenaje superficial en la Cuenca de la Independencia.

## **Sierra Madre Oriental (SMOr)**

Está constituida por rocas sedimentarias marinas del Mesozoico deformadas; la caliza es la litología más abundante e importante. Estas rocas sedimentarias fueron plegadas y elevadas en el Terciario (Paleógeno) Temprano por la Orogenia Laramide. La orientación general de los planos axiales de los pliegues y de las cabalgaduras es NNW-SSE, Suter (1990). En el estado de Guanajuato se tiene a la Subprovincia de la Sierra Gorda, que abarca 5.37 % de la entidad. En la Sierra Gorda dominan dos sistemas de topoformas, el primero consiste de valles ramificados y profundos alternados con sierras. El segundo está formado por una sierra alta con cumbres de laderas rectas. Las elevaciones más altas oscilan entre 2,000 y 2,500 msnm (SPP, 1982).

### **2.4 Hidrología**

Los límites hidrológicos de la CI se muestran en la Figura 3, están constituidos por las siguientes sierras: al norte la Sierra El Cubo, al oeste la Sierra de Guanajuato y La Sierra Santa Bárbara, al sur los estratovolcanes Palo Huérfano y La Joya, al este las sierras riolíticas e ignimbríticas de la SMOc. Las elevaciones máximas que delimitan a la cuenca son del orden de 2,850 msnm y las mínimas de 1,850 msnm. La elevación promedio de las zonas interiores de la cuenca varían en un rango reducido entre 1,900 y 2,150 msnm, estas elevaciones se pueden apreciar en la Figura 3, en la que se ilustra el relieve en diferentes tonos de color.

En la misma figura, se aprecia la distribución del drenaje superficial, que inicia en las porciones montañosas que delimitan la cuenca y convergen principalmente hacia el centro de la misma. Predomina un patrón de drenaje de tipo dendrítico y en algunos sitios es de tipo rectangular. El flujo es intermitente ya que permanecen secos los cauces de los arroyos la mayor parte del año, los cuales presentan mayor actividad en tiempo de lluvias (Figura 3). El Río Laja es el principal medio de alimentación de la presa de San Miguel Allende, que es la de mayor importancia en la región; existen otras presas y bordos de menor dimensión que son alimentadas por afluentes del Río Laja. El flujo del Río Laja es de norte

a sur y atraviesa el límite de la cuenca al terminar la presa San Miguel de Allende, siendo ésta la única salida natural de la cuenca.

## **2.5 Climatología, vegetación y suelos**

### **Climatología**

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García, (1973), el clima en el Estado de Guanajuato se divide en tres tipos (Figura 4), los cuales tienen características distintivas como se muestran en la Tabla 3, sus principales características son:

*Clima semiseco*, donde las precipitaciones medias anuales oscilan entre los 400 y los 600 mm y la temperatura media anual es de 12° y 22°C. Este clima predomina al norte y este del estado ocupando un 40% de la superficie.

*Clima semicálido*, que se caracteriza porque su temperatura oscila entre los 18° y los 22°C, ocupa 40% de la superficie de la entidad y está representado por tres subtipos, que se diferencian por grado de humedad y porcentaje de precipitación invernal.

*Clima templado subhúmedo*, con temperatura media del mes más frío entre -3° y 18 °C, cubriendo aproximadamente un 20 % del área total en el estado de Guanajuato. La precipitación media anual oscila entre los 700 y 800 mm y la temperatura media anual varía de los 16° a los 18°C.

La Cuenca de la Independencia presenta aridez hacia el norte y noroeste, con aproximadamente un 80 % de clima semiseco y 20 % es subhúmedo.

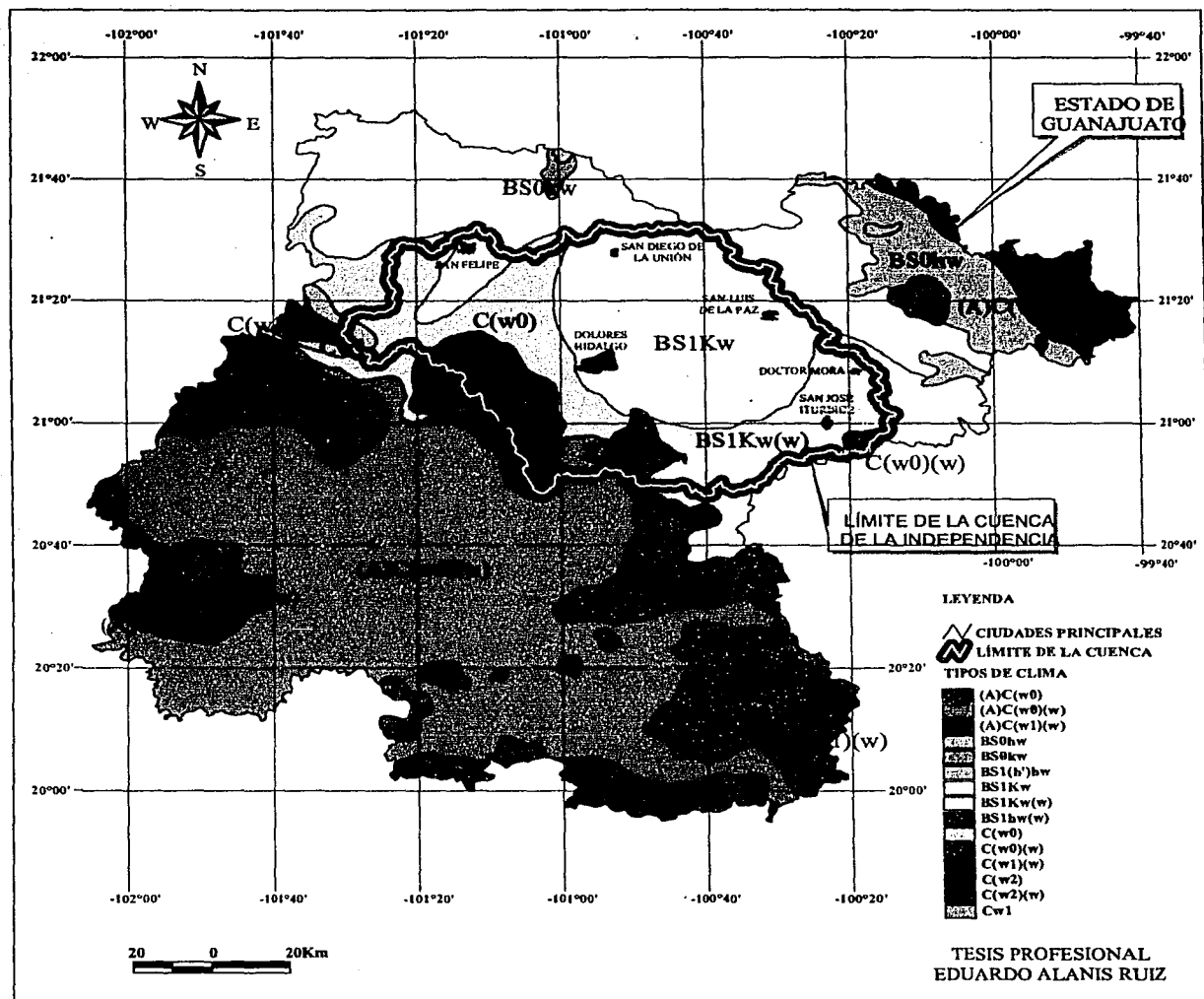


Figura 4. Climatología del Estado de Guanajuato. Modificado de SPP, (1980).

**TABLA 3.** Principales variantes de los climas de la Cuenca de la Independencia en el Estado de Guanajuato.

Clima Semiseco		Clima Semicálido	Clima Templado Subhúmedo
BS0hw	El más seco, con temperatura media anual entre 18° y 22° C.	(A)C(w0) El más seco con temperatura media anual > 18° C.	C(w0) El más seco, con un cociente P/T < 43.2 bar
BS0kw	El más seco, con temperatura media anual entre 12° y 18° C	(A)C(w0)(w) Seco con un porcentaje de lluvia invernal < 5 mm	C(w0)(w) El más seco de los templados, con un cociente P/T < 43.2 y un porcentaje de lluvia media anual < 5 mm
BS1(h)hw	Menos seco, con temperatura media > 22° C.	(A)C(w1)(w) Intermedio en cuanto a humedad con porcentaje de lluvia invernal < 5 mm	C(w1)(w) Intermedio en cuanto a humedad, con un cociente P/T entre 43.2 y 55.0 bar
BS1Kw	Menos seco, con temperatura media anual entre 12° y 22° C.		C(w2) Húmedo, con un cociente P/T > 55.0 bar
BS1Kw(w)	Menos seco, con temperatura media anual entre 12° y 18° C.		C(w2)(w) El más húmedo, con un cociente P/T > 55.0 bar y un porcentaje de lluvia invernal < 5 mm
BS1hw(w)	Menos seco, con temperatura media anual entre 18° y 22° C.		Cw1 Intermedio en cuanto a humedad con un cociente P/T entre 43.2 y 55.0 bar

### Vegetación

Al norte y este del área se encuentran comunidades vegetativas del tipo matorral desértico y crasicaule (nopalera, cardonal, etc.), ocupan un 40% de la superficie. Además se tiene vegetación de matorrales subtropicales, chaparral y pastos hacia el sureste y noreste del estado; ocupa aproximadamente el 40% de la superficie de la entidad. Los tipos vegetativos que comúnmente se desarrollan en las partes altas son: bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de pino, chaparral y pastos; cubre aproximadamente un 20 % del área total. Están distribuidos de manera heterogénea.

### Suelos

En la región de la Mesa Central existe una gran variedad de suelos, pero predominan los feozems. Se presentan también litosoles y en menor proporción luvisoles, regosoles, rendzinas, planosoles y vertisoles. En las llanuras de disección, se presentan castañozems y xerosoles (SPP, 1982). Al sistema de topoformas que corresponden a la FVTM, se asocian varios tipos de suelos cuya distribución depende del tipo de roca, la estructura y la topografía local. Así, en los volcanes-escudo se encuentran litosoles, feozems háplicos y lúvicos; en los otros dos sistemas dominan los vertisoles pélicos y castañozems lúvico y cálcico. En la zona de estudio que pertenece a la Sierra Madre Oriental, se encuentran

suelos del tipo rendzinas asociados a litosoles, feozems háplicos, regosoles cálcricos y luvisoles órticos.

## CAPÍTULO III

### MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

#### 3.1 Sierra Madre Occidental (SMOc)

La SMOc estudiada por Mc Dowell y Clabaugh (1979), fue nombrada como Faja Ignimbrítica Mexicana por Ortega-Gutiérrez *et al.*, (1992), como se observa en la Figura 5, está formada por extensas mesetas volcánicas afectadas en algunas regiones por fallas normales. Esta provincia es una franja que se distribuye paralelamente a la costa del Pacífico Mexicano a lo largo de 1,200 km aproximadamente, con un promedio de 250 km de amplitud. Cerca del límite sur de la Mesa Central, la SMOc es anómalamente ancha, en una banda E-W que es burdamente paralela a al FVTM. Nieto-Samaniego *et al.*, (1999), hacen notar que el área cubierta por rocas riolíticas del Paleógeno medio correspondiente a la Mesa Central, se presentan como bloques corticales con una altura promedio de elevación de 2,100 msnm de elevación. Más al oeste, en el rasgo fisiográfico conocido propiamente como SMOc, los bloques corticales tienen una altura menor a 1,800 msnm. Campos-Enríquez *et al.*, (1994), realizaron un perfil gravimétrico a lo largo del Trópico de Cáncer y proponen un espesor cortical de 41 km para la SMOc y 33 km para la parte septentrional de la Mesa Central.

Las rocas que forman a la SMOc y algunas porciones de la Mesa Central, son productos de una gran actividad magmática que se extendió del Cretácico al Mioceno medio. Las rocas

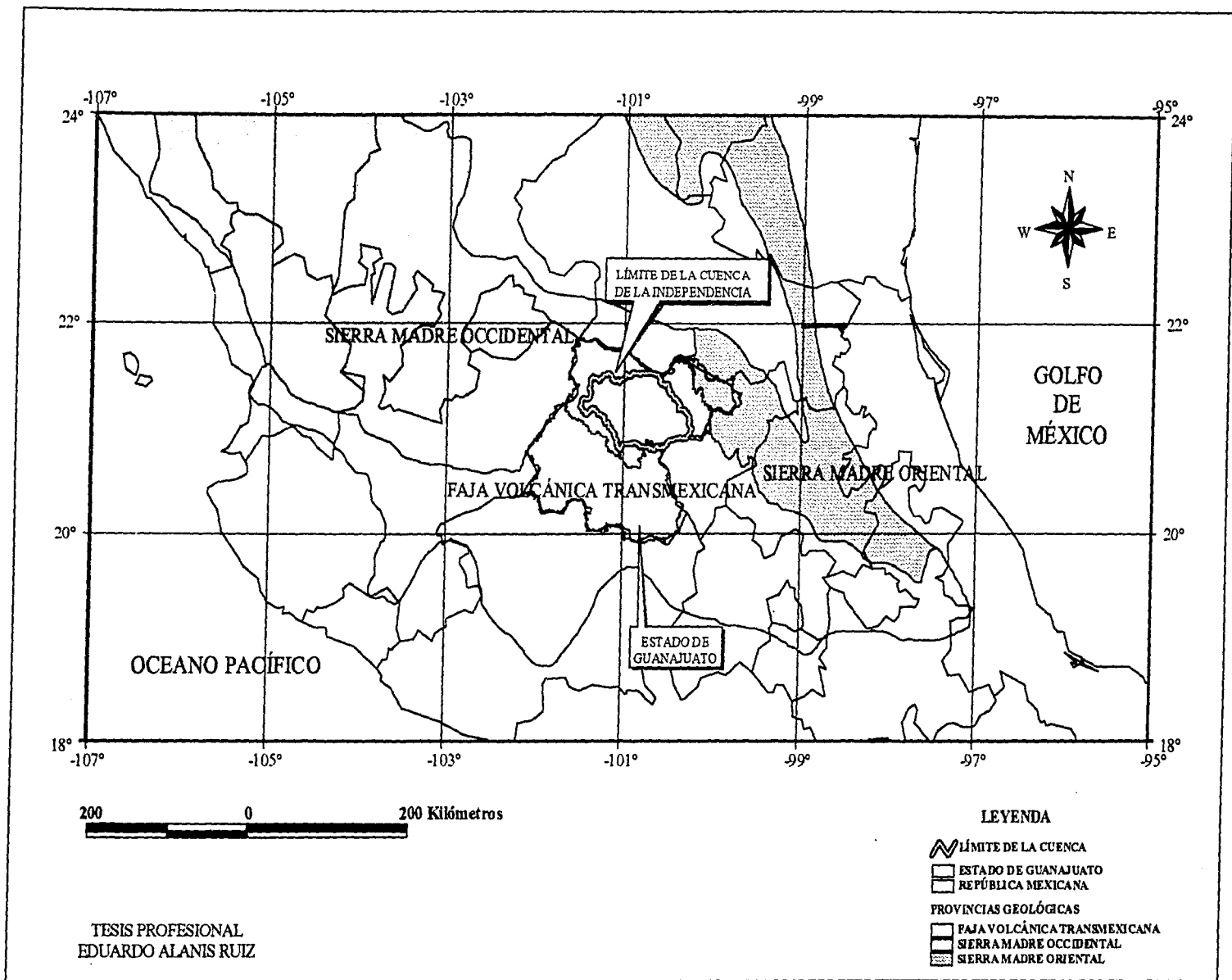


Figura 5. Provincias geológicas en las que se ubica la Cuenca de la Independencia. Modificado de Ortega-Gutierrez et al., (1992).



volcánicas de la SMOc se dividen principalmente en dos grupos, un complejo inferior volcánico-plutónico con composición predominantemente andesítica, con edades que varían de 100 Ma al Eoceno. Sobre el complejo volcánico inferior yace una secuencia superior compuesta principalmente de ignimbritas, con edades que varían del Eoceno al Mioceno medio (McDowell y Clabaugh, 1981; Aguirre Díaz y McDowell, 1991; Aranda-Gómez *et al.*, 1997).

Se ha relacionado el magmatismo de la SMOc y de la Mesa Central, principalmente a la subducción de la Placa de Farallón debajo de la Placa Norteamericana (McDowell y Clabaugh, 1979; Damon *et al.*, 1981). En el intervalo del Oligoceno al Mioceno fue cesando paulatinamente la subducción, debido al abandono de la cordillera del Pacífico Oriental a lo largo de la margen occidental de Norteamérica y a reorganizaciones mayores de las placas en la región lo que provocó la extinción del arco magmático. Se ha documentado que la actividad volcánica terciaria en la SMO y la Mesa Central, fue en parte contemporánea y genéticamente relacionada al desarrollo de una etapa de extensión E-W (Nieto-Samaniego *et al.* 1999). Esta extensión se ha asociado a la provincia tectónica de Cuencas y Sierras (Basin and Range) por Henry y Aranda-Gómez, (1992).

### **3.2 Faja Volcánica Transmexicana (FVTM)**

Existen numerosos estudios en los cuales se han tratado de establecer la edad del vulcanismo de la FVTM. Autores como Demant, (1978) reconoció hasta 3 fases de vulcanismo: a) Fase del Cretácico; b) Fase del Oligoceno-Mioceno; c) Fase del Plioceno-Cuaternario.

La provincia geológica de la FVTM, es uno de los arcos magmáticos continentales más complejos y variados de la región Circumpacífica. La FVTM se extiende aproximadamente a lo largo de 1,000 km con una orientación E-W. Cruza a la República Mexicana entre los paralelos 19° y 21° N. Tiene rasgos peculiares como el no paralelismo con la Trinchera de Acapulco, ya que forma un ángulo aproximado de 15° con respecto a ésta (Molnar y Sykes, 1969). Según (Aguilar y Vargas y Verma, 1987; Verma y Aguilar y Vargas, 1988; Luhr *et*

*al.*, 1989; Luhr, 1997), presentan un volcanismo alcalino contemporáneo al volcanismo calcialcalino. Existe una gran variedad de estilos volcánicos, cambios en la composición química de sus productos y una variación de su ancho.

La FVTM se relaciona a la subducción de las placas de Cocos y Rivera por debajo de la Placa de Norteamérica (Demant, 1978; Urrutia-Fucugauchi y Del Castillo, 1977; Pardo y Suárez, 1995). La FVTM está compuesta principalmente de rocas andesíticas a dacíticas de tipo calcialcalino. De acuerdo a Ferrari y colaboradores (1999) el arco volcánico de la SMOc migró en el espacio y tiempo, siendo sustituido por la FVTM; esto se documentó mediante el análisis de edades radiométricas. El cambio de orientación de NNW en el Oligoceno-Mioceno a E-W desde finales del Mioceno al Reciente, coincidió con un cambio en la composición de los productos volcánicos de predominantemente félsica (SMOc) a andesítica-dacítica (FVTM), ambas de tipo calcialcalino (Ferrari *et al.*, 1999; Ferrari, 2000; Cerca-Martínez *et al.*, 2000; Valdez-Moreno *et al.*, 1998; Pérez-Venzor *et al.*, 1996; Carrasco-Núñez *et al.*, 1989).

Uno de los rasgos estructurales más visibles en la FVTM es la orientación de los volcanes monogenéticos alineados paralelamente, en una dirección aproximada E-W y ENE-WSW. En cambio los estratovolcanes forman cadenas con rumbos N-S y NNW-SSW. La FVTM está deformada extensionalmente. En su parte central existe el sistema de fallas normales Chapala-Tula, que es una franja de aproximadamente 450 km de largo por 30 km de ancho. Esta zona de fallamiento es paralela al arco volcánico (Sutter *et al.*, 1995b). Las Fallas Chapala-Tula definen una zona de extensión N-S, perpendicular a la FVTM (Johnson y Harrison, 1990).

En las áreas en donde estas zonas de fallamiento o fracturamiento (E-W y NW-SE) se cruzan hay evidencias de reactivaciones y movimientos diversos a través del tiempo. Estos elementos tectónicos también se asocian a vulcanismo que se manifiesta como: campos monogenéticos (Michoacan-Guanajuato, Apan-Hidalgo y Campo Volcánico Chichinautzín), calderas (Amealco-Huichapan), estratovolcanes (Popocatepetl, Nevado de

Toluca y el de Fuego en Colima), entre otros, además de vulcanismo fisural como los Domos al sur de la Cd. de México, Flujo Tenango, etc.

En el área de estudio, los productos de la FVTM están representados por rocas asociadas a los estratovolcanes: La Joya ( $10.6 \pm 0.5$  Ma, Valdez-Moreno *et al.*, 1998), Palo Huérfano ( $12.1 \pm 0.6$  Ma, Pérez-Venzor *et al.*, 1996) y Zamorano de ( $10.9 \pm 0.5$  Ma, Carrasco-Núñez *et al.*, 1989). De acuerdo a estas edades y a su composición calcialcalina, se dice que estos volcanes representan la fase inicial de la FVTM. En la parte sureste de la Cuenca de la Independencia, es evidente que existe una sobreposición de la FVTM sobre las riolitas de la SMOc.

### **3.3 Sierra Madre Oriental (SMOr)**

Esta cadena de montañas es también llamada Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992). La SMO es un cinturón de pliegues y cabalgaduras que se extiende por más de 800 km, desde el noroeste de Torreón, Coah., a Monterrey, N.L. y continúa hasta el sureste de Teziutlán, Puebla, en donde queda oculta abajo de los productos de la FVTM.

La Sierra Madre Oriental tiene una orientación NNW-SSE (Suter, 1990). En el tipo de plegamiento regional de esta provincia, juega un papel primordial la distribución de las evaporitas de la base de la secuencia sedimentaria, el depósito de las cuales fue controlado por la paleogeografía del Mesozoico medio. Las evaporitas propiciaron despegues que producen pliegues de caja, fallas emergentes y levantamientos. Por otro lado, en los lugares donde las evaporitas están ausentes el acortamiento fue mayor (Eguiluz De Antuñano *et al.*, 2000).

La Sierra Madre Oriental y áreas adyacentes están conformadas por rocas sedimentarias mesozoicas marinas; las secuencias sedimentarias fueron depositadas sobre basamento precámbrico y paleozoico. Este puede ser observado en afloramientos aislados que ocurren en ventanas erosionales en la secuencia mesozoica plegada (Aramberri, Anticlinorio

Huizachal-Peregrina). Es importante decir que en la Cuenca de la Independencia, las rocas mesozoicas de la SMO afloran solamente en el borde nororiental (Eguiluz De Antuñano *et al.*, 2000).

## CAPÍTULO IV

### GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las rocas mesozoicas están expuestas principalmente en la parte meridional de la Cuenca de la Independencia. Las rocas afines al Terreno Guerrero se encuentran afectadas por deformaciones compresivas (Orogénicas: Oregoniana y Laramide), las cuales están representadas por estructuras como pliegues, cabalgaduras y metamorfismo de bajo grado. La secuencia sedimentaria de la SMO sólo fue deformada por la orogénia Laramide; asociado a este fenómeno presenta plegamiento y fallamiento inverso.

Durante el Cenozoico medio y tardío, las estructuras desarrolladas fueron principalmente fallas y fracturas productos de extensión. Las relaciones entre fallas y algunas unidades estratigráficas han permitido distinguir varios eventos de fallamiento con edades Paleoceno-Eoceno hasta el Plioceno-Pleistoceno (?) (Labarthe-Hernández *et al.*, 1982; Aranda-Gómez *et al.*, 1989; Nieto-Samaniego, 1990; Nieto-Samaniego *et al.*, 1996). En la región de la Cuenca de la Independencia se han reconocido tres sistemas principales de fallas. El sistema NW-SE, representado por las fallas Bajío y el sistema de fallas San Luis de la Paz-Salinas de Hidalgo. El sistema N-S, representado por la falla San Miguel de Allende y las fosas tectónicas de Querétaro. Por último el sistema ENE-WSW a NE-SW, representado por los grabenes de La Sauceda y Villa de Reyes (Nieto-Samaniego *et al.*, 1996). Las fallas generalmente no cortan las secuencias sedimentarias del Cuaternario. Sin embargo, la fisiografía está controlada por el movimiento diferencial que experimentaron

los bloques. La Figura 6, muestra un mapa donde se tienen representadas las fallas cenozoicas post-laramídicas de la región, abarca parcialmente los estados de San Luis Potosí, Aguascalientes y Guanajuato (Nieto-Samaniego *et al.*, 1997). En la zona III hay ausencia casi total de fallas normales. Obsérvese además el contraste de los arreglos estructurales de las zonas I (SMOc) y II (MC). En la zona I se observan fosas y pilares tectónicos paralelos, sin estructuras transversales importantes. En la zona II existen las tres direcciones preferenciales de fallas normales arriba mencionadas.

#### **4.1 Fallamiento en la Mesa Central**

De acuerdo con Nieto-Samaniego y colaboradores (1999) los límites de la Mesa Central son sistemas de fallamiento importantes de dirección N-S. El límite al E con la Sierra Madre Oriental lo forma el sistema de fallas San Miguel de Allende-Catorce. Es importante hacer notar que la SMOr no muestra deformación intensa del Terciario (Paleógeno-Neógeno) medio y tardío; la fosa tectónica de Aguascalientes es considerada el límite occidental. Se escogió esta estructura como límite porque coincide aproximadamente con el extremo oeste de la distribución de afloramientos extensos del basamento mesozoico y porque separa regiones de diferente estilo estructural.

Los sistemas principales de fallas normales de la porción meridional de la Mesa Central son:

- El conjunto N30°E del graben Villa de Reyes que corta la parte oriental de la MC.
- El sistema de fallas San Luis de la Paz-Salinas de Hidalgo, definido por un grupo de estructuras paralelas con dirección N50°W y echado al SW.
- El sistema de fallas NW depresión Dolores Hidalgo-Obrajuelos que corta el graben de Villa de Reyes cerca de San Felipe.
- La Falla de San Miguel de Allende y grabenes de Querétaro.

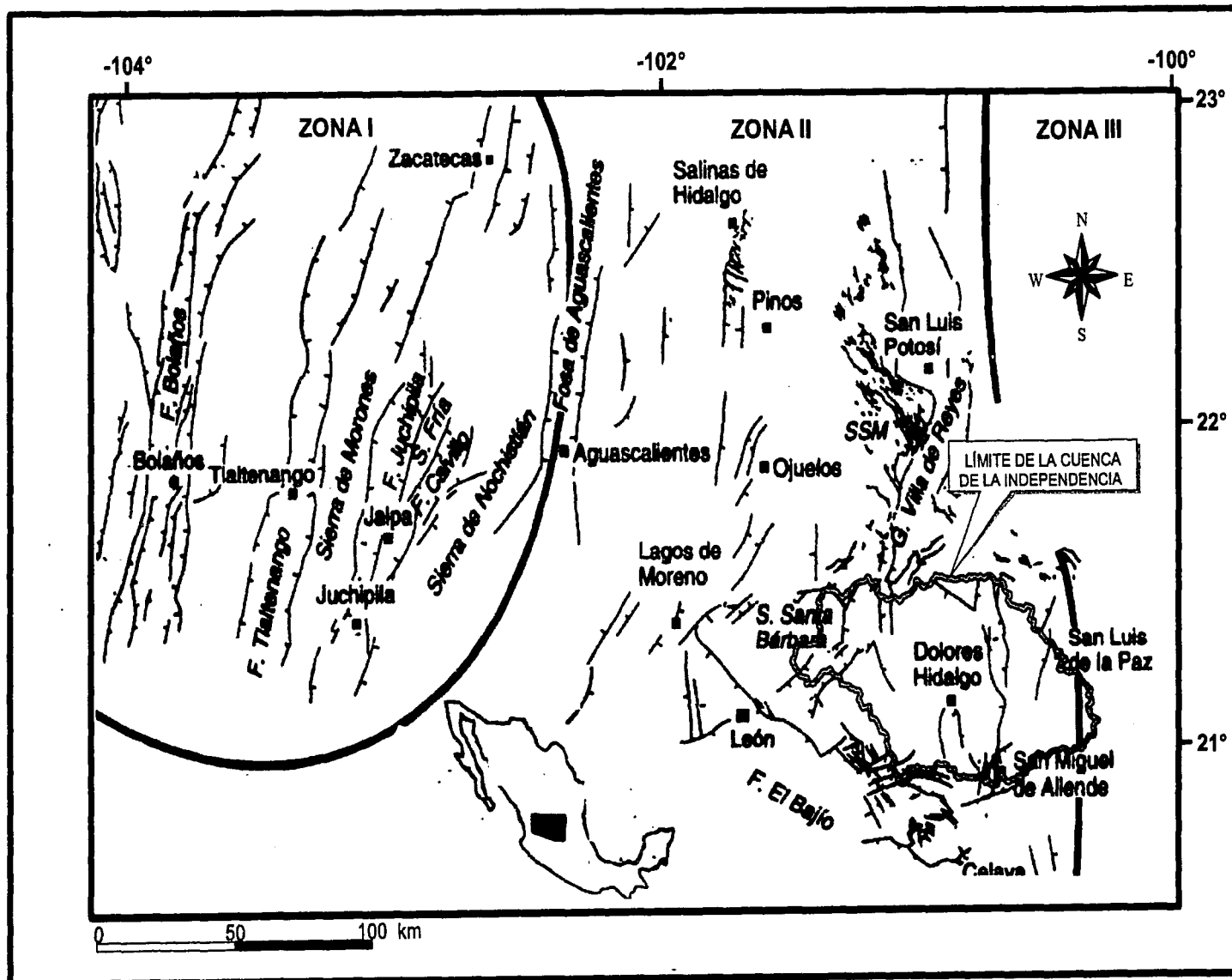


Figura 6. Mapa que muestra las principales fallas cenozoicas poslaramídicas de la región central de México. Modificado de Nieto-Samaniego et al., (1999).

## 4.2 Edad del Fallamiento

Al menos en la región comprendida entre las ciudades de San Luis Potosí y Guanajuato, las relaciones estratigráficas muestran que la extensión pudo haber comenzado en el Eoceno (Aranda-Gómez y Mc Dowell, 1998). La existencia de diques, de domos riolíticos alineados a lo largo de fracturas tensionales y de derrames de lava riolítica que cubren fallas normales registran un segundo pulso a los  $32 \pm 1$  Ma (Gross, 1975; Nieto-Samaniego, 1990). En el graben de Villa de Reyes hay una ignimbrita (Formación Panalillo) de 26.8 Ma intercalada con sedimentos clásticos continentales (Labarthe *et al.*, 1982), con base en esto se ha interpretado que el pulso de extensión más intenso fue sincrónico, ó ligeramente posterior al paroxismo volcánico del Terciario (Paleógeno-Neógeno) medio en la región (Nieto-Samniego *et al.*, 1999).

Se han interpretado fases de extensión post-miocénico de menor intensidad que son indicadas por deslizamientos de 200 a 600 m de una ignimbrita fechada en  $24.8 \pm 0.6$  Ma y de lavas basálticas de 13 a 11 Ma (Nieto-Samaniego *et al.*, 1997).

- Se interpreta que en la Cuenca de la Independencia han ocurrido varias fases de fallamiento.
- El primer pulso de extensión sucedió durante el Eoceno medio y tardío.
- Una fase extensional suave ocurrió antes de los 30 Ma, contemporánea al emplazamiento de domos y diques.
- Una fase muy bien identificada que se interpreta como el pico de extensión que ocurrió entre los 30 y 27 Ma.
- Fases menores ocurrieron después de los 24 y antes de los 11 Ma.

Según Nieto-Samaniego *et al.*, (1997) la Mesa Central es un buen ejemplo de deformación triaxial; las evidencias son las siguientes:



- Un arreglo de trazas de falla con formas romboédricas, ambas a gran escala; la intersección por si sola sugiere que Villa de Reyes es más joven que San Luis de La Paz.
- No hay relaciones de corte sistemáticas entre las fallas, indicando que la actividad fue múltiple ó sincrónica (Aranda-Gómez *et al.* 1989; Nieto-Samaniego, 1990; Labarthe-Hernández y Jiménez-López, 1992, 1994).

Nieto-Samaniego *et al.*, (1997) interpretan la deformación como triaxial y como resultado de la separación de los bloques de la SMOr y la SMOc. Esto sucedió sincrónicamente con la actividad magmática en el Oligoceno.

En el mapa estructural de la Mesa Central (Figura 6), la Cuenca de la Independencia presenta direcciones preferenciales de fallamiento N-S, NE y NW; estos patrones de fallamientos posiblemente se originaron en el Oligoceno por la separación de los bloques SMOr y SMOc. Hay que resaltar que el sistema para los que se ha propuesto como limite el Sistema San Miguel de Allende (SMA)-Catorce con dirección aproximada NS, se extiende a lo largo de una franja con un ancho de aproximadamente 40 km hasta las inmediaciones de la ciudad de Querétaro, y que esta franja se proyecta hacia el lado oriental de la cuenca.

Existen otros juegos de fallas que afectan a la cuenca, los más representativos son:

- La orientación 30° NE paralela al graben Villa de Reyes, que corta la parte oriental de la MC.
- El sistema de fallas normales San Luis de la Paz-Salinas de Hidalgo, definido por un grupo de estructuras paralelas de dirección NW 50° y echado al SW.
- El sistema de fallas NW en el lado septentrional de la depresión topográfica Dolores Hidalgo-Obrajuelos, que aparentemente cortan al graben de Villa de Reyes cerca de San Felipe.

La diferencia en la topografía entre la mitad oriental de la cuenca y la región del graben de Villa de Reyes es notable. Así mismo, el hecho de que las estructuras inferidas estén

sepultadas sugiere que las fallas en el interior de la cuenca son más antiguas que aquellas que bordean al graben.

## CAPÍTULO V

### ESTRATIGRAFÍA

#### 5.1. Mesozoico

##### 5.1.1 Jurásico Superior-Cretácico Inferior Js-KiM(A-Cz-Ar-D), Js-Ki(Tn-Px)\*.

Las rocas más antiguas expuestas en la Cuenca de la Independencia corresponden a una secuencia volcanosedimentaria depositada en un ambiente marino, probablemente relacionada a un arco de islas del Cretácico Inferior denominado Arco de Guanajuato (Martínez-Reyes, 1992; Martínez-Reyes *et al.*, 1995) o acumuladas en la Cuenca de Arperos (Monod *et al.*, 1990; Lapierre *et al.*, 1992; Elías-Herrera y Ortega-Gutiérrez, 1998). Ambas secuencias se relacionan al Terreno Guerrero (Lapierre y Monod, 1992). Para este trabajo, se agruparon todas las rocas del Cretácico Inferior como complejo basal (Figura 7).

El complejo basal KiM (A-Cz-A-D) incluye rocas volcánicas marinas de composición predominantemente basáltica y andesítica con niveles de derrames de lava masivos, brechas, lavas almohadilladas y depósitos piroclásticos asociados. En la misma unidad existen rocas sedimentarias marinas (tipo *flysch*) como areniscas, lutitas y sedimentos carbonatados. Además hay numerosos afloramientos de rocas plutónicas, gabroides a tonalíticas y cuerpos de rocas ultramáficas (Figura 7).

\* (Jurásico superior, Js; Cretácico inferior, Ki; M, Metamórfico; Andesita, A; Caliza, Cz; Arenisca, Ar; Diorita, D; Tonalita, Tn; Piroxenita, Px).

# EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA Y SUS ALREDEDORES, ESTADO DE GUANAJUATO, MÉXICO.

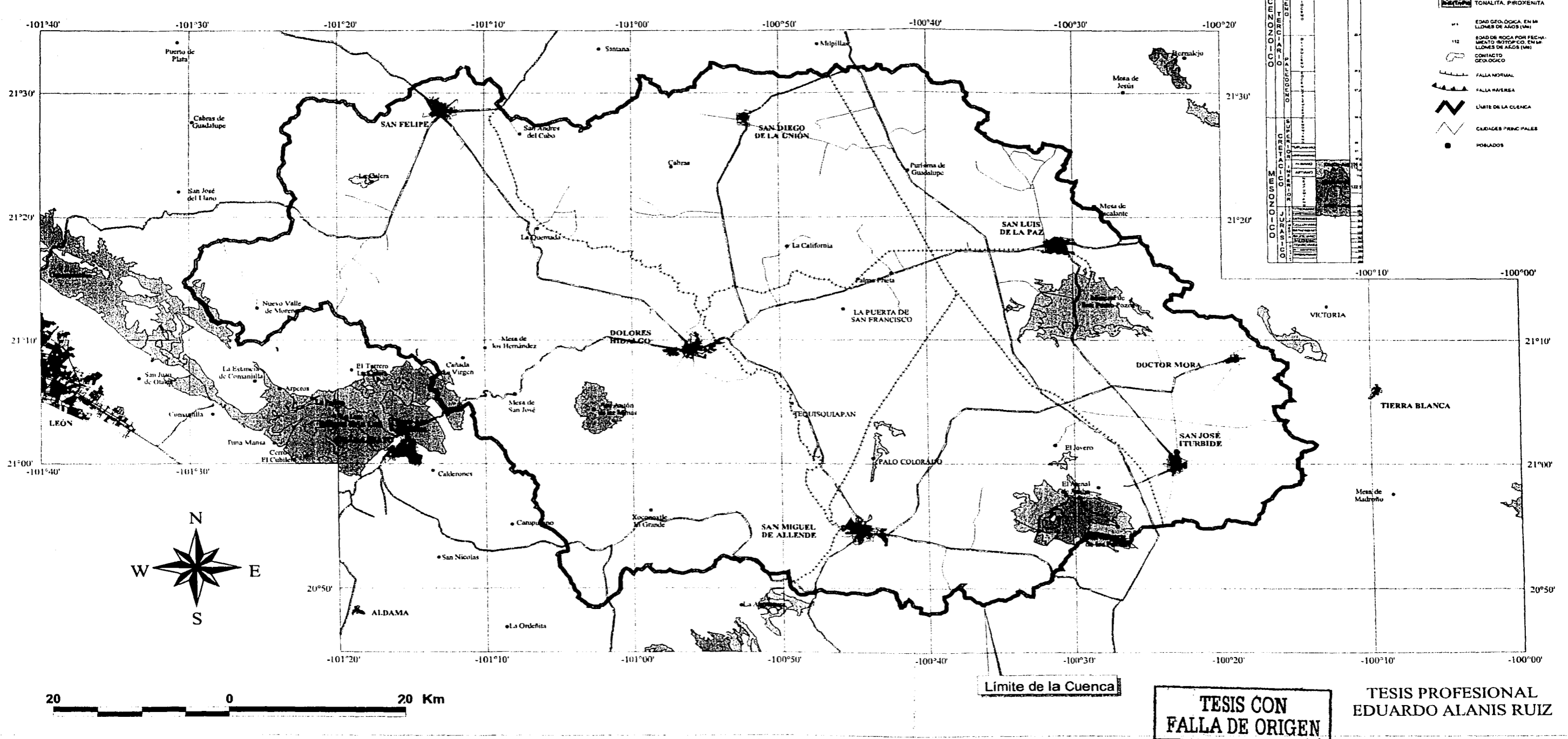


Fig 7. Afloramientos de rocas mesozoicas en la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL  
EDUARDO ALANIS RUIZ

En la Sierra de Guanajuato las rocas del Mesozoico se encuentran afectadas por dos fases de deformación compresiva. La deformación más antigua (Orogenia Oregoniana) produjo pliegues, cabalgaduras y metamorfismo de bajo grado (Pascuaré *et al.*, 1991).

Las relaciones estratigráficas en el complejo basal son confusas debido a la intensa deformación y cizallamiento; sin embargo toda la secuencia se encuentra metamorfoseada en facies de esquistos verdes (Echegoyén-Sánchez *et al.*, 1970; Aranda-Gómez *et al.*, 1989; Monod *et al.*, 1990; Ortiz-Hernández *et al.*, 1991; Lapierre *et al.*, 1992; Randall *et al.*, 1994), los contactos internos son cabalgaduras con una vergencia principal de SW a NE. En el Distrito Minero de Guanajuato, el complejo basal está compuesto por diferentes unidades, en forma cronológica creciente está la Piroxenita San Juan de Otates, la Diorita La Palma, la Tonalita Cerro Pelón y los Basaltos La Luz descritos por Martínez-Reyes, (1992). En la parte suroriental de la cuenca, en la Sierra de los Cuarzos, el basamento está compuesto por esquistos y filitas cubiertos por lavas andesíticas. En Mineral de Pozos la secuencia consiste en intercalaciones de lutitas, limolitas y areniscas; además una secuencia de calizas con intercalaciones de lentes de pedernal negro (Vassallo-Morales *et al.*, 1998); el complejo basal aflora en otras localidades, al suroeste de San Miguel de Allende, cerca de San Felipe y al noreste de Doctor Mora (Figura 7).

Las edades de esta secuencia son pobremente conocidas pero se les ha considerado del Jurásico Superior al Cretácico Inferior (Tabla 4). Las edades radiométricas reportadas son de 157 Ma, para la Tonalita Cerro Pelón (Monod *et al.*, 1990); 122.5 y 112 Ma, para la Diorita La Palma (Zimmerman *et al.*, 1990; Ortiz-Hernández *et al.*, 1991) y 108.4 Ma para las lavas almohadilladas de La Luz (Ortiz-Hernández y Martínez-Reyes, 1993). Por otro lado, Chiodi *et al.* (1988), reportan fauna fósil del Aptiano-Albiano en las rocas de la Cuenca de Arperos.

TABLA 4. Fechamientos isotópicos recopilados en el área de estudio.

CUENCA DE LA INDEPENDENCIA							
RELACION DE FECHAMIENTOS DE ROCA EN EL ESTADO DE GUANAJUATO							
LOCALIDAD	TIPO DE ROCA	LONGITUD (°)	LATITUD (°)	METODO	EDAD (M.A.)	ERROR (M.A.)	REFERENCIA (Por Autor)
La Buña, Gto.	Riolita	-101,25	21,25	K/Ar	37	3	Gross, 1975
Guanajuato, Gto.	Riolita	-101,25	21,25		32	0	Gross, 1975
C. Los Amoles, Gto.	Andesita	-101,26	20,1	K/Ar	2,26	0,14	Pasquaré, G.; F. Camacho A. y R. Canul D., 1984
W de Celaya	Basalto	-100,98	20,48	K/Ar	2,78	0,7	Hasenka and Carmichael, 1985
Misterio del Chorro, Gto.	Riolita	-101,22	20,93	K/Ar	23	1	Pasquaré <i>et al.</i> , 1991
S. José los Allende, Gto.	Ignimbrita	-101,02	20,87	K/Ar	22	1	Pasquaré <i>et al.</i> , 1991
La Ordeña, Gto.	Riolita	-101,01	20,68	K/Ar	25,9	0,2	Hasenaka <i>et al.</i> , 1994
La Ordeña, Gto.	Andesita	-101,05	20,72	K/Ar	10,2	0,1	Hasenaka <i>et al.</i> , 1994
La Ordeña, Gto.	Andesita	-101,02	20,68	K/Ar	9,4	0,1	Hasenaka <i>et al.</i> , 1994
La Ordeña, Gto.	Andesita	-101,13	20,7	K/Ar	10,5	0,1	Hasenaka <i>et al.</i> , 1994
La Ordeña, Gto.	Basalto andesítico	-101,17	20,68	K/Ar	10,3	0,1	Hasenaka <i>et al.</i> , 1994
La Ordeña	Basalto	-101,12	20,60	K/Ar	7,12	0,32	Hasenaka <i>et al.</i> , 1994
La Ordeña, Gto.	Andesita	-101,8	20,68	K/Ar	13,2	0,2	Hasenaka <i>et al.</i> , 1994
N. De SMA, Gto.	Basalto	-100,76	21	K/Ar	12,5	0,9	Carranza-Castañeda <i>et al.</i> , 1994
N. De SMA, Gto.	Basalto	-100,76	21	K/Ar	10,7	0,7	Carranza-Castañeda <i>et al.</i> , 1994
La Saucedu, Gto.	Riolita	-101,17	20,89	K/Ar	30,8	0,8	Nieto Samaniego <i>et al.</i> , 1996
N. De Guanajuato	Riolita	-101,27	21,45	K/Ar	30,7	0,8	Nieto Samaniego <i>et al.</i> , 1996
NE de Sta. Rosa, Gto.	Riolita	-101,02	21,08	K/Ar	30,1	0,8	Nieto Samaniego <i>et al.</i> , 1996
N de SMA, Gto.	Ignimbrita	-100,87	20,87	K/Ar	28,6	0,7	Nieto Samaniego <i>et al.</i> , 1996
N de Leon, Gto.	Ignimbrita	-101,53	21,33	K/Ar	28,2	0,7	Nieto Samaniego <i>et al.</i> , 1996
La Saucedu, Gto.	Ignimbrita	-101,17	20,89	K/Ar	24,8	0,6	Nieto Samaniego <i>et al.</i> , 1996
V. Palo Huérfano, Gto.	Andesita	-101,4236	20,4948	K/Ar	12,1	0,6	Pérez-Venzor <i>et al.</i> , 1996
SMA, Gto.	Andesita	-101,4612	20,4948	K/Ar	11,1	0,4	Pérez-Venzor <i>et al.</i> , 1996
Cerro Cubilete, Gto.	Basalto	-100,37	21,02	K/Ar	12,10	0,2	Aguirre-Díaz <i>et al.</i> , 1997
Cañada La Virgen, Gto.	Andesita	-101,70	20,87	K/Ar	30,00	0,7	Cerca-Martínez, 1998
Mesa de San José de Allende, Gto.	Ignimbrita	-100,70	20,86	Ar/Ar	22,00	0,4	Cerca-Martínez, 1998
Mesa El Gnto, Gto.	Basalto	-100,70	20,86	Ar/Ar	12,50	0,20	Cerca-Martínez, 1998
Soria, Gto.	Andesita	-100,42	20,67	Ar/Ar	10,80	0,5	Cerca-Martínez, 1998
Neutla (La Cantera), Gto.	Andesita	-100,42	20,71	Ar/Ar	10,00	0,2	Cerca-Martínez, 1998
Volcán La Joya, Gto.	Andesita			K/Ar	10,60	0,5	Valdez-Moreno <i>et al.</i> , 1998

TESIS CON  
SALA DE ORIGEN

## **Js-Ki(Tn-Px)**

Esta unidad aflora principalmente en el área de la Sierra de Guanajuato. A continuación se describen sucintamente las rocas que la integran presentándose de la más antigua a la más reciente:

***Piroxenita San Juan de Otates:*** Esta unidad se distribuye aproximadamente en un área de 12 km<sup>2</sup>, aflora principalmente a lo largo del arroyo San Juan de Otates; es una roca masiva, cristalina de color verde oscuro cuando está sana y de color verde claro cuando está serpentinizada. La paragénesis mineral del protolito fue augita y olivino, actualmente está intensamente alterada a antigorita, actinolita, clorita, talco y minerales opacos, debido a la serpentinización y metamorfismo regional en facies de esquistos verdes.

***Tonalita Cerro Pelón:*** Denominada por Martínez-Reyes (1987-1992) como Tonalita Cerro Pelón, fue inicialmente reconocida por Church (1907) y Boatsford (1909) en Cerca Martínez *et al.*, (2000), quienes observaron un “granito” expuesto entre el Mineral de la Luz y la Veta Madre. Posteriormente también fue reconocida por Wancke y Martínez (1928) en Cerca Martínez *et al.*, (2000). Es una roca masiva color claro que genera una topografía suave y redondeada; es cristalina, con textura porfídica. Al alterarse presenta un color amarillento y apariencia deleznable, la roca sana es consistente y homogénea. Esta roca presenta fracturamiento intenso y es intrusionada por numerosos diques de diabasa de 1 a 2 m de espesor.

Su composición mineralógica consiste en casi el 100 % de plagioclasa (albita) y cuarzo en menor proporción. Por tanto puede considerarse como un granito de plagioclasa. La posición estructural de esta unidad es con grandes desplazamientos, debido a que se interpretó que por procesos orogénicos y tectónicos fue arrastrada y montada en las unidades que sobreyace. Monod *et al.* (1990), determinaron su edad por medio del método K/Ar en una edad próxima a los 157 Ma, ubicándola a fines del Jurásico. El análisis geoquímico determinó que proviene de una secuencia magmática correspondiente a las raíces de un arco de islas oceánicas.

## **KiM(A-Ar-D)**

Esta unidad también aflora en el área de la Sierra de Guanajuato y en la porción Sureste de la zona de estudio en la Sierra de los Cuarzos, son consideradas como parte del basamento mesozoico; se describen a continuación a las rocas que la integran:

***Diorita La Palma:*** Reconocida y cartografiada por Martínez-Reyes (1987-1992), también es conocida como Complejo Filoniano Santana (Monod *et al.*, *op. cit.*). Se presenta en forma masiva y heterogénea, reconocible por sus diversas facies cristalinas de rocas de colores oscuros y claros de composición diorítica esencialmente, ocasionalmente granítica y gabroica; esta cortada por numerosos diques granofídicos, doleríticos y basálticos que aparenta un enjambre de filones. Afloran principalmente en la zona entre el cerro El Cubilete, el mineral La Luz y la ciudad de Guanajuato. De acuerdo con la posición que presenta es considerada del Cretácico Temprano, la cual, coincide con relación a las edades calculadas en sus facies dioríticas.

La Sierra de los Cuarzos presenta un basamento metamórfico plegado y cizallado con un espesor de más de 1,000 m, compuesto por esquistos y filitas con lentes de cuarzo, estas están cubiertas por lavas andesíticas metamorfozadas. Esta unidad se ha correlacionado con la formación San Juan de la Rosa del Kimmeridgiano-Barremiano que aflora en Vizarrón y al norte de Cadereyta, ambos en el estado de Querétaro; esta unidad no se ha fechado radiométricamente. Las rocas metamórficas están cabalgadas por una secuencia de rocas carbonatadas con lentes de pedernal negro del Cretácico inferior de aproximadamente 250 m de espesor; se les ha correlacionado con las Formaciones Peña Azul y Tamaulipas Inferior, esta última aflora en Mineral de Pozos, Gto. Vassallo y Garduño (1998) las nombran de manera genérica como rocas volcanosedimentarias del Jurásico-Cretácico. Afloran en un área aproximada de 250 km<sup>2</sup>.

***Complejo Volcanosedimentario Sierra de Guanajuato:*** Nombre empleado por Martínez-Reyes (1987-1992) para designar a una unidad litológica expuesta ampliamente en la Sierra de Guanajuato. En ella se agrupa a todas las rocas sedimentarias y volcánicas marinas de la



región. Echegoyén-Sánchez *et al.*, (1970) nombran Formación Esperanza a las rocas sedimentarias marinas y posteriormente Randall *et al.*, (1982) utilizó el término de Formación La Luz, refiriéndose a las rocas volcánicas del área. Las facies sedimentarias consisten en caliza con estratificación delgada, lutita, arenisca y bancos de conglomerado. Las rocas volcánicas son derrames de gran espesor de lava de composición basáltica, andesítica o dacítica, con estructura masiva o almohadillada; presenta algunos horizontes asociados de brecha, toba y detritos de la misma composición. La paragénesis mineral secundaria es congruente con fenómenos de espilitización, metamorfismo regional de bajo grado y/o alteración hidrotermal.

Las rocas del complejo volcanosedimentario de la región de Guanajuato, se correlacionan con rocas sedimentarias semejantes que contienen radiolarios pobremente preservados en la región de Arperos, que sugieren una edad Cretácico temprano (Dávila y Martínez, 1987). Esta interpretación es apoyada por un fechamiento de K/Ar de 108 Ma, para las lavas de la región de La Luz (Monod *et al.*, 1990). Al igual que otras rocas mesozoicas de la región, este complejo está plegado, fallado y fracturado (Nieto-Samaniego *et al.*, 1992).

#### **KiM(Cz-Ar)**

Corresponde a una secuencia de rocas carbonatadas definidas por Vassallo y colaboradores (1998); contienen intercalaciones de lutitas, limolitas y areniscas. En la cima es una secuencia de calizas con intercalaciones de lentes de pedernal negro pertenecientes al Cretácico Inferior, con un espesor aproximado de 250 m. Se les ha correlacionado con las Formaciones Peña Azul y Tamaulipas Inferior, esta última aflora en Mineral de Pozos. En algunas localidades estas rocas se encuentran plegadas y en otras los estratos sólo muestran una inclinación por basculamiento, como es el caso de Mineral de Pozos y el Charape de los Pelones. Estas rocas subyacen discordantemente a rocas volcánicas continentales como riolitas, andesitas y basaltos que se relacionan con el desarrollo de fisuras o centros volcánicos.

## 5.2. Terciario (Paleógeno-Neógeno)

### 5.2.1 Paleoceno-Eoceno Te (Cgp-R-Gr)\*.

Las secuencias del Cenozoico en el área de estudio, están caracterizadas por depósitos de molasa del Conglomerado Rojo de Guanajuato, las cuales contienen intercalados algunos horizontes de lava basáltica; se tiene un batolito de composición granítica (Granito de Comanja) y la Riolita Bufo del Distrito Minero de Guanajuato (Edwards, 1955; Fries, 1955; Echegoyén-Sánchez *et al.*, 1970; Gross, 1975; Aranda-Gómez y McDowell, 1997) como se puede observar en la figura 8.

#### Te (Gr)

**Granito de Comanja:** Intrusivo que aflora en la región de La Comanja y San Antón de las Minas. Es de composición granítica con una edad de  $55 \pm 4$  a  $58 \pm 5$  Ma (Mugica-Albarrán, 1983) y entre  $51 \pm 1$  a  $53 \pm 3$  Ma (Zimmerman *et al.*, 1990). El Granito de Comanja es un cuerpo intrusivo de dimensiones batolíticas, que aflora siguiendo la orientación estructural (NW-SE) de la Sierra de Guanajuato; sus facies son petrográficamente poco variables. No muestra metamorfismo regional ni deformación importante, sin embargo si muestra una aureola de metamorfismo de contacto de dimensiones considerables y de mineralogía variada, que depende localmente del tipo de rocas que lo encajonan.

La exhumación del Granito de Comanja marca el inicio de una paleogeografía continental en la Sierra de Guanajuato. Su edad y disposición burdamente paralela a la orientación de la sierra y de las estructuras posalbianas (Iaramídicas), sugieren una relación estrecha con los procesos tectónicos que dieron fin al ambiente de afinidad Tehysiana que prevaleció en esta región durante los tiempos precenozoicos (Chiodi, *et al.*, 1988).

\* (Terciario, Paleoceno-Eoceno, Te; Conglomerado Polimíctico, Cgp; Riolita, R; Granito, Gr).



## Te (Cgp)

**Conglomerado Rojo de Guanajuato:** Nombre empleado por Wandke y Martínez (1928) en Cerca-Martínez *et al.*, (2000), para designar sedimentos continentales de color rojo expuestos en el Distrito Minero de Guanajuato. El conglomerado consiste en un fanglomerado fuertemente cementado. El Conglomerado Rojo es una secuencia sedimentaria, que incluye conglomerados, areniscas y limolitas de origen continental en una matriz arcillo-arenosa compuesta por calcita y hematita (Lara-Hernández, 1986). Los clastos del conglomerado son de composiciones muy diversas, incluyen rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas, con tamaños de 1 cm a 1 m (Edwards, 1955). Se observan horizontes de lava intercalados dentro del conglomerado que han sido fechados en 49 Ma, por Aranda-Gómez y McDowell (1997); su espesor se ha calculado en 1500 m (Edwards, 1955). Esta unidad aflora principalmente en el Distrito Minero de Guanajuato, aunque existen afloramientos en la zona de San Miguel de Allende y en el bloque hundido de la falla del Bajío. La estratificación en el fanglomerado presenta una inclinación variable, siendo mayor hacia su base; esto es interpretado como el resultado de la acumulación de abanico aluvial dentro de fosas tectónicas activas (Aranda-Gómez y McDowell, 1997).

**Formación Losero:** Fue descrita por Echevoyén-Sánchez y colaboradores (1970) siguiendo las definiciones de Monroy (1888) en Echevoyen-Sánchez *et al.*, (1970) y Guiza (1949) en Echevoyen-Sánchez *et al.*, (1970). Es un depósito de ceniza y lapilli fino de composición félsica color verde que se depositó aparentemente en agua. Está compuesto por cuarzo, sanidino y clorita. Wandke y Martínez (1928) en Cerca-Martínez *et al.*, (2000), la llamaron Arenisca La Bufa. Esta roca sobreyace al Conglomerado Rojo de Guanajuato, siendo el contacto transicional o, en algunos sitios, discordante. También se cree que tiene una edad oligocénica relacionada a la Riolita La Bufa de aproximadamente 37 Ma Randall *et al.*, (1994), pues se le supone como un depósito piroclástico que precedió a la Riolita La Bufa. El espesor de esta unidad dentro del Distrito Minero de Guanajuato es de hasta 30 m (Echevoyén-Sánchez *et al.*, 1970).

**Riolita La Bufa:** Descrita por Wandke y Martínez (1928) en Cerca-Martínez *et al.*, (2000), como una lava riolítica rica en cuarzo que sobreyace a la Formación Loseros y subyace a la Formación Calderones; también le reportó un espesor de 400 m. El nombre de Riolita La Bufa fue propuesto por Echegoyén-Sánchez *et al.*, (1970), está formada por flujos piroclásticos (Nieto-Samaniego, 1990; Randall *et al.*, 1994). Gross (1975) obtuvo una edad de  $37.0 \pm 3.0$  Ma, por el método K/Ar. Se ha propuesto que esta ignimbrita fue originada en una caldera en el distrito Minero de Guanajuato, junto con las formaciones Loseros y Calderones, por lo que su distribución geográfica es limitada (Randall *et al.*, 1994).

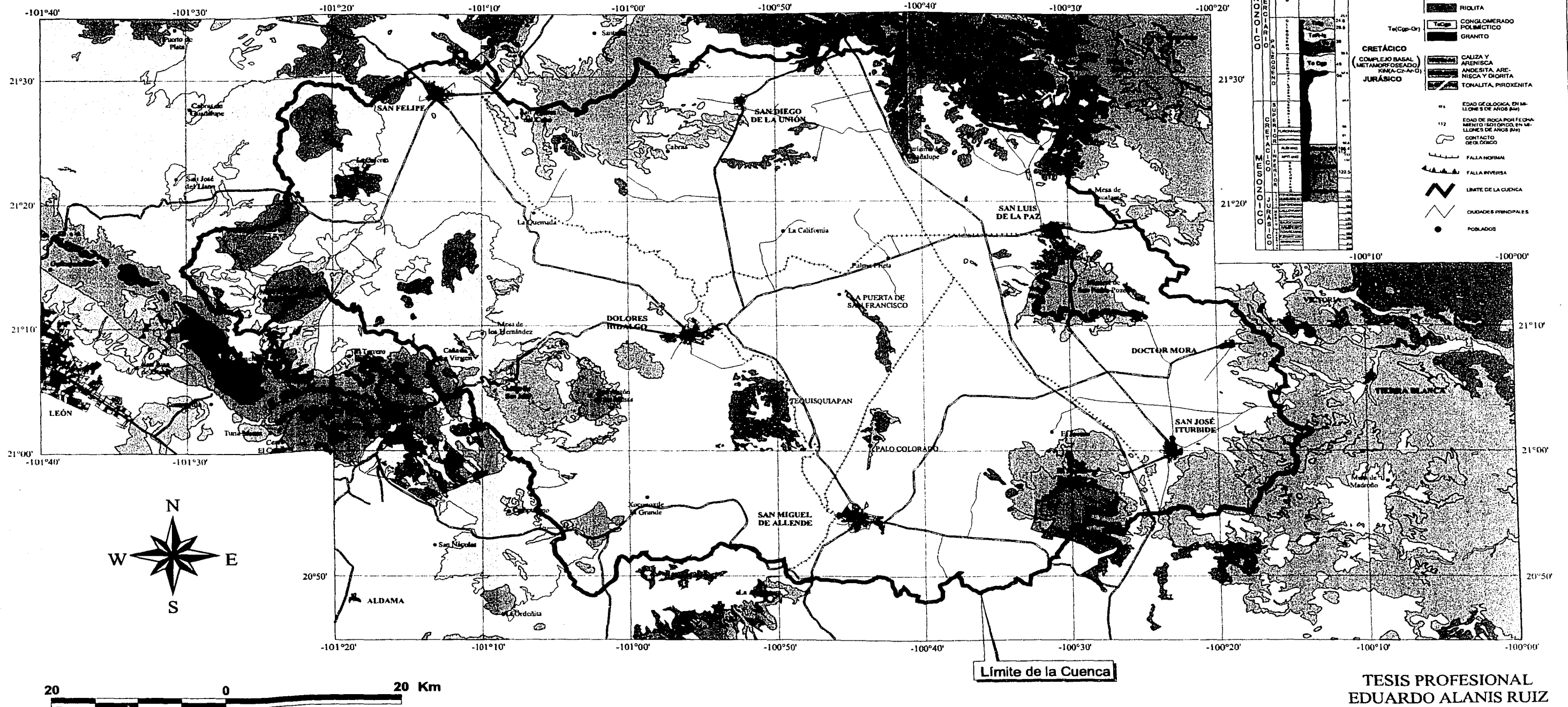
**Conglomerado Calderones:** Descrito por Echegoyén-Sánchez *et al.*, (1970), quienes la dividieron en tres miembros: inferior, medio y superior; esta unidad sobreyace a la Riolita La Bufa y subyace a la Andesita El Cedro. Consiste en una secuencia de depósitos piroclásticos y epiclásticos-volcánicos que originalmente fueron considerados como conglomerados y areniscas (Echegoyén-Sánchez *et al.*, 1970). Recientemente se ha propuesto que son una secuencia piroclástica producto de la actividad de una caldera (Randall *et al.*, 1994). En el Distrito Minero de Guanajuato tiene un espesor estimado de 200 m (Echegoyén-Sánchez *et al.*, 1970).

#### 5.2.2 Oligoceno Tom (R-A-Ig)\*.

Afuera del Distrito Minero de Guanajuato el Oligoceno se encuentra representado por rocas volcánicas de composición riolítica (ToR), en menor proporción por basaltos y andesitas con sedimentos asociados. Las lavas riolíticas (sensu lato) incluyen la Riolita Chichíndaro, Los Lobos, San Miguelito y Latita Portezuelo entre otras, que han arrojado edades de alrededor de 30 Ma (Gross, 1975; Labarthe-Hernández *et al.*, 1983; Nieto-Samaniego *et al.*, 1996). Generalmente son derrames de lava que forman domos con capas de brecha y tobas asociadas a domos como se muestra en la Figura 9.

\* (Terciario, T; Oligoceno, o; Mioceno, m; Riolita, R; Andesita, A; Ignimbrita, Ig).

# EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA Y SUS ALREDEDORES, ESTADO DE GUANAJUATO, MÉXICO.



TESIS PROFESIONAL  
EDUARDO ALANIS RUIZ

**Fig 9. Distribución de rocas mesozoicas a oligocénicas en la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.**

Un evento caracterizado por derrames de lava de composición máfica (ToA) contemporáneo a las riolitas, está representado por la Andesita El Cedro y la Andesita Presa de Manantiales, como lo demuestran las edades de 30 Ma reportadas por Nieto-Samaniego y colaboradores (1996), y Cerca-Martínez, (1998). Esta coexistencia de riolitas y andesitas ha sido interpretada como un evento volcánico bimodal que coincide en un pulso de extensión que afectó la corteza durante el Oligoceno.

Posteriormente se pueden reconocer diferentes eventos que formaron ignimbritas durante el Oligoceno tardío y Mioceno temprano (Tomlg), el más antiguo alrededor de 28 Ma, está representado por la Ignimbrita Cañada La Virgen en la zona de San Miguel de Allende (Nieto-Samaniego *et al.*, 1996), la Ignimbrita Cantera aflora en la zona norte de la Cuenca (Labarthe-Hernández *et al.*, 1983). El segundo evento alrededor de 24 Ma, está representado por la Riolita La Ordeña (Hasenaka *et al.*, 1994), la Ignimbrita San Nicolás (Nieto-Samaniego *et al.*, 1996) y la Ignimbrita Media (Cerca-Martínez, 1998). Un último evento ignimbrítico se extiende hasta el principio del Mioceno (Pasquaré *et al.*, 1991; Cerca-Martínez, 1998).

**Andesita El Cedro (ToA):** Es una secuencia de lavas andesíticas que yacen sobre la Riolita La Bufa y la Formación Calderones y previa a la Riolita Chichindaro. También fue definida por Echegoyen-Sánchez *et al.*, (1970), quienes tomaron su nombre del rancho El Cedro localizado al E-SE de la ciudad de Guanajuato; su espesor estimado es de 250 a 640 m en el Distrito Minero de Guanajuato (Echegoyen-Sánchez *et al.*, 1970). Afuera del Distrito Minero de Guanajuato aflora en varias localidades, principalmente como mesetas de lava andesítica o basáltica. Cerca-Martínez *et al.*, (2000) reportan edades de  $30.6 \pm 0.4$  Ma y  $30.7 \pm 0.6$  Ma, por el método K/Ar. Una de las muestras se recolectó en la Cañada La Virgen y la otra en la Mesa San José de Allende en la que al afloramiento de su base Nieto-Samaniego, (1990) llamó Andesita Presa de Manantiales y le asignó una edad del Mioceno.

La Andesita El Cedro incluye varios flujos de lava que forman mesetas; algunas lavas contienen fenocristales de plagioclasa, ortopiroxenos, anfíboles y clorita, otros presentan plagioclasa, olivino y augita; en algunas localidades se presenta intercalada con tobas de

grano fino. Esta unidad subyace a la Ignimbrita Cañada La Virgen y a otras ignimbritas del Oligoceno.

**Riolita Chichíndaro:** Wandke y Martínez (1928) en Cerca-Martínez *et al.*, (2000) fueron los primeros en describir esta unidad como un pórfiro de cuarzo que corona la secuencia volcánica del Distrito Minero de Guanajuato. Echegoyén-Sánchez *et al.*, (1970), la nombraron Riolita Chichíndaro y le asignaron una edad del Pleistoceno. Estudios más recientes reportan edades K-Ar de  $32.0 \pm 1.0$  Ma, (Gross, 1975),  $30.1 \pm 0.8$  Ma y  $30.8 \pm 0.8$  Ma (Nieto-Samaniego *et al.*, 1996).

Esta unidad está formada por derrames de lava y tobas félsicas que forman complejos de domos riolíticos y diques asociados a estas estructuras. Algunos domos riolíticos profundamente erosionados representan cuellos volcánicos que son las fuentes de emisión de las lavas y tobas. En los derrames de lava se presentan estructuras de flujo bien definidas que presentan un arreglo concéntrico (*i.e.* estructura de cebolla) hacia el cuello de la estructura. En los bordes o intercalados con las lavas, existen tobas y brechas intrusionadas por diques asociados a nuevas emanaciones de lava. Hay capas de vitrófidos autobrechados que están en la base de los derrames de lava o en los límites superior e inferior de las tobas. Los domos están sobrepuestos constituyendo sistemas complejos.

Las lavas son de composición riolítica y de color blanco a rosa. Su textura comunmente es porfídica, con fenocristales de cuarzo y feldespatos potásico en una matriz cripto o microcristalina de composición félsica. En algunas muestras se les observaron fenocristales de oligoclasa (Cerca-Martínez *et al.*, 2000). Las tobas y conglomerados volcanoclásticos se presentan intercalados en los domos, aunque en algunas zonas cubren extensiones considerables; contienen exclusivamente clastos de riolita y de pómez en tamaños menores de 10 cm, inmersos en una matriz de tamaño de arena fina. El espesor de la Riolita Chichíndaro en el Distrito Minero de Guanajuato varía entre los 100 y 320 m (Cerca-Martínez *et al.*, 2000).



***Ignimbrita Cañada La Virgen:*** Descrita por (Cerca-Martínez *et al.*, 2000) aflora en la Cañada La Virgen de la que toman el nombre; consiste en una secuencia piroclástica estratificada e intercalada con depósitos lacustres; la parte inferior de la secuencia es color verde y está compuesta principalmente por depósitos lacustres con materiales finamente laminados, sedimentos finos con estratificación cruzada a gravas y conglomerados compuestos principalmente de clastos de tobas. La parte superior de la secuencia es color rosa por el contenido de cuarzo y feldespatos en las ignimbritas y flujos de caída de ceniza. Para esta unidad se ha estimado un espesor entre 30 y 120 m, esta unidad sobreyace a la Andesita El Cedro, fechada en 30 Ma y subyace a la Ignimbrita Inferior de flujos de lava máfica del Mioceno medio pertenecientes a la FVTM.

***Riolita San Miguelito:*** Esta unidad fue descrita originalmente por Labarthe-Tristán, (1978), aflora en las sierras al NW y SE del valle de Villa de Reyes. Se presenta como derrames de lava de composición riolítica rica en potasio, es una roca color gris claro, textura porfídica con matriz afanítica, totalmente devitrificada con esferulitas; su mineralogía es de 15-20 % de fenocristales de cuarzo y sanidino. Localmente contiene una gran cantidad de pliegues de flujo. Su espesor total se estima en 400 m, sobreyace a la Toba El Quiote y Riodacita del Carmen, su edad fue determinada por el método K/Ar correspondiente a  $30 \pm 1.5$  Ma (Labarthe-Hernández *et al.*, 1985).

***Latita Portezuelo:*** Originalmente descrita por Labarthe-Hernández y colaboradores (1978), fue propuesta formalmente como Latita Portezuelo por Labarthe-Tristán-Aranda (1982). Aflora principalmente en la parte baja de la sierra, al SE del graben de Villa de Reyes en el alto estructural de puerto de Sandoval, así como al norte de Ojo de Agua de San Miguel. Es una roca de color gris a café grisáceo, con textura merocristalina, inequigranular, microporfídica, con arreglos traquíticos a pilotaxíticos. Presenta fenocristales de feldespato potásico y plagioclasa en una matriz afanítica. Muestra una estructura masiva y rasgos de pseudoestratificación; es una secuencia extrusiva o hipabisal.

El espesor de esta unidad varía de 35 a 230 m, sobreyace a la Ignimbrita Santa María y subyace a la Ignimbrita Cantera. Su edad está dada por su posición estratigráfica arriba de

la Ignimbrita Santa María y debajo de la Riolita San Miguelito. Labarthe-Hernández *et al.*, (1985), obtuvieron la edad por el método K/Ar de  $30.6 \pm 1.5$  Ma, calculada en un espécimen colectado afuera del área del presente estudio.

***Ignimbrita Cantera:*** Originalmente descrita por Labarthe-Tristán (1978), fue propuesta formalmente por Labarthe-Hernández y colaboradores (1982). Aflora en las serranías al NW y SE del valle de Villa de Reyes; consiste en flujos de ceniza riolíticos bien soldados. Es color rosa grisáceo, está formada por abundante pómez colapsada con 20-25 % de fenocristales de sanidino y cuarzo en proporción de 1:1 y con algunos óxidos de hierro; su matriz tiene textura piroclástica-eutaxítica, parcialmente devitrificada.

Se presenta con estructura columnar, en ocasiones se encuentra intercalada con horizontes de arena fina a media, generalmente sin gradación; su espesor varía de 60 a 390 m, sobreyace a la Latita Portezuelo y subyace a los dos miembros de la Riolita Panalillo. Labarthe-Hernández y colaboradores (1985), fecharon esta roca por el método K/Ar en  $29.0 \pm 1.5$  Ma.

***Riolita Panalillo:*** Esta unidad fue descrita por Labarthe y coautores (1982), es un paquete de rocas volcánicas al que dividieron en dos miembros, uno inferior que se conforma de tobas de color crema, gradadas y estratificadas en capas de 10 a 40 cm de espesor. En ocasiones se observa gradación inversa, con pómez y con 5 a 10 % de fenocristales de cuarzo y sanidino; presenta aisladamente diques y horizontes lenticulares de basalto intercalado. Su matriz es exclusivamente de ceniza, presenta frecuentemente estructuras esféricas que se interpreta se deben al depósito en aguas de cenizas calientes en un cuerpo de agua.

El miembro superior esta constituido por ignimbritas generalmente bien soldadas; el color de la roca es rojizo a rosa claro. Su textura es merocristalina, microporfídica y eutaxítica, contienen de 5 a 10 % de fenocristales de 1-3 mm de longitud, son de cuarzo y sanidino en una matriz desvitrificada con esquiras de vidrio; tiene pómez delgada cementada y líticos.

Es notable como esta unidad forma mesas planas con estructura columnar y coronan a algunos cerros. La separación entre los dos miembros de la Riolita Panalillo es un vitrófido lenticular de 0.5 a 4 m de espesor.

Los espesores de la Riolita Panalillo son muy variables ya que rellenó fosas tectónicas y depresiones en las rocas volcánicas preexistentes. En la Fosa de San Luis Potosí se reporta un espesor de 120 m (Labarthe-Hernández *et al.*, 1985). Sobreyace a la Ignimbrita Cantera y subyace a la Traquita Los Castillo y al Basalto Cabras, representando este último una continuación del magmatismo bimodal del Oligoceno Superior. Su edad, determinada por K/Ar, es de  $26.8 \pm 1.3$  Ma (Labarthe-Hernández *et al.*, 1985).

**Riolita La Ordeña:** Definida por Hasenaka *et al.*, (1994) como domos de lava de composición intermedia, probablemente dacítica. Afloran cerca del área de La Ordeña, en donde se presenta como estructuras considerablemente altas con un buen desarrollo de juntas columnares. Su color es gris a gris claro, tiene una textura porfídica con fenocristales de plagioclasas, piroxenos oxidados y hornblenda en una matriz devitrificada. Cerca-Martínez y colaboradores (2000) obtuvieron una edad por el método de K/Ar de  $14.3 \pm 0.6$  Ma. Esta unidad está rodeada por las lavas máficas asociadas a la Faja Volcánica Transmexicana.

**Ignimbritas del Oligoceno-Mioceno:** Cerca-Martínez y colaboradores (2000), proponen con base a su edad diferenciar en tres unidades las ignimbritas de la Sierra de Guanajuato. Son llamadas como Ignimbrita Inferior con una edad aproximada de 29 Ma, la Ignimbrita Media con edad aproximada a 26 Ma y la Ignimbrita Superior con edad aproximada de 22 Ma.

La **Ignimbrita Inferior** contiene a la secuencia de ignimbritas que sobreyacen a la Riolita Chichíndaro descritas por Lara-Hernández (1986), quien la asignó al Mioceno-Plioceno. A esta misma secuencia Nieto-Samaniego *et al.*, (1996), la nombraron Ignimbrita San Nicolás, obteniendo una edad por el método K/Ar de  $28.6 \pm 0.7$ . Esta unidad es un color blanco a gris claro, con abundante pómez, escasos líticos, cristales de cuarzo y plagioclasas.

Los fragmentos de pómez son fácilmente erosionados dando un aspecto pseudovesicular a la roca. Su espesor se estima en 40 m.

La ***Ignimbrita Media*** esta formada por una secuencia de tefra que sobreyace a la Ignimbrita Inferior antes descrita. Esta incluye a la Ignimbrita Cañada La Virgen descrita por Nieto-Samaniego y colaboradores (1996). Sus edades fueron obtenidas mediante el método K/Ar son de  $24.8 \pm 0.6$  Ma (Nieto-Samaniego, *op cit*) y de 25.9 Ma (Hasenaka *et al.*, 1994). Sobreyace discordantemente a la Andesita El Cedro cerca de La Ordeña, su espesor varía de 30 a 40 m. Esta unidad está fuertemente o parcialmente soldada, su mineralogía es de cuarzo, sanidino, plagioclasa y biotita; contiene además líticos de riolita y andesita. Cercano a la Mesa de San José de Allende, la ignimbrita está intercalada con los depósitos fluvio-lacustres del Conglomerado Xoconostle (Nieto-Samaniego *et al.*, 1996).

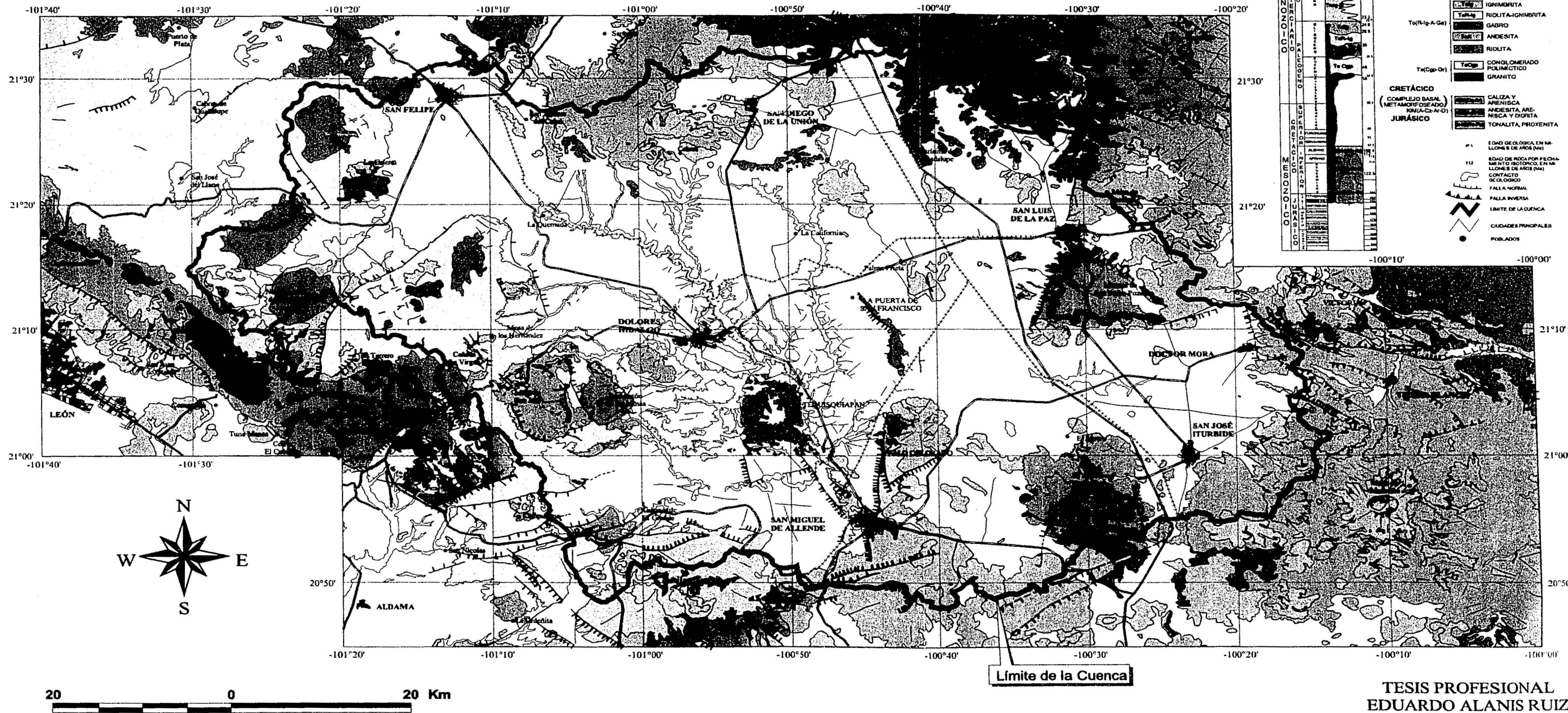
La ***Ignimbrita Superior*** (TmIg-R) incluye a flujos piroclásticos reportados por Hasenaka y colaboradores (1994) al norte de La Ordeña, quienes determinaron una edad  $23 \pm 1$  y  $22 \pm 1$  Ma. Incluye también a la ignimbrita Mesa de San José de Allende en la que Cerca-Martínez *et al.*, (2000) obtuvieron una edad de  $22.2 \pm 0.4$  Ma. Esta unidad se presenta densamente soldada, con abundantes fiames y fenocristales de sanidino, plagioclasas y cuarzo en un matriz gruesa consistente en astillas de vidrio. El espesor de la ignimbrita varía de 30 a 60 m. Esta unidad subyace al Conglomerado Xoconostle y andesitas del Mioceno medio asociadas a la FVTM.

### 5.2.3 Mioceno Tm (A-Da-B-R)\*.

Las secuencias del Mioceno están representadas por rocas que incluyen el último evento ignimbrítico que finalizó al inicio del Mioceno, un paquete volcánico heterogéneo (Tm A-Da-R) que emergió a mediados del Mioceno y lavas de composición intermedia (Tm A-Da-B) y sedimentos asociados como se aprecia en la Figura 10.

\* (Terciario, T; Mioceno, m; Andesita, Ki; Dacita, Da; Basalto, B; Riolita, R).

# EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA Y SUS ALREDEDORES, ESTADO DE GUANAJUATO, MÉXICO.



**Fig 10. Afloramientos de rocas del Mesozoico al Mioceno en la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.**

El volcanismo heterogéneo se manifiesta en la parte sur de la cuenca; un domo de composición andesítico-dacítica ubicado al oriente del Volcán Palo Huérfano tiene una edad con el método K-Ar de 16 Ma (Pérez-Venzor *et al.*, 1996). Este cuerpo se puede correlacionar con el Domo Los Robles (Cerca-Martínez *et al.*, 1998) y con los cuerpos dacíticos expuestos en el flanco oeste del volcán La Joya.

El volcanismo de composición intermedia a máfica del Mioceno (Tm A-Da-B) incluye derrames de lava y conos compuestos de tamaño medio como los volcanes La Joya, Palo Huérfano y Zamorano que tienen características similares. Sus edades radiométricas son entre 9.4 y 13 Ma. Son de composición andesítico-dacítica y yacen en la parte septentrional de la Faja Volcánica Transmexicana (Carrasco-Núñez *et al.*, 1989; Hasenaka *et al.*, 1994; Pérez-Venzor *et al.*, 1996; Cerca-Martínez, 1998; Miller y Carranza, 1998; Valdéz-Moreno *et al.*, 1998). Este volcanismo es importante porque las mesetas andesíticas-basálticas y los estratovolcanes son considerados como la fase inicial de la Faja Volcánica Trasmexicana (Cerca-Martínez *et al.*, 2000; Valdéz-Moreno *et al.*, 1998) porque limitan la Cuenca de la Independencia en su porción sureste.

Cerca-Martínez y colaboradores (2000) dividen esta actividad volcánica en tres eventos principales de acuerdo a edades reportadas, uno varía de 14.6 a 12.2 Ma, otro de 11.1 a 8.8 Ma y el último de 7.0 a 6.0 Ma. Contemporáneo a los eventos de formación de mesetas de lava, en el extremo meridional de la cuenca se desarrollaron estratovolcanes de composición andesítica-dacítica en el periodo de 11.1 a 8.8 Ma.

***Mesetas Andesíticas-Basálticas del Mioceno Medio (TmA-Da-B).*** Esta unidad ha sido interpretada como producto de una de las etapas iniciales de la Faja Volcánica Transmexicana, consiste en mesetas de lava andesítica y basáltica. Debido a que su distribución es muy amplia, esta unidad sobreyace a varias secuencias, como al Conglomerado Xoconostle, las ignimbritas de la SMOc, los Domos La Ordeña y otras (Cerca-Martínez *et al.*, 2000). Éstas son cubiertas por depósitos aluviales probablemente de edad Plioceno y Cuaternario. Cerca-Martínez y colaboradores (2000) fecharon varias muestras, una de estas muestras fue recolectada en la Mesa San José de Allende, que es una

meseta cubierta por flujos de lavas andesíticas, con una edad de  $14.6 \text{ Ma} \pm 0.3 \text{ Ma}$ . Esta es la meseta andesítica más antigua. Otras muestras de lavas que sobreyacen directamente a la anterior proporcionaron edad con el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de  $13.8 \pm 0.3 \text{ Ma}$  y  $13.2 \pm 0.2 \text{ Ma}$ . Cerca de San Miguel de Allende, en la base del Volcán Palo Huérfino, obtuvieron una edad por el método K/Ar de  $12.4 \pm 0.3 \text{ Ma}$ .

Otras edades radiométricas reportadas para lavas andesíticas y basálticas en este periodo son de (Hasenaka *et al.*, 1994), que reportaron una edad con el método K/Ar de  $10.1 \pm 0.1 \text{ Ma}$ ,  $9.4 \pm 0.1$  y  $10.3 \pm 0.1 \text{ Ma}$ , para mesetas andesíticas y basálticas cercanas a La Ordeña. Ramos-Salinas y Flores (1994) reportaron edades entre 7 y 13 Ma en andesitas próximas a La Ordeña; Pérez-Venzor y colaboradores (1996) obtuvieron una edad mediante el método K/Ar de  $11.1 \pm 0.4 \text{ Ma}$  a lo que llamaron Andesita Allende, la cual tiene un espesor aproximado de 100 m, presenta juntas columnares bien desarrolladas.

Al SE de la Cuenca de la Independencia, Váldez-Moreno y colaboradores (1998) fecharon mesetas andesíticas en los alrededores del volcán La Joya por el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en  $10.6 \pm 0.5 \text{ Ma}$  y otras andesítico-basálticas que sobreyacen a depósitos lacustres en  $6.2 \pm 0.6$ . Aguirre-Díaz y colaboradores (1997) fecharon al basalto que corona al Cerro El Cubilete cercano a Silao Guanajuato, en 13.5 Ma.

***Volcanes miocénicos de la Faja Volcánica Transmexicana:*** Los estratovolcanes que se emplazaron en la parte septentrional de la región central de la Faja Volcánica Transmexicana, forman el límite al SE de la Cuenca de la Independencia y estos son:

***Volcán Palo Huérfino:*** Este volcán se localiza al sur de la ciudad de San Miguel de Allende, Guanajuato; está constituido principalmente por flujos de lava andesítica y depósitos piroclásticos (Pérez-Venzor *et al.*, 1996). Las rocas del volcán Palo Huérfino sepultan a la Falla de San Miguel de Allende, cuya orientación principal es N-S. El volcán se emplazó a un costado de un domo de composición intermedia datado en  $16.1 \pm 1.7 \text{ Ma}$ , este domo fue envuelto por las lavas emitidas por el Volcán Palo Huérfino. Los materiales producidos por el volcán Palo Huérfino sobreyacen a las mesetas andesíticas fechadas en

12.4 ± 0.3 Ma, por Cerca-Martínez *et al.*, (2000). Un derrame en la cima del edificio fue fechado por Pérez-Venzor *et al.*, (1996) en 12.1 ± 0.6 Ma por el método K/Ar.

**Volcán Zamorano:** Este volcán se localiza al SE de de San José de Iturbide, Guanajuato. Está formado por una gruesa sucesión de lavas y depósitos de flujos piroclásticos que llegan a formar estratos de 5 a 10 m de espesor. Al igual que Palo Huérfano y La Joya el volcán conserva su morfología de cono truncado con un cráter en la cima. El Zamorano se formó después del emplazamiento de las ignimbritas oligocénicas de fuente desconocida que lo rodean. Se desarrollo un cono central de composición principalmente dacítico-andesítico de origen efusivo, que posteriormente fue erosionado en forma intensa. La estructura más antigua en el complejo volcánico es el estratovolcán. Posteriormente el material volcánico se emplazó a través de diferentes fisuras formando domos y pequeñas mesetas.

Las rocas basales del Volcán Zamorano son color gris oscuro, masivas, presenta juntas en forma parcial, los flujos de lava andesítico-basáltica presentan texturas afáníticas y están formados principalmente por microfenocristales de piroxeno y microlitos de plagioclasa en una estructura seriada. En ocasiones presentan pequeños cristales de olivino reportados por Carrasco-Núñez *et al.*, (1989), todo se encuentra dentro de una matriz de cristales de plagioclasa y vidrio.

Las lavas de la parte superior de la secuencia son andesitas que en algunos casos tienen una composición similar a las de la parte inferior, pero éstas no contienen cristales de olivino y siempre son porfídicas, en algunos casos es glomeroporfírica formando agrupaciones de plagioclasas (Carrasco-Núñez *et al.*, 1989).

Los estratos de material piroclástico se presentan desde la parte media de la secuencia hasta la parte superior de la misma, ambas contienen flujos y depósitos de caída. Estos depósitos son compuestos principalmente por líticos de composición andesítica con cantidades de escoria: su edad con el método K/Ar es de 10.9 ± 0.5 Ma (Carrasco-Núñez *et al.*, 1989).



**Volcán La Joya:** Es un estratovolcán localizado al norte de la ciudad de Querétaro Véldez-Moreno *et al.*, (1999). este edificio, al igual que los volcanes anteriormente descritos, se emplazó sobre un domo andesítico más antiguo. El Volcán La Joya está formado por depósitos de pómez de caída, ignimbritas y una secuencia de lavas andesítico-dacíticas de gran espesor y corta extensión que formaron lóbulos de tipo *coulée* (Véldez-Moreno *et al.*, 1998). La roca cercana al conducto del volcán fue alterada muy intensamente por soluciones hidrotermales, lo que la hizo más susceptible a la erosión; esto causó la formación de un gran circo de erosión de 5 km de diámetro.

Este volcán sobreyace a andesitas de  $10.6 \pm 0.5$  Ma y en su flanco suroriental está parcialmente cubierto por lavas de andesita basáltica de  $6.2 \pm 0.6$  Ma. El volcán La Joya ya estaba casi totalmente formado a los  $9.9 \pm 0.4$  Ma (Véldez-Moreno *et al.*, 1998).

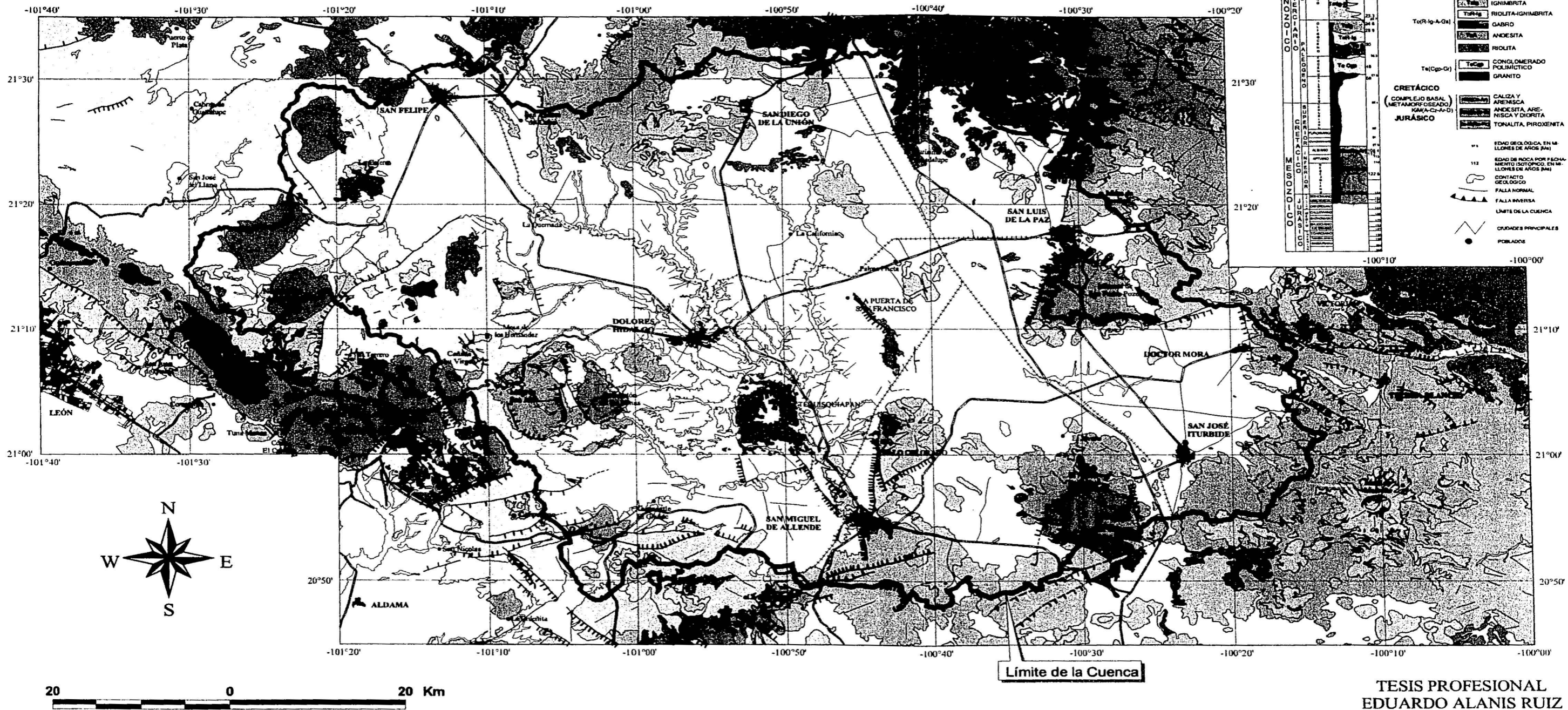
#### 5.2.4 Plioceno-Pleistoceno TnQ (Cgp-Ar-Lm)\*.

Desde el Mioceno temprano la región ha estado expuesta y se acumularon sedimentos clásticos que rellenaron parcialmente a las cuencas formadas entre los volcanes y las fosas tectónicas. Adentro de la Cuenca de la Independencia se depositó el Conglomerado Xoconoxtle, esta unidad aflora extensivamente al norte de la Sierra de Guanajuato, distribuyéndose hacia el centro de la Cuenca de la Independencia. En la región El Bajío existen depósitos semejantes y posiblemente correlacionables; estos depósitos están intercalados con ignimbritas de 24.8 Ma (Nieto-Samaniego *et al.*, 1996). En la parte sur de la Cuenca de la Independencia, en el Río Laja, las gravas subyacen a andesitas del Mioceno Cerca-Martínez *et al.*, (2000) y cerca de San Miguel de Allende, Carranza-Castañeda *et al.*, (1994) y Miller y Carranza (1998) han colectado en sus facies limo-arcillosas diferentes especies de vertebrados mayores que sugieren al menos tres diferentes periodos de depositación, Mioceno tardío (Hemfiliano), Plioceno (Blancano) y Pleistoceno (Irvingtoniano). Edades absolutas obtenidas con la técnica de huellas de fisión por el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en las cenizas volcánicas incluidas en los sedimentos fosilíferos oscilan

\* (Terciario, T; Neógeno, n; Cuaternario, Q; Conglomerado Polimictico, Cgp; Arenisca, Ar; Limolita, Lm).

entre 3.3 y 4.8 Ma (Kowallis *et al.*, 1999). Estos sedimentos incluyen conglomerados, areniscas y limolitas de origen lacustre, generalmente horizontales y sin deformación. Las geoformas son valles amplios generados en los depósitos sedimentarios que ocupan una gran extensión adentro de la Cuenca de la Independencia y están delimitados hacia los bordes por las rocas descritas anteriormente como se muestra en la Figura 11. Estos sedimentos fluviolacustres tienen edades aproximadamente desde finales del Oligoceno al Pleistoceno y aún no se han estudiado con detalle. Sus espesores estimados van de 100 a 400 m y se distribuyen en forma prácticamente continua dentro de la Cuenca de la Independencia.

# EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA Y SUS ALREDEDORES, ESTADO DE GUANAJUATO, MÉXICO.



TESIS PROFESIONAL  
EDUARDO ALANIS RUIZ

**Fig 11. Afloramientos de rocas del Mesozoico al Holoceno en la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.**

### **5.3. Cuaternario.**

#### **5.3.1 Holoceno Qhal\*.**

Durante el Cuaternario continua en forma diacrónica el relleno sedimentario de las cuencas. El aluvión Qhal se encuentra restringido a las márgenes de los arroyos y ríos activos en el interior de la cuenca como se muestra en la Figura 11.

De acuerdo con la evolución geológica de la Cuenca de la Independencia descrita anteriormente, se obtuvo el mapa geológico de la Cuenca de la Independencia y sus alrededores como se muestra en la Figura 12, en donde se pueden observar las estructuras, la distribución de todas la unidades, sus límites y relaciones.

### **5.4 Secciones Geológicas**

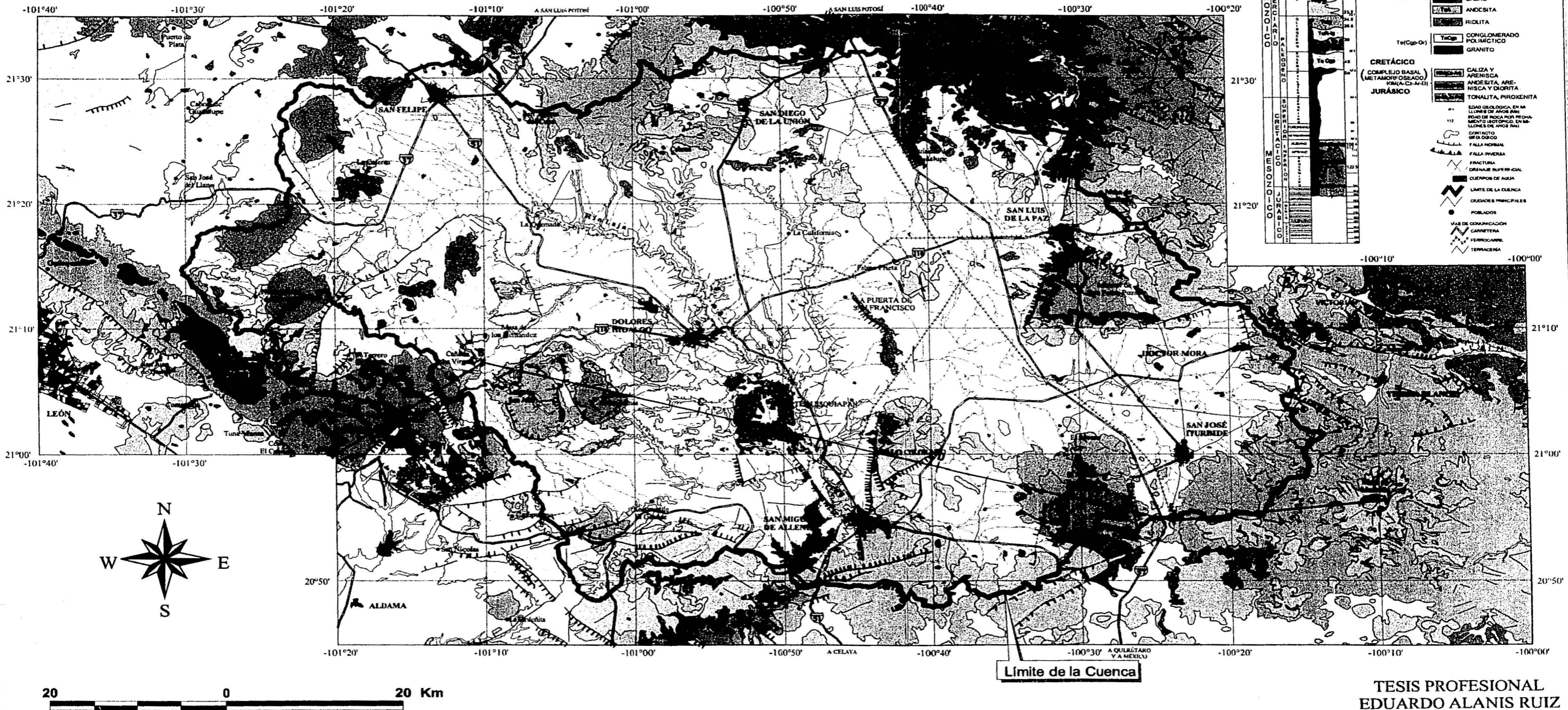
Las 5 secciones geológicas esquemáticas que se presentan en el área de estudio se definen a continuación y en la Figura 12a se aprecian las relaciones y espesores de las unidades y los estilos de deformación.

#### **5.4.1 Sección Geológica A-B.**

La sección geológica A-B tiene una orientación N43°E, una longitud de 21.6 km y atraviesa la Sierra de Guanajuato. En esta sección se observan en su mayor parte rocas pertenecientes al basamento mesozoico que afloran en gran parte de la sección, corresponden a la unidad KiM(A-Ar-D) compuesta principalmente de intrusivos, rocas sedimentarias y volcánicas marinas con bajo grado de metamorfismo, las cuales presentan fallamiento, plegamiento y fracturamiento, esta unidad está subyaciendo en esta sección a la unidad Js-KiM(Tn-Px) debido a esfuerzos compresivos que produjeron plegamiento y

\* (Cuaternario, Q; Holoceno, h; Aluvión, al).

# EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA DE LA INDEPENDENCIA Y SUS ALREDEDORES, ESTADO DE GUANAJUATO, MÉXICO.



TESIS PROFESIONAL  
EDUARDO ALANIS RUIZ

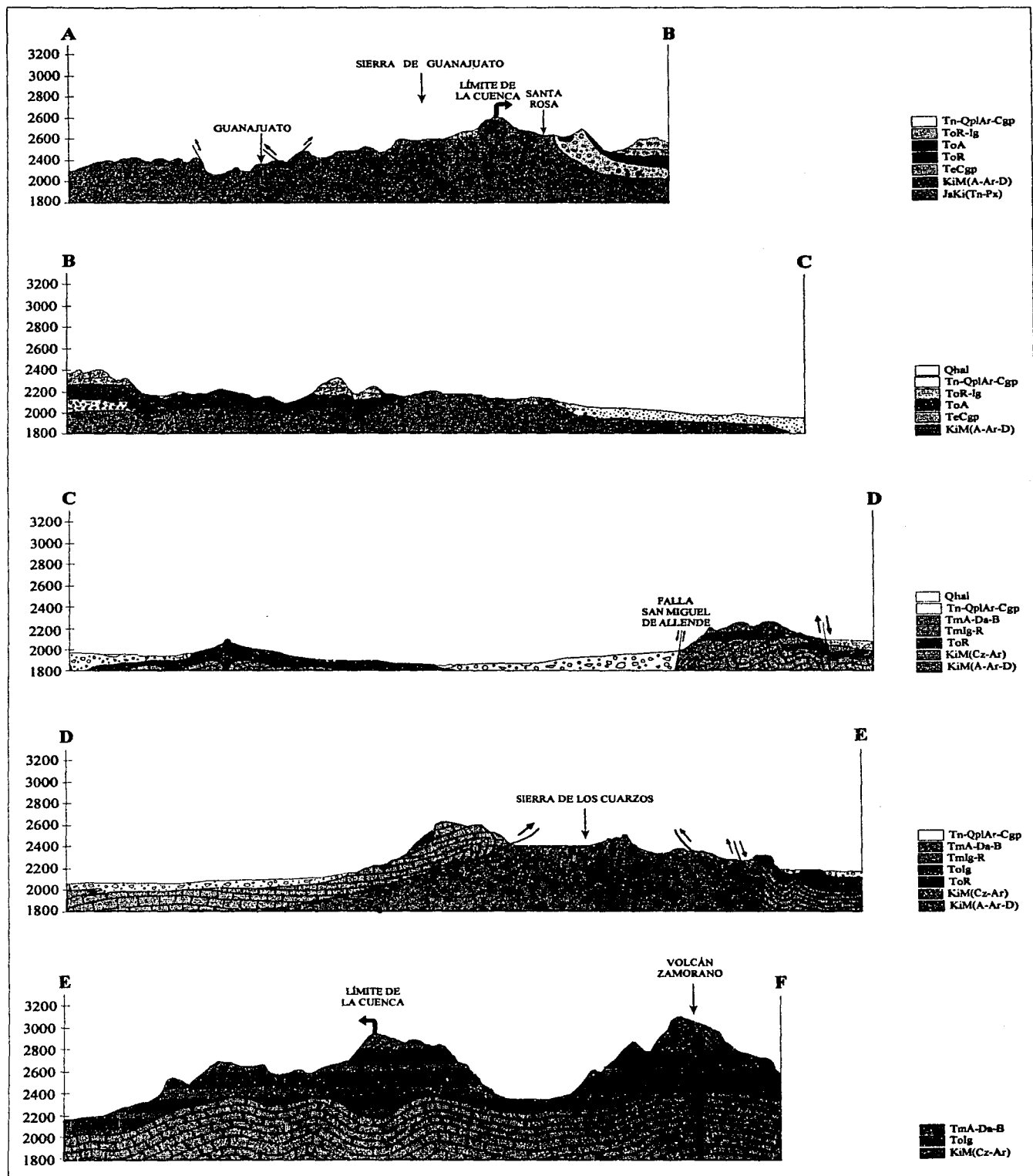


Figura 12a. Secciones geológicas esquemáticas.

fallamiento inverso; al NE del límite de la Cuenca de la Independencia y en dirección al interior de la misma se depositó posteriormente la unidad TeCgp, que consiste en un conglomerado fuertemente cementado, resultado de la acumulación del abanico aluvial dentro de fosas tectónicas, esta unidad sobreyace a las unidades antes mencionadas y subyace a las unidades que consisten en rocas de composición riolítica (ToR) y a un evento contemporáneo de derrames de lava de composición máfica (ToA); sobreyaciendo a estas unidades se encuentra la unidad ToR-Ig que corresponde a un evento posterior el cual consistió en el depósito de ignimbritas y riolitas; también se observan pequeños afloramientos de la unidad Tn-QplAr-Cgp que consiste principalmente en areniscas, gravas y conglomerados.

#### 5.4.2 Sección Geológica B-C.

Esta sección geológica tiene una orientación S75°E, una longitud de 25.98 km y atraviesa la Sierra de Guanajuato. En esta sección se observan rocas pertenecientes al basamento mesozoico y afloran en la parte central de la sección, corresponden a la unidad KiM(A-Ar-D) compuesta principalmente de intrusivos, rocas sedimentarias y volcánicas marinas con bajo grado de metamorfismo, las cuales presentan fallamiento, plegamiento y fracturamiento, esta unidad está subyaciendo en esta sección a la unidad Js-KiM(Tn-Px) debido a esfuerzos compresivos que produjeron plegamiento y fallamiento inverso; posteriormente se depositó la unidad TeCgp, que consiste en un conglomerado fuertemente cementado, resultado de la acumulación del abanico aluvial dentro de fosas tectónicas, esta unidad no aflora en esta sección en la superficie, solo sobreyace a las unidades antes mencionadas y subyace a la unidad que consiste en derrames de lava de composición máfica (ToA); sobreyaciendo a esta unidad se encuentra la unidad ToR-Ig que corresponde a un evento posterior el cual consistió en el depósito de ignimbritas y riolitas; las unidades ToA y ToR-Ig se encuentran afectadas por esfuerzos extensivos, los cuales produjeron fallas normales; también se observa el afloramiento de la unidad Tn-QplAr-Cgp que consiste principalmente en areniscas, gravas y conglomerados, también se observan pequeños afloramientos principalmente en los lechos de los ríos que corresponden a la unidad Qha1 que consiste en el material aluvial.

#### 5.4.3 Sección Geológica C-D.

La sección geológica tiene una orientación S75°E, una longitud de 29.09 km y pasa por la parte central de la Cuenca de la Independencia al norte de la ciudad de San Miguel de Allende (SMA). En esta sección se observan rocas pertenecientes al basamento mesozoico que corresponden a la unidad KiM(Cz-Ar) compuesta principalmente de rocas sedimentarias marinas como calizas, lutitas y areniscas, con bajo grado de metamorfismo, las cuales presentan fallamiento, plegamiento y fracturamiento, esta unidad aflora al norte de (SMA) debido a la falla de San Miguel de Allende, la cual es una falla normal de dirección aproximada N-S, esta unidad subyace en esta sección a la unidad ToR que consiste en domos de composición riolítica y a la unidad TmIg-R que consisten en flujos piroclásticos de composición riolítica que están afectados por fallas normales; también afloran al E de la Falla de (SMA) derrames de lava de composición intermedia que corresponden a la unidad TmA-Da-B, esta unidad sobreyace a la unidad TmIg-R; también aflora la unidad Tn-QplAr-Cgp constituida por areniscas, gravas, conglomerados y depósitos lacustres, también se observan pequeños afloramientos de material aluvial en los lechos de los ríos que corresponden a la unidad Qhal.

#### 5.4.4 Sección Geológica D-E.

La sección geológica D-E tiene una orientación S75°E, una longitud de 28.59 km y cruza la Sierra de los Cuarzos. En esta sección se observan en su mayor parte rocas pertenecientes al basamento mesozoico, que afloran en gran parte de la sección y corresponden a la unidad KiM(A-Ar-D) compuesta principalmente de rocas sedimentarias y volcánicas marinas con bajo grado de metamorfismo, las cuales presentan fallamiento, plegamiento y fracturamiento; también se presentan rocas pertenecientes al basamento mesozoico que corresponden a la unidad KiM(Cz-Ar) compuesta principalmente de rocas sedimentarias marinas como calizas, lutitas y areniscas, con bajo grado de metamorfismo, las cuales presentan fallamiento, plegamiento y fracturamiento; estas unidades afloran en la Sierra de los Cuarzos, esta unidad sobreyace a la unidad KiM(A-Ar-D) debido a esfuerzos compresivos que produjeron fallas inversas; la unidad anterior subyace a las unidades que



consisten en rocas de composición riolítica (ToR) y a Ignimbritas pertenecientes a la unidad ToIg; la unidad TmIg-R que consisten en flujos piroclásticos de composición riolítica; la unidad TmIg-R no aflora en esta zona pero se encuentra sobreyaciendo a la unidad KiM(Cz-Ar); se observa un pequeño afloramiento de derrames de lava de composición intermedia que corresponden a la unidad TmA-Da-B, también aflora la unidad Tn-QpIAr-Cgp constituida por areniscas, conglomerados y depósitos lacustres.

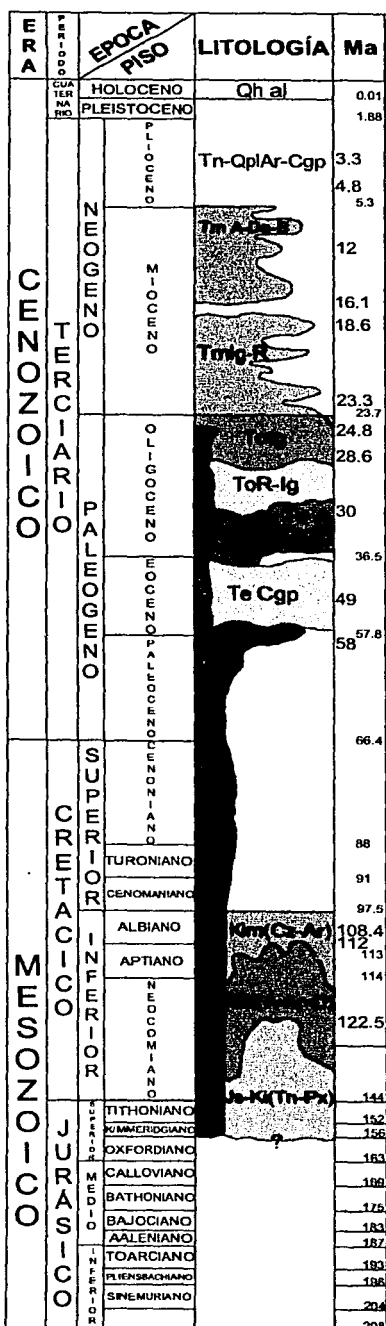
#### 5.4.5 Sección Geológica E-F.

La sección geológica E-F tiene una orientación N83°E, una longitud de 24.75 km y pasa por el Volcán Zamorano. En esta sección se observan rocas pertenecientes al basamento mesozoico, en esta zona estas rocas no afloran en la superficie y pertenecen a la unidad KiM(Cz-Ar), esta compuesta principalmente de rocas sedimentarias marinas como calizas, lutitas y areniscas, con bajo grado de metamorfismo, las cuales presentan plegamiento debido a esfuerzos compresivos, la unidad anterior subyace a las unidades que consisten en Ignimbritas pertenecientes a la unidad ToIg; sobreyaciendo a la unidad anterior se presenta una gruesa sucesión de lavas y depósitos de flujos piroclásticos de composición intermedia que forman el Volcán Zamorano y también se observa un afloramiento de derrames de lava de composición intermedia, que corresponden a la unidad TmA-Da-B.

#### **5.5 Correlación Estratigráfica**

Con la información de los trabajos compilados los cuales se apoyaron en 31 fechamientos isotópicos y con el trabajo de campo, se ha realizado la correlación de todos los datos estratigráficos del área con respecto a la columna estratigráfica de esta tesis, en la Figura 13 se muestra la columna estratigráfica completa con su ubicación en la escala geológica del tiempo. La correlación estratigráfica se muestra en las Figuras 14a y 14b. Esta información ya ha sido discutida previamente.

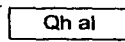
# COLUMNA ESTRATIGRÁFICA



## SIMBOLOGÍA

### CUATERNARIO

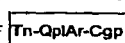
TnQ(Cgp-Ar-Lm)



ALUVIÓN

### TERCIARIO

Tm(A-Da-B-R)



ARENISCA, CONGLOMERADO POLIMÍCTICO



ANDESITA, DACITA Y BASALTO



IGNIMBRITA, RIOLITA



IGNIMBRITA



RIOLITA-IGNIMBRITA

To(R-Ig-A-Ga)



GABRO



ANDESITA



RIOLITA

Te(Cgp-Gr)



CONGLOMERADO POLIMÍCTICO



GRANITO

### CRETÁCICO

(COMPLEJO BASAL)  
(METAMORFOSEADO)  
KIM(A-Cz-Ar-D)



CALIZA Y ARENISCA



ANDESITA, ARENISCA Y DIORITA

### JURÁSICO



TONALITA, PIROXENITA

97.5 EDAD GEOLÓGICA, EN MILLONES DE AÑOS (Ma)

112 EDAD DE ROCA POR FECHAMIENTO ISOTÓPICO, EN MILLONES DE AÑOS (Ma)

Figura 13. Columna estratigráfica de la Cuenca de la Independencia y sus alrededores.

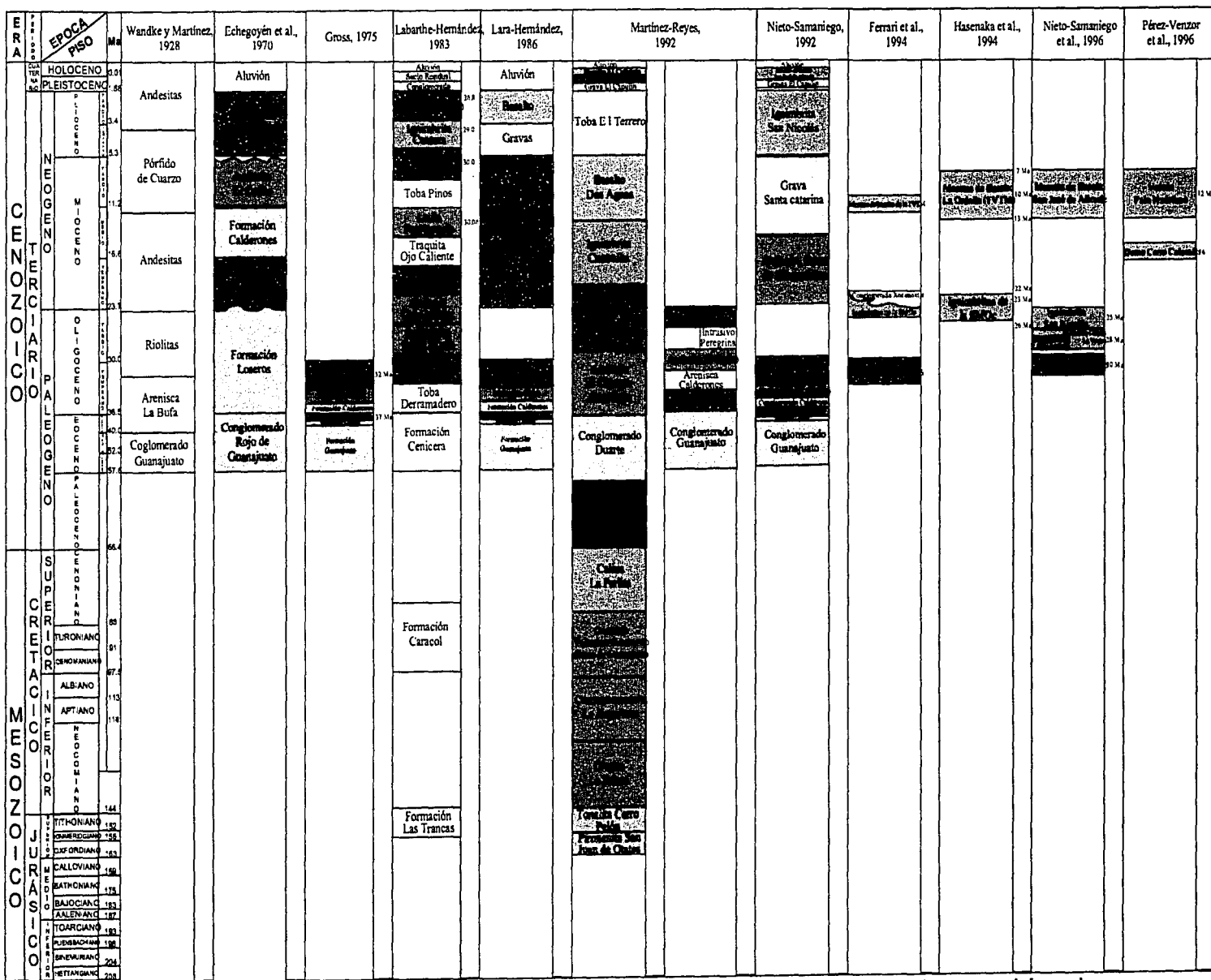


Figura 14a. Relaci6n de columnas estratigr6ficas y fechamientos de rocas realizadas por varios autores en el 6rea de estudio. Tomado y modificado de (Cerca-Martínez et al., 2000).

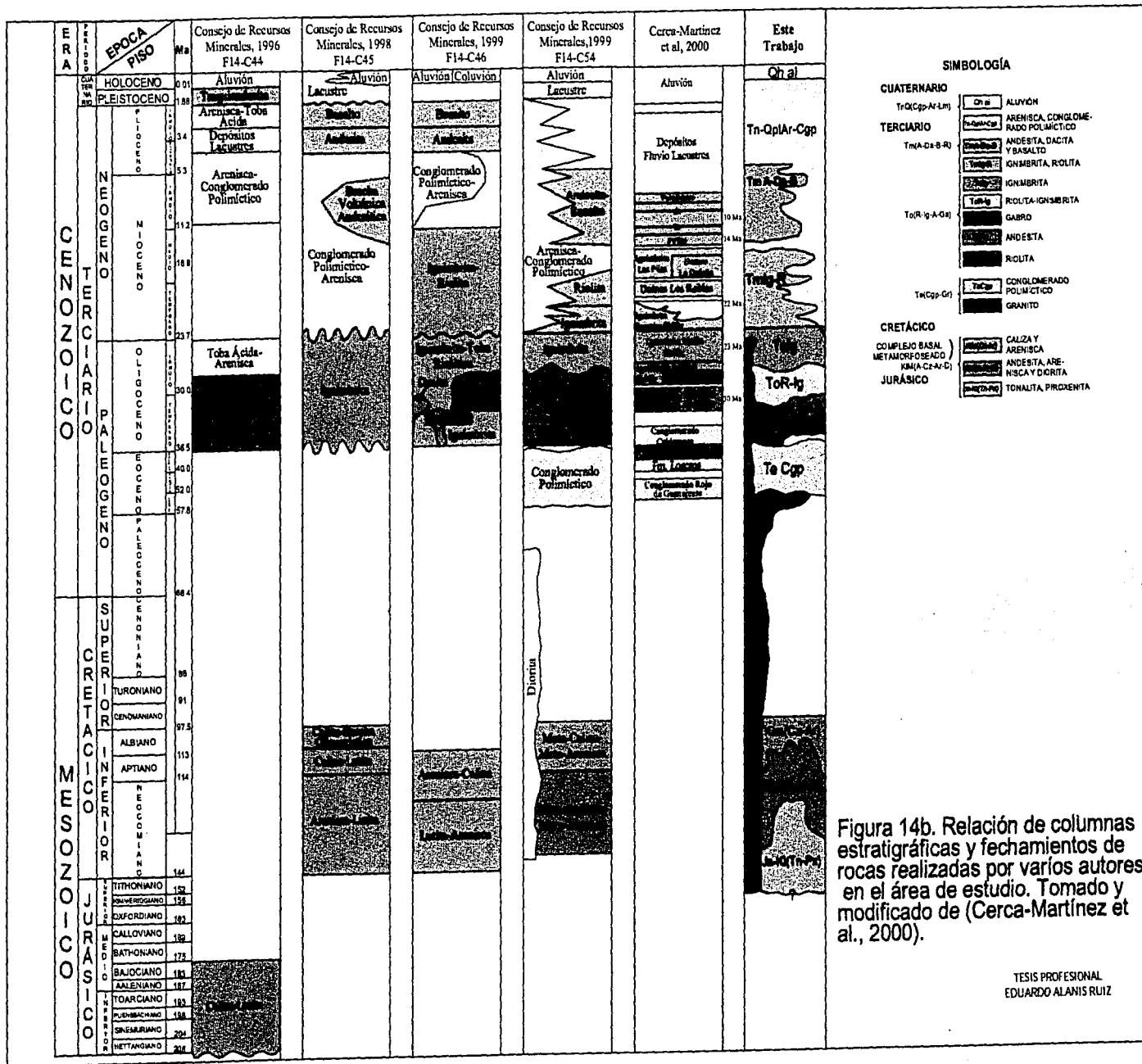


Figura 14b. Relación de columnas estratigráficas y fechamientos de rocas realizadas por varios autores en el área de estudio. Tomado y modificado de (Cerca-Martínez et al., 2000).

## **CAPÍTULO VI**

# **APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA**

### **6. 1 Introducción**

La gran mayoría de los problemas de manejo y aprovechamiento de los recursos naturales en cuencas hidrográficas, se originan por los sistemas de explotación de dichos recursos, ocasionado por uso inadecuado, lo que trae como consecuencia el deterioro y la sobreexplotación de los mismos. Es por esto que debido a esta situación actualmente se considera importante la organización en el manejo de la información de las cuencas, a partir de una evaluación de las condiciones físicas y socioeconómicas, estas son la base para su estudio.

En consecuencia, la metodología de estudio del medio físico, la jerarquización y selección del problema, pueden auxiliarse en la informática; en este caso en Sistemas de Información Geográfica, que es de gran utilidad para evaluar determinados parámetros que permitan ordenar y jerarquizar la información y la problemática en ciencias de la tierra.

Como resultado en el desarrollo de la informática con poderosos equipos de cómputo, con gran soporte en paquetería y los adelantos en el procesamiento de las imágenes de sensores remotos en los últimos años, han permitido su uso cada vez más generalizado en la evaluación de los recursos naturales. El costo de esta tecnología cada vez es más bajo y la capacidad de almacenamiento y análisis de la información es cada vez mayor, por lo que

constituye una extraordinaria alternativa metodológica, especialmente para estudios a nivel de reconocimiento de grandes áreas, donde existen contrastes en el relieve.

En este trabajo, mediante la utilización del SIG, se analizaron los parámetros geológicos importantes, se realizan en forma espacial y el despliegue de la información en forma cartográfica o de mapas, que muestran la evolución geológica de la Cuenca de la Independencia con la distribución de las rocas, de acuerdo a su clasificación y a su edad. También se caracterizan rasgos estructurales importantes, tales como las fallas.

## **6.2 Definición de un Sistema de Información Geográfica**

Es un sistema para capturar, almacenar, verificar, integrar, manipular, analizar y desplegar información y datos referenciados geográficamente. Se considera normalmente que involucra una base de datos en una computadora y el programa de aplicaciones adecuado. Se categoriza la información, se ordena, se canaliza y se tiene disponible para la interpretación correspondiente.

## **6.3 Procesamiento de la Información**

Para la realización de este trabajo, en particular, para la obtención de los mapas de la evolución geológica de la Cuenca de la Independencia, se utilizó una base cartográfica escala 1:50,000 publicada por INEGI. Para cada uno de los elementos como puntos, líneas y polígonos se les asignó varios valores de atributos principalmente descriptivos a las diferentes variables que lo componen. Mediante la digitalización de la información geológica integrada a una base topográfica definida, se obtuvo la siguiente información:

- Ubicación de la Cuenca de la Independencia en coordenadas geográficas.
- Definición del límite físico de la misma.
- La evolución geológica de acuerdo a su litología y a edades de las unidades.
- La integración de estructuras geológicas (fallas, fracturas, etc.).
- Escurrimientos hidrológicos.

- Superficie de la cuenca.
- La ubicación de los principales centros urbanos, así como vías de comunicación terrestres.
- La importación de imágenes para la edición y realización de algunas figuras, como lo es el modelo digital de elevación de la región.

## **6.4 Componentes de un SIG**

Los componentes de un Sistema de Información Geográfica consisten en: entrada de datos, manejo de datos (retraer y almacenar), manipulación y análisis de información y salida de datos (resultados). Se debe trabajar en forma ordenada y cuidadosa para obtener buenos resultados. A continuación se da una explicación de cada uno de los componentes que integran un SIG.

### **6.4.1. Entrada de datos**

Para introducir datos en un SIG, este debe considerar la ubicación espacial lo que incluye todo lo relacionado con la localización geográfica como puntos, los cuales están representados en este trabajo principalmente como poblados, polígonos que representan las áreas de afloramientos de las rocas, cuerpos de agua superficiales y líneas que representan fallas, arroyos, vías de comunicación, etc.

Los datos no espaciales que proveen de información descriptiva como la clasificación de las rocas, y la toponimia (nombre de una ciudad, sierra, poblado, etc.), se introducen en términos de registro en una base de datos denominada como campo. Generalmente la introducción de los datos no espaciales tanto descriptivos como numéricos pueden ser en forma manual o a través de una base de datos ya existente y también por medio de sistemas de adquisición de datos, que leen la información directamente del campo como puede ser un Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS). Todos los datos quedan registrados en una base de datos compatible que se pueden utilizar en cualquier proyecto y por cualquier usuario autorizado.

#### 6.4.2. Manejo de datos

Para la manipulación de los datos, es necesario que el SIG pueda realizar ciertas funciones como actualizar, consultar y extraer información. Para que el SIG ejecute estos procesos cuenta con un manejador de base de datos; el cual es un conjunto de programas especializados, diseñados para describir, proteger, almacenar y acceder una base de datos. El manejo de datos es posible realizarlo con diferentes objetivos y distintos programas de cómputo compatibles.

#### 6.4.3. Análisis de los datos

El modelar los datos dentro de un SIG, permite realizar diferentes tipos de análisis que de otra manera sería complicada su ejecución. El modelo puede ser usado para probar diferentes escenarios que determinen cuál es el conveniente de acuerdo a los objetivos del trabajo. Asimismo, los resultados del análisis y su utilidad dependerá en gran medida de la efectiva representación del modelo.

Se deben analizar los datos de manera ordenada e integral, con el nivel de certidumbre o incertidumbre que le correspondan, tomando en consideración en primer lugar los datos más representativos del problema a resolver.

#### 6.4.4. Salida de los datos

La salida de los datos consiste en la presentación de la información de un modo útil para el usuario, los datos que se obtienen como salida pueden ser tanto información geográfica como los atributos de la misma. La información puede ser generada como una impresión, en formato digital o directamente en pantalla.

En el caso de este trabajo, los datos de salida corresponden con varios mapas geológicos que ilustran la evolución de la Cuenca de la Independencia a partir del Mesozoico al Cenozoico; también se tiene como resultado tablas de correlación estratigráfica y 5



secciones geológicas representativas. Un aspecto de gran importancia es el texto explicativo de la evolución geológica, la descripción de las estructuras y la correlación estratigráfica. Todo lo anterior fue expresado en el texto de este trabajo.

## **CAPÍTULO VII**

### **DISCUSIÓN**

Los procesos tectónicos que contribuyeron en la formación de la Cuenca de la Independencia fueron diversos, incluyen diferentes períodos de fallamiento normal debidos a eventos extensivos episódicos y a varios eventos volcánicos.

La evolución geológica de la Cuenca de la Independencia se resume a continuación. Durante el Mesozoico, existió un arco volcánico marino denominado Cuenca de Arperos, donde se depositaron series volcánicas, secuencias sedimentarias de origen marino y se emplazaron rocas plutónicas; esta secuencia volcano-sedimentaria se relaciona al terreno tectonoestratigráfico Guerrero. La mencionada secuencia aflora en la Sierra de Guanajuato, San Miguel de Allende (SMA) y al SW de San Felipe. En forma sincrónica fueron depositándose las calizas de la Sierra Madre Oriental, que dentro de la Cuenca de la Independencia, afloran en Mineral de Pozos, al NE de Doctor Mora, y en la Sierra de los Cuarzos. En la fase orogénica Laramídica del Cenozoico temprano, dichas rocas fueron plegadas y elevadas, se formaron fallas inversas y se metamorfosearon en bajo grado. Al ser expuestas a la erosión formaron los altos topográficos actuales al SW de la Cuenca de la Independencia y en las localidades antes mencionadas.

Al final del Paleoceno y en el Eoceno se inició una fase de extensión que originó fallamiento extensional en la Sierra de Guanajuato. Durante el Eoceno las rocas expuestas empiezan a erosionarse y a formar el material de relleno de la Cuenca de la Independencia. Productos de esta erosión, son el Conglomerado Rojo de Guanajuato que se intercala con

horizontes de lava andesítica y una secuencia de conglomerados polimícticos. A causa de este fallamiento, se inicia el hundimiento en la Cuenca de la Independencia, iniciando la formación de gran parte de su límite oeste.

En el Oligoceno ocurre un incremento en la tasa de volcanismo, el cual estuvo relacionado a una tectónica de subducción al W de México. Así mismo, sucedió un nuevo episodio de fallamiento normal, en forma contemporánea ocurrió el emplazamiento de domos riolíticos y la acumulación de grandes volúmenes de ignimbrita y en menor grado de flujos andesíticos. El fallamiento dió origen a estructuras de fosas y pilares presentes en toda la Cuenca de la Independencia. Después del emplazamiento de las rocas volcánicas continua la extensión se reactivan las fallas y por consiguiente prosigue el hundimiento dentro la Cuenca de la Independencia.

El vulcanismo del Oligoceno da lugar a las serranías que integran los límites de la Cuenca de la Independencia, particularmente, en la parte norte de la misma; dichas estructuras formaban una especie de "U" que se mantenía parcialmente abierta en la parte S-SE. En el norte, en el Graben de Villa de Reyes se presentan riolitas intercaladas con sedimentos clásticos que atestiguan la existencia de una depresión donde ocurrió sedimentación.

En el Mioceno tardío cambia la composición del volcanismo, empieza la actividad de la FVTM con el emplazamiento de derrames y el depósito de rocas piroclásticas que forman estratovolcanes de composición andesítica-dacítica-basáltica, alineados estructuralmente en dirección NE, con igual orientación al Sistema Chapala-Tula, formando el cierre topográfico la Cuenca de la Independencia en la porción S-SE, dando origen a la morfología actual. De este último evento se han encontrado flujos de basalto de 11 Ma intercalados con sedimentos clásticos.

De manera contemporánea con el fallamiento que provocó el hundimiento y los emplazamientos volcánicos, fueron depositándose sedimentos clásticos desde el Oligoceno hasta el Pleistoceno. Se estima que el espesor total de los sedimentos en las partes centrales de la Cuenca de la Independencia alcanzan los 400 m. En la porción NW de la Cuenca de la

Independencia, se puede inferir la dirección del transporte de los sedimentos debido a que van disminuyendo de tamaño al acercarse hacia el centro de la misma, lo anterior implica un recorrido de mayor distancia y tiempo en el transporte de los mismos.

## CAPÍTULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

1. Se concluye que la Cuenca de la Independencia es continental exorreica, de origen tectónico y volcano-sedimentario que se formó progresivamente por la interacción de los sistemas de fallamiento, volcanismo y depositación de sedimentos.
2. La Cuenca de la Independencia está limitada al oriente por las formaciones sedimentarias plegadas de la SMOr, riolitas e ignimbritas del Oligoceno; el límite norte está constituido por elevaciones de riolitas e ignimbritas del Oligoceno; al poniente se encuentra la Sierra de Guanajuato en la que afloran rocas del complejo basal cubiertas por riolitas e ignimbritas oligocénicas; por último, el límite sur está conformado por aparatos volcánicos constituidos por basaltos, andesitas y dacitas de la FVTM del Mioceno-Plioceno. Estos límites, tal como se observan actualmente, se tienen desde hace aproximadamente 10 Ma, desde entonces no se ha reportado actividad volcánica.
3. Los principales sistemas de fallamiento que afectan a la Cuenca de la Independencia son: un sistema NW-SE representado por la Falla Bajío; un sistema N-S representado por la Falla San Miguel de Allende; un sistema NE-SW representado por los grabenes La Saucedá y Villa de Reyes y por un sistema paralelo al sistema Chapala-Tula.
4. La elaboración de los mapas de la evolución geológica de la Cuenca de la Independencia se realiza en menor tiempo del normalmente empleado, ésto fue debido al empleo de herramientas modernas como el Sistema de Información Geográfica, el cual facilitó el análisis de la información que fue procesada, obteniéndose rápidamente la cartografía de rocas, así como la identificación y ubicación de ciertas características de la Cuenca de la Independencia.

5. Con la realización de la evolución geológica de la Cuenca de la Independencia es posible contar con una base de datos cartográfica confiable, con una escala de detalle que posibilita manejar la información en forma adecuada, para realizar trabajos de diferente índole en el interior de la Cuenca de la Independencia.
6. La correlación estratigráfica realizada en este trabajo resultó ser congruente en la disposición de las unidades definidas por diversos autores en tiempo y espacio.
7. Mediante la realización de las secciones geológicas se puede observar la distribución de las unidades en el subsuelo, su disposición debido a la evolución geológica y a estructuras geológicas de primer orden.
8. El uso del Sistema de Información Geográfica permitió hacer un análisis global de las características geológicas (estratigráficas y estructurales) de la Cuenca de la Independencia.

### **Recomendaciones**

Debido a la gran extensión que abarca el modelo de evolución geológica de la Cuenca de la Independencia se recomienda utilizarlo como base cartográfica de la región, la cual se podrá complementar con trabajos a mayor detalle, además de retroalimentarlo con todo tipo de información relacionada.

Una recomendación es que para poder eficientizar el trabajo realizado a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se debe de contar con el equipo adecuado y corroborar la información que se vaya a procesar, lo cual tendrá como resultado trabajos de calidad y de detalle, que den la pauta en la planeación de acciones en beneficio de una región, además de abatir costos y tiempo de realización.

Se recomienda utilizar un Sistema de Información Geográfica (SIG) para cualquier aplicación en ciencias de la tierra, en la búsqueda y explotación de recursos naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilar y Vargas, V. H., y Verma, S. P., 1987. **Composición Química (Elementos Mayores) de los magmas del Cinturón Volcánico Mexicano**, in Verma, S., ed., Volumen Especial sobre el Cinturón Volcánico Mexicano-Parte 3B; Geofísica Internacional., v. 26, p. 195-272.

Aguirre-Díaz, Gerardo J.; McDowell, Fred W., 1991, . **The volcanic section at Nazas, Durango, Mexico, and the possibility of widespread Eocene volcanism with in the Sierra Madre Occidental: Journal of Geophysical Research**, v. 96, no. B8, p. 13,373-13,388.

Aguirre-Díaz, G. J., 1997. **Volcanic Stratigraphy of the Amealco Caldera and vicinity, central Mexican Volcanic Belt: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, v. 13, p. 10-51.

Aguirre-Díaz, G. J.; Nelson, S. A., Ferrari, L., y López-Martínez, M., 1997. **Ignimbrites of the central Mexican Volcanic belt-Amealco y Huichapan calderas, states of Querétaro and Hidalgo: Magmatism and tectonics of central and northwestern Mexico. A selection of the 1997, IAVCEI General Assembly Excursions. Instituto de Geología, UNAM**, 1-39.

Aranda-Gómez, J. J., Aranda-Gómez, J. M. y Nieto-Samaniego, A. F., 1989. **Consideraciones acerca de la evolución tectónica durante el Cenozoico de la Sierra de Guanajuato y la parte meridional de la Mesa Central**, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 8, núm. 1, pp. 33-46.

Aranda-Gómez J. J. y McDowell Fred W. 1997. **Extensión temprana en la porción meridional de la provincia de Cuencas y Sierras de México: basculamiento contemporáneo al depósito de la secuencia terciaria (Eoceno-Oligoceno) del Distrito Minero de Guanajuato. GEOS. Resúmenes y programa de la reunión Anual. Unión Geofísica Mexicana. Vol. 17. No. 4. P. 225-226.**

Aranda-Gómez, J. J., y Mc Dowell, F. W., 1998. **Paleogene extension in the southern Basin and Range Province of Mexico-Syn-positinal tilting of Eocene red beds and Oligocene volcanic rocks in the Guanajuato mining district: International Geology Review**, v. 40, p. 116-134.

Campos-Enriquez, J. O., Kerdan, T., Mórán-Zenteno, D. J., Urrutia-Fucugauchi, J., Sánchez-Castellanos, E., y Alday-Cruz, R., 1994. **Estructura de la litósfera superior a lo largo del Trópico de Cáncer(abs): Unión Geofísica Mexicana, Boletín Informativo, GEOS**, v. 12, p. 75-76.

Carranza-Castañeda O. 1987. **Estratigrafía de los sedimentos continentales del Terciario Superior de San Miguel de Allende, Guanajuato.** Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Simposio sobre la geología de la Sierra de Guanajuato. Resúmenes. P. 23-25.

Carranza-Castañeda, O., Petersen, M. S., and Miller, W. E., 1994. **Preliminary investigation of the Geology of the northern San Miguel de Allende area, northeastern Guanajuato, Mexico:** Brigham Young University Geological Studies, 40, 1-9.

Carrasco-Núñez, G., 1989. **Ambiente tectónico de la región volcánica Los Azufres, Mich.-Zamorano, Qro.** Geofísica Internacional, vol. 28-5, pp.975-991.

Carrasco-Núñez G., Milán M. y P. Verma S. 1989. **Geología del Volcán Zamorano, Estado de Querétaro.** Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Revista. Vol. 8. No. 2. p. 194-201.

Centeno-García, E., Ruiz, J., Coney, P. J., Patchett, P. J. y Ortega-Gutiérrez, F. 1993. **Guerrero terrane of Mexico: its role in the Southern Cordillera from new geochemical data.** Geology, vol. 21, p. 419-422.

Cerca-Martínez L. M. 1998. **Relación Estratigráfica y geocronológica entre el volcanismo de la Sierra madre Occidental y el Cinturón Volcánico Mexicano en la parte sur de la Sierra de Guanajuato.** Tesis de Maestría. CICESE. División de Ciencias de la Tierra. Departamento de Geología.

Cerca-Martínez L. M., Aguirre-Díaz G. J. y López-Martínez M. 2000. **The Geologic Evolution of the Southern Sierra de Guanajuato, México: A Documental Example of the Transition from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt.** International Geology Review. Vol. 42. 2000. P.131-151.

CETENAL, 1973. **Hoja Aldama (F14-C53), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto.** Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. **Hoja Buenavista (F14-C55), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto.** Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. **Hoja Buenavista (F14-C55), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto.** Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.



CETENAL, 1973. Hoja **Colón (F14-C56)**, Querétaro; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Colón (F14-C56)**, Querétaro; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Doctor Mora (F14-C46)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Doctor Mora (F14-C46)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta Topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Dolores Hidalgo (F14-C44)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Dolores Hidalgo (F14-C44)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Guanajuato (F14-C43)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Guanajuato (F14-C43)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Guanajuato (F14-7)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:250,000.

CETENAL, 1973. Hoja Ibarra (F14-C32), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja Ibarra (F14-C32), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja Melchor (F14-C24), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja Melchor (F14-C24), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja Mineral de Pozos (F14-C45), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja Mineral de Pozos (F14-C45), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja Nuevo Valle de Moreno (F14-C42), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja Nuevo Valle de Moreno (F14-C42), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja Presa San Bartolo (F14-C23), Guanajuato; México, D. F., Secretaria de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

CETENAL, 1973. Hoja **Presa San Bartolo (F14-C23)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Querétaro (F14-10)**, Querétaro; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **San Diego de la Unión (F14-C34)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **San Diego de la Unión (F14-C34)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **San Felipe (F14-C33)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **San Felipe (F14-C33)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **San Luis de la Paz (F14-C35)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **San Luis de la Paz (F14-C35)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **San Miguel de Allende (F14-C54)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **San Miguel de Allende (F14-C54)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Sierra de Jacales (F14-C22)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Sierra de Jacales (F14-C22)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Tierra Nueva (F14-C25)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta geológica, escala 1:50,000.

CETENAL, 1973. Hoja **Tierra Nueva (F14-C25)**, Guanajuato; México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (actualmente INEGI), carta topográfica, escala 1:50,000.

Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1996. Carta Geológico-Minera, Hoja **F14-C44, Dolores Hidalgo, Gto.**, escala 1:50,000. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1998. Carta Geológico-Minera, Hoja **F14-C43, Guanajuato, Gto.**, escala 1:50,000. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1997. Carta Geológico-Minera, Hoja **F14-7, Guanajuato, Gto.**, escala 1:250,000. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1998. Carta Geológico-Minera, Hoja **F14-C45, Mineral de Pozos, Gto.**, escala 1:50,000. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1999. Carta Geológico-Minera, Hoja **F14-C46, Doctor Mora, Gto.**, escala 1:50,000. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1999. Carta Geológico-Minera, Hoja **F14-C54, San Miguel de Allende, Gto.**, escala 1:50,000. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Chiodi M., Monod O., Busnardo R., Gaspard D., Sánchez A. And Yta M. 1988. **Une discordance ante albiennne datée par une faune d'ammonites at brachiopodes de type Téthysien au Mexique Central.** Geobios. 21. P. 125-135.

Damon, P. E., Shafiqullah, M., y Clark, K. F., 1981. **Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis:** Instituto de Geología, Revista, v. 5, p. 223-238.

Dávila, A. V. M., y Martínez, R. J., 1987. **Una edad Cretácica para las rocas basales de la Sierra de Guanajuato.** Universidad Nacional Autónoma de México(abs.): Simposio sobre la Geología de la Región de Guanajuato, p. 19-20.

Demant, A., Mauvois, R., Silva, L., 1976. **Eje neovolcánico: Acapulco.** Mexico, Latin-American Geological Congress (3). Guide Bulletin. 4. 30 p.

Demant, A., 1978. **Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación.** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 2, p. 172-187.

Echegoyén-Sánchez J., Romero-Martínez S. y Velásquez-Silva S. 1970. **Geología y yacimientos minerales en la parte central del Distrito Minero de Guanajuato.** Consejo de Recursos naturales No Renovables. Boletín 75. México. pp. 36.

Edwards J. D. 1955. **Estudies of some early Tertiary red conglomerates of central Mexico.** U. S. Geological Survey Professional Paper 264-15. P. 153-185.

Eguiluz de Antuñano, S., Aranda-García, M., Randall, M., 2000. **Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México.** Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. v. LIII., p. 1-26.

Eliás-Herera M. and Ortega-Gutierrez, F. 1998. **The Early Cretaceous Arperos oceanic basin (western México).** Geochemical evidence for an aseismic ridge formed near a spreading center-Comment. Tectonophysics. 292. P. 321-326.

Ferrari, L., Garduño V. H., Pasquaré G., and Tibaldi A. 1994. **Volcanic and tectonic evolution of central Mexico: Oligocene to present.** Geofísica Internacional. Vol. 33. No. 1. p. 91-105.

Ferrari, Luca ; López Martínez, Margarita; Aguirre Díaz, Gerardo; Carrasco Núñez, Gerardo, 1999. **Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico; from the Sierra Madre Occidental to the Mexican volcanic belt:** Geology, v. 27, núm. 4, p. 303-306.

Ferrari, L., 2000. **Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década.** Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. v. LIII., p. 84-92.

Fries, C. Jr., Hibbard C. W. and Dunkle D. H. 1955. **Early Cenozoic vertebrates in the Red Conglomerate at Guanajuato, Mexico.** Smithsonian Miscellaneous Collection. Vol. 123. No. 7. pp. 25.

García, E., 1973. **Modificaciones al Sistema de Calsificación Climática de Köppen.** Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Gross, W. H., 1975. **New ore discovery and source of silver-gold veins, Guanajuato, Mexico: Economic Geology,** 70, 1175-1189.

Hasenaka T., Yosida T., Ishikawa K. Y Ramos-Salinas A. 1994. **Actividad Volcánica de la región de La Ordeña, México. Geoquímica y Mineralogía de las rocas volcánicas del inicio de la actividad volcánica del Cinturón Volcánico Mexicano.** Informe de Investigación del Centro de Investigaciones de Ciencias Nucleares. Japón. Vol. 27. No. 1. P. 27-40.

Hasenaka, T. y I. S. E. Carmichel, 1985. **The cinder ones of Michoacán-Guanajuato, Central Mexico; their age, volume and distribution, and magma discharge rate.** *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 25, 105-124.

Henry, C. D., y Aranda-Gómez, J. J., 1992. **The real southern Basin and Range: Mid- to late Cenozoic extension in Mexico: Geology,** v. 20, p. 701-704.

Johnson, C. A.; Harrison, C. G. A., 1990. **Neotectonics in central Mexico.** In, Papers in paleomagnetism and rock magnetism collected in honour of the late Daniel A. Valencio: Physics of the Earth and Planetary Interiors, v. 64, núms. 2-4, p. 187-210.

Johnson, C. A. Y Harrison, C. G. A., 1990, **Neotectonics in Central Mexico, Physics of the Heart and Planetary Interiors,** 64, p. 187-210.

Kowallis B. J., Swisher C. C., Carranza-Castañeda O., Miller W. E. and Tingey D. G. 1999. **Radiometric ages from fossil-bearing Pliocene sediments in central Mexico: Department of Geology, Brigham Young University, Provo, UT, USA 84602.**

Labarthe-Hernández G., y Tristán G. M., 1978. **Cartografía Geológica de la Hoja San Luis Potosí.** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico no. 59, 41 p.

Labarthe-Hernández G., y Aguillon-Robles, A., 1985. **Cartografía Geológica 1:50,000, Hoja Presa San Bartolo, Gto.** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico no. 104, 51 p.

Labarthe-Hernández G., Tristán G. M., Aguillon-Robles, A., Jiménez-López, L. S.; y 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 y Metalurgia, Folleto técnico no. 112, 76 p.

Labarthe-Hernández G., y Jiménez-López, L. S.; 1992. **Características Físicas y estructura de lavas e ignimbritas riolíticas en la Sierra de San Miguelito, S. L. P.** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico (Open-File Report) 114, 31 p.

Labarthe-Hernández G., y Jiménez-López, L. S.; 1994. **Geología de la porción sureste de la Sierra de San Miguelito, S. L. P.** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico (Open-File Report) 120, 34 p.

Labarthe-Hernández G., Tristán G. M., y Aranda-Gómez J. J., 1982. **Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del estado de San Luis Potosí.** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico (Open-File Report) 85, 208 p.

Labarthe-Hernández G., Tristán G. M., V. Julián Martínez R., 1983. **Estudio Geohidrológico de la Hoja Melchor, Edos. San Luis Potosí y Guanajuato.** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto técnico no. 92, 110 p.

Lapierre H., Tardy M., Coulon C., Ortiz-Hernández E., Bourdier J. L., Martínez-Reyes J. Et Freyrier C. 1992. **Caractérisation, genése et évolution géodynamique du terrain de Guerrero (Mexique Occidental).** Can. J. Earth Sci. 29. P. 2478-2489.

Lapierre, Henriette; Ortiz, Luis Enrique; Abouchami, Wafa; Monod, Olivier; Coulon, Christian; Zimmermann, Jean-Louis, 1992. **A crustal section of an intra-oceanic island arc; the Late Jurassic-Early Cretaceous Guanajuato magmatic sequence, central Mexico:** Earth and Planetary Science Letters, v. 108, núms. 1-3, p. 61-77.

Lara-Hernández E. E. 1986. **Cartografía geológica del área NW Hoja Aldama F14-C53, escala 1:50,000 Guanajuato, México.** Universidad Autónoma de Baja California Sur. Geología Marina. Tesis Profesional.

Luhr, J. F., Allan, J. F., Carmichael, I. S. E., Nelson, S. A., y Hasenaka, T., 1989. **Primitive calc-alkaline and alkaline rock type from the western Mexican Volcanic Belt**; *Journal of Geophysical Research*, v. 84 p. 4,515-4,530.

Luhr, J. F., 1997. **Extensional Tectonics and the diverse primitive volcanic rocks in the western Mexican Volcanic Belt**; *Canadian Mineralogist*, v. 35, p. 473-500.

Martínez-Reyes J. 1987. **Resumen de la geología y excursión a al Sierra de Guanajuato**; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Simposio sobre la geología de la región de la Sierra de Guanajuato, Guanajuato, Gto. Programa, resúmenes y guía de la excursión, p. 50-70.

Martínez-Reyes J. 1992. **Mapa geológico de la Sierra de Guanajuato, con resumen de la geología de la Sierra de Guanajuato**. Cartas geológicas y mineras 8. Mapa de escala 1:100,000 con texto explicativo en el reverso.

Martínez-Reyes J.; Vassallo-Morales, L. F., y Franco-Ibarra, F. de J., 1995. **Geología y potencial minero de la porción central poniente del Estado de Guanajuato; la zona de la exreserva minera "León-Guanajuato"**. Parte 1 Geología y metalogénesis de la Sierra de Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Estación Regional del Centro; Gobierno del Estado de Guanajuato, Secretaría de Desarrollo, Dirección de Promoción Minera, Folleto de Divulgación, 70 p. 1 mapa anexo.

Mc Dowell, F. W. Y Cabaugh, S. E., 1979. **Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of Western, Mexico**. Boulder, Colorado Geological Society of America, Special Paper, n. 180, p. 113-124.

Mc Dowell, F. W. Y Cabaugh, S. E., 1981. **The igneous history of the Sierra Madre Occidental and its relation to the tectonic evolution of western Mexico**. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 5, p. 195-206.

Miller, Wade E., and Carranza-Castañeda, Oscar, 1998. **The importance of late Tertiary Carnivores and Equids from Transmexican Volcanic Belt**. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, volumen 15, número 2, 1998; p 161-166; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.

Molnar, P., and Sykes, L. R., 1969. **Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity**. *Geologic Society of America Bulletin*, v. 80, p. 1639-1684.



Monod O., Lapierre H., Chiodi M., Martínez J., Calvet P., Ortiz E. Et Zimmermann J. L. 1990. **Reconstitution d'un arc insulaire intra-océanique au Mexique central: la séquence volcano-plutonique de Guanajuato (Crétacé inférieur).** Tectonique 310. Série II, p. 45-51.

Mugica-Mondragón, Raúl, y Albarrán-Jacobo, Jorge, 1983. **Estudio genético de las rocas ígneas y metamórficas del Altiplano:** D.F. Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección Exploración, Proyecto C-1156, informe, 78 p. (inédito).

Nieto-Samaniego, A. F., 1990. **Fallamiento y estratigrafía cenozoicos en la parte sudoriental de la Sierra de Guanajuato.** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 9, núm.2, pp. 146-155.

Nieto-Samaniego, A. F.; García-Dobarganes, Bueno J. E. y Aguirre-Maese, A. L., 1992. **Interpretación estructural de los rasgos geomorfológicos principales de la Sierra de Guanajuato.** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol.10, núm. 1, pp. 1-5.

Nieto-Samaniego, A. F. y Alaniz-Álvarez, S. A., 1994: **La Falla de San Miguel de Allende: características y evidencias de su actividad cenozoica.** Tercera Reunión Nacional de Geomorfología, Guadalajara, Jal., México, (Abstracts), p. 139-142.

Nieto-Samaniego, A. F.; Macías-Romo, C. y Alaniz-Álvarez, S.A. 1996. **Nuevas edades isotópicas de la cubierta volcánica cenozoica de la parte meridional de la Mesa Central, México.** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 13, núm. 1, pp. 117-122.

Nieto-Samaniego, A. F.; Alaniz-Álvarez, S. A. y Labarthe-Hernández, G. L., 1997. **La Deformación cenozoica poslaramídica en la parte meridional de la Mesa Central, México.** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 14, num.1, pp. 13-25.

Nieto-Samaniego, A. F., Ferrari, L., Alaniz-Álvarez, S. A. y Labarthe-Hernández, G. L. y Rosas-Elguera, J. G. 1999. **Variation of Cenozoic extension and volcanism across the southern Sierra Madre Occidental volcanic province, Mexico.** Geologic Society of America Bulletin, v. 111, p. 347-363.

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J. Mórán-Zenteno, D., Alaniz-Álvarez, S. A. y Nieto-Samaniego, A. F., 1992. **Carta Geológica de la República Mexicana (1:2,000,000):** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa y texto explicativo.

Pardo, M., y Suárez, G., 1995. **Shape of the subducted Rivera and Cocos Plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications: Journal of Geophysical Research**, v. 100, núm. B7, p. 12,357-12,373.

Ortiz-Hernández L. E. and Martínez-Reyes J. 1993. **Evidence of cretaceous hot-spot intra-plate magmatism in the Central segment of the Guerrero terrane. Proceedings of the First Circum Pacific and Circum Atlantic terrane Conference.**

Ortiz-Hernández L. E., Yta M., Talavera O., Lapierre H., Monod O. Et Tardy M. 1991. **Origine intra-océanique des formations volcano-plutoniques d'arc du Jurassique supérieur-Crétacé inférieur du mexique centro-méridional. Géologie 312. Série II, p. 399-406.**

Pasquaré, G., F. Camacho A. y R. Canul D., 1984. **Estudio geológico regional de la porción NW de Michoacán y SW de Guanajuato. Informe 27/84, Depto. Explo., CFE. Inédito.**

Pasquaré, G., Ferrari, L., Garduño, V. H., Tibaldi, A. and Vezzoli, L., 1991. **Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacán, México. Geological Society of America, Map and Chart Series, MCH 072, 1 sheet, 21p. Text.**

Pérez-Venzor, J. A.; Aranda-Gómez, J. J.; Mc Dowell, F. y Solorio Munguía, J. G., 1996. **Geología del Volcán Palo Huérfano, Guanajuato, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista de Ciencias Geológicas, vol.13, núm. 2, pp. 174-183.**

Quintero-Legorreta, O., 1992. **Geología de la región de Comanja, Estados de Guanajuato y Jalisco, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 10, núm. 1, pp. 6-25.**

Ramos-Salinas, A., and Flores, C. S., 1994. **La caldera excéntrica La Ordeña, Salamanca, estado de Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la evolución geológica de México, Primer Cong. Mex. Mineral., Memorias, p. 167-171.**

Randall J. A., 1982. **Contacto entre el Terciario y el Mesozoico, Distrito de Guanajuato, Gto.: Sociedad Geológica Mexicana, Convención Geológica Nacional, 6, México, D. F., Resúmenes (resumen).**

Randall J. A., Saldaña A. E. and Clark K. F. 1994. **Exploration in a Volcano Plutonic Center at Guanajuato, México. Economic Geology. Vol. 89. P. 1722-1751.**

Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, 1981. **Síntesis Geográfica de Guanajuato: México, D.F., Secretaría de**

Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, 198., anexo cartográfico con 17 mapas.

Suter, M., 1990. **Hoja Tamazunchale 14Q-e(5), con Geología de la Hoja Tamazunchale, Estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, con texto explicativo que acompaña al mapa, 58 p., 1 lám. en color.** Carta Geológica de México, serie de 1:100,000 Inst. de Geología, UNAM.

Suter, M.; Quintero, O.; López, M., Aguirre G., y Farrar, E., 1995a. **The Acambay graben-active intra-arc extension in the Transmexican Volcanic Belt, Mexico.** *Tectonics*, 14, p. 1,245-1,262.

Suter, M.; Carrillo, M.; López, M.; y Farrar, A., 1995b. **The Aljibes half-graben, active extension at the boundary between the Transmexican Volcanic Belt and the southern Basin and Range.** *Geological Society of America Bulletin*, 107, p. 627-641.

Urrutia-Fucugauchi, J., y del Castillo-García, L., 1977. **Un modelo del Eje Volcánico Mexicano: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 38, p. 18-28.**

Valdéz-Moreno G., Aguirre-Díaz G. J. y López-Martínez M. 1998. **El volcán La Joya, estados de Querétaro y Guanajuato—Un estratovolcán miocénico del Cinturón Volcánico Mexicano.** *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología y Sociedad Geológica Mexicana. Vol. 15. No. 2. p. 181-197.*

Vassallo-Morales, L. F.; Martínez-Reyes, J. y Pierre Paris, J., 1996. **Estructuras Circulares y lineales en el distrito minero de Guanajuato, México y su significado en la prospección minera.** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 13, núm. 2, pp. 252-257.

Vassallo-Morales, L. F., Solís S. y Garduño, C., 1998. **Geología de la Sierra de los Cuarzos, Límite "Guanajuato-Querétaro".** Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra. Libro de Resúmenes, p 107.

Vassallo-Morales, L. F., 1998. **Cartografía geológica 1:50,000 de la Sierra de los Cuarzos, (Inédito).**

Zimmermann, J. L., Stein, G., Lampierre, Henriette, Vidal, Raúl, Campa, M. F., y Monod, Olivier, 1990. **Données géochronologiques nouvelles sur les granites laramiens du centro et de l'ouest du Mexique (Guerrero et Guanajuato):** *Société Géologique de France, Réunion des Sciences de la Terre*, 13, Grenoble, Francia, p. 127 8resumen).