

00364



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

=====

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**LITOESTRATIGRAFÍA DE LA SIERRA DE CATORCE,
SAN LUIS POTOSÍ**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS (GEOLOGÍA)

P R E S E N T A:
PÁNFILO RAYMUNDO MARTÍNEZ MACÍAS

México, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

CONTENIDO

	Página
CONTENIDO	i
ILUSTRACIONES	iv
RESUMEN	vi
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
Capítulo	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Estudios Anteriores.....	4
1.3. Material y Método.....	9
2. MARCO GEOGRÁFICO	13
2.1. Localización y Acceso.....	13
2.2. Geomorfología.....	15
2.2.A. Descripción de Zonas Geomorfológicas.....	18
2.2.A.1. Zona: Montañas plegadas de Real de Catorce.....	20
2.2.A.2. Zona: Piedemonte de la Paz.....	22
2.2.A.3. Zona: Planicie de nivel de base Cedral.....	23
2.3. Población y Cultura.....	28
2.3.A. Historia de la Región.....	28
2.3.B. Economía.....	29
3. ESCENARIO GEOLÓGICO REGIONAL	33
Introducción.....	33
Eratema Mesozoico.....	36
Eratema Cenozoico.....	38
Rasgos Geológicos-Estructurales Principales.....	39

	Página
<i>UNIDAD INFORMAL METAMÓRFICA EL FRAILE</i>	
<i>(Taxon Litoestratigráfico Nuevo)</i>	114
<i>UNIDAD INFORMAL BASALTO LA DESCUBRIDORA</i>	
<i>(Taxon Litoestratigráfico Nuevo)</i>	117
4.2.B. Sistema Cuaternario	119
DEPÓSITOS ALUVIALES	119
5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	121
5.1. Pliegues.....	121
5.2. Décollement.....	123
5.3. Fallas y Fracturas.....	124
5.4. Consideraciones Sobre el Origen, Evolución y Significado Regional.....	126
5.4.A. Origen y Dirección de Esfuerzo.....	126
5.4.B. Secuencia y Edad de Eventos Tectónicos.....	128
5.4.C. Significación Regional.....	129
6. HISTORIA GEOLÓGICA LOCAL Y SUS IMPLICACIONES REGIONALES	131
<i>Historia local</i>	131
<i>Correspondencia regional</i>	133
SUMARIO Y CONCLUSIONES	139
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
APÉNDICE	154
REPORTE. 1. Secciones Medidas en Fm. Real de Catorce	154
1.1. Formación Real de Catorce (secuencia de arcosas).....	154
1.2. Formación Real de Catorce (secuencia conglomerática).....	154
REPORTE. 2. Descripciones Petrográficas	155
2.1. Muestra C-3.....	155
2.2. Muestra C-1.....	161
2.3. Muestra C-R.....	167

ILUSTRACIONES

Figura	Página
1. Mapa Índice de Trabajos Previos.....	6
2. Mapa Índice de Fotografías Aéreas.....	10
3. Mapa de Localización.....	14
4. Mapa de Clima (mayo-octubre).....	26
5. Mapa de Clima (noviembre-abril).....	27
6. Mapa de Provincias Geológicas de la República Mexicana.....	35
7. Tabla de Correlación Estratigráfica.....	55
8. Columna Estratigráfica Compuesta de la Sierra de Catorce, S.L.P.....	56
9. Mapa de Afloramientos de Capas Rojas preoxfordianas en el Centro Septentrional de México.....	66
10. Mapa de Provincias Morfotectónicas de México.....	130

Lámina

I. Mapa Hipsométrico de la Sierra de Catorce.....	16
II. Mapa de Zonas Geomorfológicas.....	19
III. Mapa Geológico de la Sierra de Catorce, S.L.P., esc. 1:50,000. (en sobre)	
IV. Mapa Geológico de la Sierra de Catorce, S.L.P., esc. 1:25,000. (en sobre)	
V. Secciones Estructurales, esc. 1:50,000..... (en sobre)	
VI. Fm. Zacatecas y unidad informal toba Cañón General, 1: Litología.....	75
VII. Formación Real de Catorce, 1: Litología y Relaciones Estratigráficas.....	76
VIII. Formación Zuloaga, 1: Litología y Relaciones Estratigráficas.....	89
IX. Formaciones La Caja y Taraises, 1: Litología y Relac. Estratigráficas.....	90
X. Panorámica de Real de Catorce: Contactos Geológicos.....	91
XI. Rasgos Estructurales.....	127
XII. Formación Zacatecas, 2: Petrografía (A).....	158

Lámina	Página
XIII. Formación Zacatecas, 3: Petrografía (B).....	159
XIV. Formación Zacatecas, 4: Petrografía (C).....	160
XV. Unidad informal toba Cañón General, 2: Petrografía (A).....	163
XVI. Unidad informal toba Cañón General, 3: Petrografía (B).....	164
XVII. Unidad informal toba Cañón General, 4: Petrografía (C).....	165
XVIII. Unidad informal toba Cañón General, 5: Petrografía (D).....	166
XIX. Formación Real de Catorce, 2: Petrografía (A).....	169
XX. Formación Real de Catorce, 3: Petrografía (B).....	170

RESUMEN

La Sierra de Catorce se localiza en la parte septentrional del Estado de San Luis Potosí; es parte de la Sierra Madre Oriental (Subprovincia Morfotectónica de Pliegues Espaciados), y se ubica en la Provincia Geológica Zacatecana; geomórficamente incluye tres zonas: Montañas plegadas de Real de Catorce, Piedemonte de La Paz y Planicie de nivel de base de Cedral.

La secuencia estratigráfica del área consta de 14 unidades litoestratigráficas, nueve de éstas se reconocieron inequívocamente fuera de su localidad tipo; estas son las formaciones Zacatecas, Zuloaga, La Caja, Taraises, Tamaulipas, Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe y Méndez. Las otras cinco que se proponen tienen carácter informal; estas son las unidades jurásicas “toba Cañón General” y Formación Real de Catorce y las unidades informales cenozoicas “tronco La Paz”, “metamórfica El Fraile” y “basalto La Descubridora”. El estudio realizado muestra que la “toba Cañón General” y Formación Real de Catorce, son correlacionables parcialmente con las formaciones Nazas, La Boca y La Joya del centro y este de México. También, se indica la existencia de dos etapas magmáticas. La primera ocurrió en la Sierra de Catorce, relacionada con los diques existentes de cuarzomonzonita, con una edad de 53.4 Ma, Eoceno Temprano. La segunda asociada con la intrusión de La Paz, de composición granodiorítica, con una edad de 35.7 ± 1 Ma, Oligoceno Temprano; ambas etapas generaron los yacimientos minerales del área.

Una bien definida superficie de *décollement* separa a las secuencias pre y pos-oxfordianas; las unidades que integran a esta última forman pliegues abiertos, excepto las Formaciones Cuesta del Cura y Méndez, que exhiben pliegues muy apretados. La Sierra de Catorce es un pilar tectónico constituido por un anticlinorio de orientación N-S, con buzamiento al N, limitado al oriente y poniente por fallas normales. El sistema de fallas se destaca por los trazos rectilíneos de los rasgos geomorfológicos correspondientes y por las acentuadas discontinuidades estratigráficas observadas entre los distintos bloques estructurales presentes en el área.

Los procesos tectónicos registrados en la Sierra de Catorce y zonas adyacentes, reflejan procesos regionales. Durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, la convergencia de la Placa Kula bajo la de Norteamérica produjo una zona de subducción y el desarrollo de un arco volcánico, cuyo registro es la "unidad informal toba Cañón General". En el Jurásico Temprano terminal-Jurásico Medio inicial, debió continuar el proceso de extensión cortical continental relacionado con la disgregación de Pangea, produciéndose un conjunto de pilares y fosas tectónicas; en estos últimos se acumularon los depósitos fluviales de las capas rojas que integran a la Formación Real de Catorce. El adelgazamiento cortical inherente a la extensión y el hundimiento concomitante continuaron, ello permitió que durante el Oxfordiano ocurriese una transgresión marina en dirección SW-NE, proveniente del Océano Pacífico, que invadió inicialmente las zonas bajas, hasta generalizar una plataforma estable. Este acontecimiento quedó registrado con las formaciones Zuloaga y La Caja. Después la plataforma se hundió paulatinamente, hasta adquirir características de cuenca, en la cual se depositan las formaciones Taraises, Tamaulipas, Cuesta del Cura, Agua Nueva y San Felipe; al finalizar el Cretácico Tardío, la cuenca alcanzó su colmatación sedimentaria con la Formación Méndez.

Por otra parte, se considera que la Orogenia Larámide tuvo lugar en dos fases: la primera es compresiva, ocurrió durante el Eoceno Temprano-Medio, y causó el plegamiento regional de la cobertura carbonatada (de dirección preferencial N 10° E y N 20° E) y su *décollement*. La segunda fase fue extensional, ocurrió hacia el Eoceno Medio-Oligoceno Temprano, produjo el fallamiento normal en el área y la actividad magmática en el Cerro El Fraile, a la cual se asocia la mineralización económica.

DEDICATORIA

A Lupita mi Esposa, por su paciencia y comprensión.

A mis Hijos, Pánfilo Raymundo, Alejandra y Carlos César, con admiración y respeto.

“Sentir gratitud y no expresarla es como envolver un regalo y no darlo”

William Arthur Ward

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca, DIRECTOR de TESIS, por su apoyo decidido e incondicional que me ofreció durante mis estudios de posgrado y durante el desarrollo del proyecto de tesis.

A los Señores: Dr. Zoltan de Cserna y Dr. José I. Lugo Hubp, por la transmisión de sus conocimientos durante mi formación académica.

A los Honorable Investigadores: Dra. Gloria Alencaster Ibarra, Dra. Ana Bertha Villaseñor Martínez, Dr. Ricardo Barragán Manzo y Dr. Rafael Barboza Gudino; quienes con sus observaciones y sugerencias enriquecieron el presente trabajo.

Al personal de biblioteca: Lic. Teresa Soledad Medina Malagon y Lic. Ofelia Barrientos Bernabé, por su entusiasmo y apoyo en la búsqueda del acervo bibliográfico.

Para Sra. Angelina Martínez y Lic. José Ángel Gutiérrez, por su apoyo y hospitalidad en esa interesante Ciudad de México.

A todos Ustedes ¡ G R A C I A S ¡

“La joya no puede ser pulida sin fricción, ni el hombre perfeccionarse sin dificultades”

Proverbio chino

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La Sierra de Catorce, San Luis Potosí septentrional, ha atraído desde hace mucho tiempo la atención de los geólogos (Del Castillo y Aguilera, 1895; Burckhardt, 1905; Baker, 1922; Erben, 1956, etc.) por los yacimientos minerales que aloja, por la abundante y variada fauna marina de la secuencia carbonatada que en buena parte la integra, y por la significación regional que tiene el registro lítico y estructural ahí conservado, que se relaciona con la evolución tectónica asociada al desmembramiento de Pangea, la apertura del Golfo de México, la transgresión marina jurásica-cretácica, y la deformación laramídica. Sin embargo, la diferenciación y caracterización estratigráfica de las distintas unidades presentes ahí, todavía reflejan concepciones e Interpretaciones no sólo diferentes, sino contrastantes. Se pueden citar diversos ejemplos: Bacon (1978), asigna al Paleozoico Tardío los sedimentos arcillo-arenosos deformados, que afloran en el área, los cuales han sido fechados tradicionalmente como del Triásico Tardío (Barboza-Gudiño, 1989). Asimismo, los afloramientos de derrames volcánicos preoxofordianos, se han reconocido en diversos trabajos como la Formación Nazas; en el presente trabajo fue designada como unidad informal "toba Cañón General". Las capas rojas expuestas en la región, se han definido y asociado en otros estudios como parte de la Formación Nazas. Por otra parte se han identificado como el Grupo Huizachal (Belcher, 1979), Formación La Boca y Formación La Joya (Mixon *et al.*, 1959). Estos antecedentes evidencian un problema, el cual parece derivar de la falta de una discriminación cartográfica geológica de las distintas unidades estratigráficas, de modo que se pueda conocer con precisión su espesor, composición,

estructura y relaciones estratigráficas, y a partir de descripciones objetivas, se pueda apreciar su verdadera significación regional. El presente estudio contribuye a subsanar ésta deficiencia. A continuación se ejemplifican algunos de los problemas que se abordan en este estudio.

Las rocas volcánicas y las capas rojas del Jurásico Temprano, que afloran en la Sierra de Catorce, fueron descritas anteriormente en estudios regionales, como unidades litoestratigráficas (Formación y Grupo), con base en los objetivos de las cartografías realizadas y de acuerdo con la escala de su aplicación. En lo sucesivo se propone definir a las rocas volcánicas como unidad informal toba Cañón General, en vez de utilizar la nomenclatura tradicional de Formación Nazas. También se propone definir con el nombre de Formación Real de Catorce, a las capas rojas que afloran en el área, por tratarse de una unidad fluvial depositada en una cuenca continental, similar a otros depósitos contemporáneos como las Formaciones La Boca y La Joya, las cuales se encuentran ampliamente extendidas hacia el norte-noreste de México. Lo anterior con el afán de obtener objetivamente un reconocimiento inequívoco de las unidades propuestas, basado en sus diferencias litoestratigráficas, las cuales expresan dos eventos distintos, uno volcánico y otro sedimentario de carácter fluvial respectivamente, ambos ocurridos en etapas diferentes, lo cual contribuirá a explicar su pertenencia a los elementos paleogeográficos correspondientes y a un entendimiento de su historia geológica regional.

1.1. Objetivos

Considerando que en la Sierra de Catorce, se encuentran algunos de los pocos afloramientos de unidades preoxfordianas reportadas en el Estado de San Luis Potosí y que su evolución geológica es aún poco conocida, a pesar del gran número de estudios publicados sobre la misma, se consideró necesario realizar un análisis estratigráfico-estructural, mediante el cual se integre parsimoniosamente tanto la información disponible como la que se genere *ex profeso*, con el propósito de contribuir a mejorar el entendimiento de la evolución geológica local y regional. Al efecto se establecieron los siguientes objetivos:

1.- Generar un mapa geológico detallado de la Sierra de Catorce, que permita discriminar la secuencia estratigráfica completa, que sirva como base en estudios geológicos posteriores, así como utilizar esta información estratigráfica en la correlación objetiva con secuencias estratigráficas presentes en otras regiones.

2.- Realizar un reconocimiento riguroso de las unidades litoestratigráficas fuera de su localidad tipo, con una descripción real de las relaciones estratigráficas que mantienen los diferentes cuerpos de roca, mostrando los espesores verdaderos que se exhiben en afloramientos, así como la verificación y el análisis de la descripción litológica, arreglo interno de los estratos y su contenido fósil. Esto permitirá inferir confiablemente su ambiente sedimentario.

3.- Aportar información sobre la presencia, distribución, naturaleza y clasificación de las unidades litoestratigráficas preoxfordianas expuestas en el área de estudio, que

pueda utilizarse en la interpretación de su evolución geológica regional. Se enfatiza el interés en los derrames volcánicos y las capas rojas en términos de su ubicación estratigráfica, porque a pesar de la gran significación geológica regional que tienen, tanto la posición estratigráfica como las relaciones espacio-temporales precisas de las mismas, ha sido objeto de controversia.

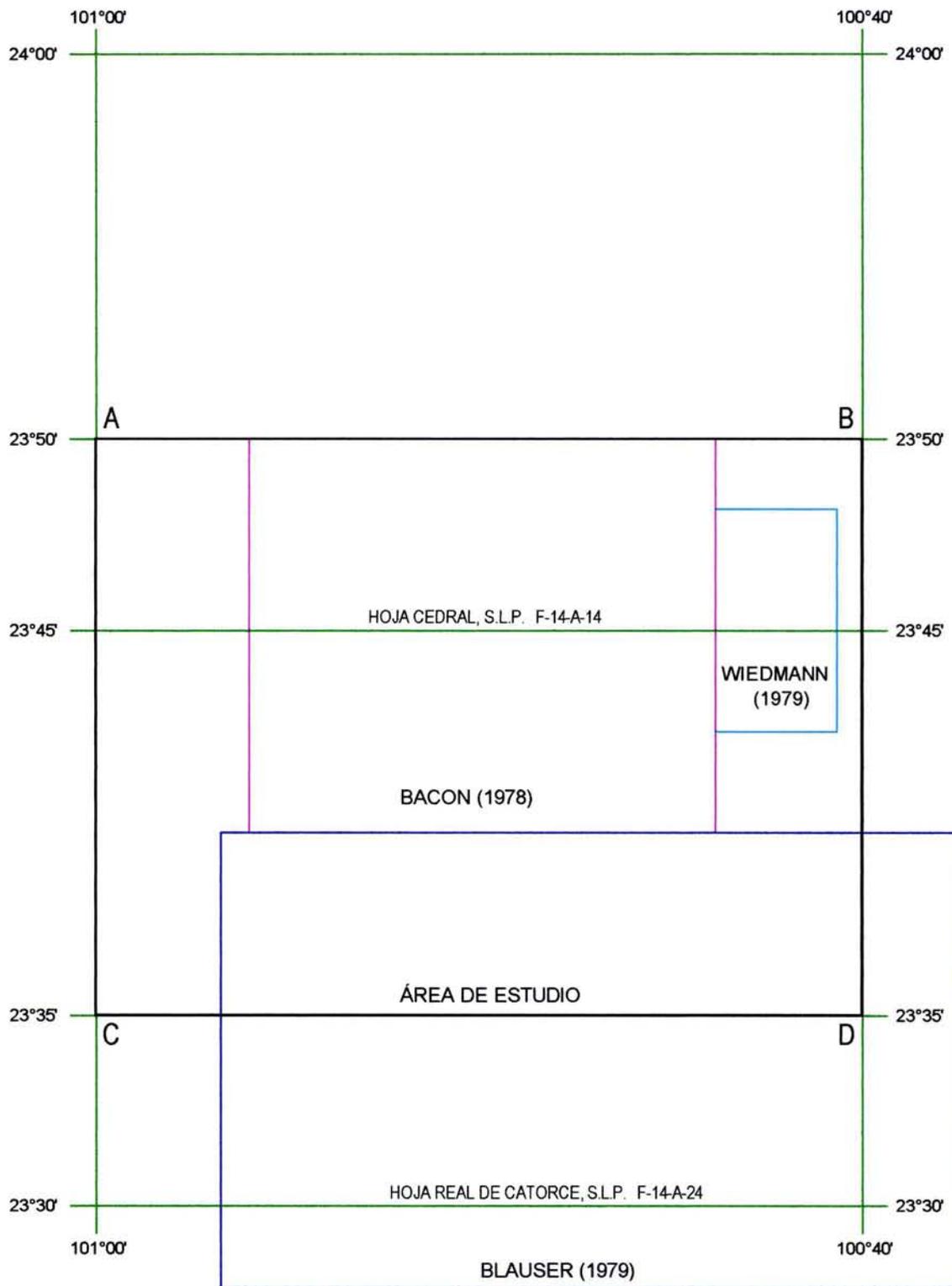
4.- Identificar los rasgos estructurales que inciden en la configuración y expresión de las unidades litoestratigráficas y geoformas del terreno, reconociendo estructuras geológicas de escala mediana y grande, para decidir si existe algún patrón de agrupamiento, si corresponden a uno o más estilos de deformación, si representan una o más fases de deformación, y establecer una correlación de las edades con los eventos ocurridos en la actividad tectónica regional.

5.- Establecer la significación regional de los rasgos geológicos del área, cuya constitución y estructura está ligada con la evolución geológica tectónica de Norteamérica meridional y con el desmembramiento de Pangea. Ello contribuirá a mejorar el entendimiento que se tiene al respecto.

1.2. Estudios Anteriores

La región donde se ubica el área de estudio, ha sido escenario de trabajos diversos con propósitos particulares: Paleontología, Estratigrafía, Cartografía Geológica y Geología Económica-Minera. Se han seleccionado y revisado detenidamente los que tienen relación estrecha con los objetivos que aquí se persiguen. También se revisaron estudios realizados en zonas aledañas al área en cuestión, los cuales contribuyen al

enriquecimiento de la información geológica para establecer un panorama regional más claro (Fig. 1).



* CUADRICULA BASE TOMADA DE INEGI

Figura 1. Mapa Índice de Trabajos Previos

A continuación se presentan en orden cronológico los trabajos clásicos y contemporáneos, relacionados con las unidades preoxfordianas del área de estudio: Del Castillo y Aguilera (1895), en su estudio paleontológico de la "Fauna fósil de la Sierra de Catorce", confirmaron la existencia del Jurásico en México (posteriormente asociada a la Formación La Caja). Burckhardt (1905), en su estudio "La faune marine du Trias Supérieur de Zacatecas", describe fósiles del Triásico en el Arroyo de la Calavera al oeste de la Ciudad de Zacatecas, donde afloran rocas verdes y esquistos. Baker (1922), Es el primero en anunciar la presencia de capas rojas, en su estudio geológico del distrito minero de Catorce. Mixon *et al.*, (1959), en su estudio "Age and Correlations of Huizachal Group (Mesozoic) State of Tamaulipas, Mexico", proponen nombres formales para dos unidades de capas rojas que afloran en la región de Ciudad Victoria, Tamps.: Formación La Boca, del Triásico Tardío y Formación La Joya del Jurásico, ambas formaciones las integra en el Grupo Huizachal. Bacon (1978), asigna una edad Paleozoico Tardío para las rocas con deformación avanzada y más antiguas de la Sierra de Catorce, con base en una comunicación personal con Gerhard (1977), quien identificó las esporas *Lycospora* sp. y *Densosporites* sp., del Mississipico Tardío al Pensilvánico Tardío. Posteriormente, Barboza-Gudiño (1989), reconoce a la misma unidad como Formación Zacatecas, del Triásico Tardío, (descrita en el presente estudio como Formación Zacatecas); a la vez, describe capas rojas del Jurásico Medio como Formación La Joya. Anteriormente (Belcher, 1979), expone el ambiente de depósito, paleomagnetismo, y significancia tectónica de las capas rojas del Grupo Huizachal que afloran en la Sierra Madre Oriental. Michalzik (1986), adelanta en su trabajo de la estratigrafía y paleogeografía del noreste de la Sierra Madre Oriental, que el relleno de las capas rojas de la Formación Huizachal en fosas tectónicas, está relacionado con la

apertura inicial del sistema Golfo-Atlántico. Un estudio con el aporte de fechamientos para las capas rojas, es el de Clark y Hopson (1986), quienes estudian fauna de vertebrados encontrada en el Cañón del Huizachal, ubicado a 20 km al suroeste de Ciudad Victoria, Tamps. Ahí, identificaron a los vertebrados como esfenodontes, los cuales sirvieron para ubicar a la Formación La Boca, en el Jurásico Temprano-Medio.

También se citan diversos trabajos realizados con anterioridad en el área, donde destacan: Del Castillo y Aguilera (1895); Verma and Westermann (1973); Blausen (1979); Ice (1979); Ross (1979); Villaseñor-Martínez *et al.*, (1991); Centeno-García y Silva-Romo (1997); Franco-Rubio (1999); Olóriz *et al.*, (1999); Zavala-Monsivais (2000) y Gómez-Anguiano (2001). Se revisaron minuciosamente estos estudios y fueron considerados de importancia en el presente trabajo, para el análisis en estratigrafía y su evolución tectónica que guarda el área de estudio y su significación en el contexto geológico regional.

Los trabajos citados anteriormente, constituyen un aporte científico para la geología de la región centro-septentrional de México, los cuales fueron utilizados como un soporte en el análisis geológico regional, el cual se expone en el presente documento como marco de referencia, que permita señalar tan objetivamente como sea posible, el comportamiento de las unidades preoxfordianas y la cobertura marina del Mesozoico, así como su génesis y su evolución tectónica.

1.3. Material y Método

Para la cartografía geológica se utilizaron fotografías aéreas de ejes verticales, en blanco y negro, en escalas 1:25,000 y 1:75,000, tomadas por CETENAL (actualmente INEGI); las de escala mayor incluyen 7 líneas y 103 fotografías en dirección oriente-poniente (Fig. 2), y las de escala menor 3 líneas con 22 fotografías en dirección norte-sur. Como mapa-base se usaron las Hojas Topográficas: Cedral F-14-A-14 y Real de Catorce F-14-A-24 en escala 1:50,000, editadas por INEGI. La fotointerpretación se hizo mediante el uso de un estereoscopio de espejos con binoculares 3X y la restitución geológica fue trabajada con un estereosketch.

El trabajo se realizó en dos etapas: las actividades en gabinete se iniciaron con la confección de un mapa hipsométrico, donde se utilizó un mapa topográfico en escala 1:50,000 como mapa-base, para comprender el comportamiento del relieve en sentido de la profundidad del terreno (tercera dimensión), dicho mapa fue considerado en el estudio estructural. También se hizo un análisis geomorfológico con base en el entorno físico y recursos naturales de la región. Posteriormente, fueron seleccionadas las fotografías aéreas en escala 1:25,000, para la interpretación de rasgos hidrográficos, contactos geológicos, datos estructurales, pliegues, fallas, fracturas y datos culturales.

Por otra parte, se realizaron las actividades en campo, iniciando con un reconocimiento preliminar de campo para establecer criterios a usar en la fotointerpretación geológica; se identificaron las unidades estratigráficas que afloran en la Sierra de Catorce, para su análisis posterior con las secuencias estratigráficas existentes en otras localidades de la Provincia Geológica Cinturón Orogénico de Pliegues y Fallas; a la vez, se establecieron los caminamientos para verificación de campo, con base en las vías de comunicación existentes.

Durante la verificación de campo, al realizar el levantamiento geológico regional, se colectaron muestras de roca representativas de las unidades litoestratigráficas para confirmar su contenido litológico, con énfasis en las Formaciones Zacatecas, unidad informal toba Cañón General y Formación Real de Catorce, las cuales se analizaron por petrografía (el apéndice petrográfico se anexa al final del texto). A la vez se colectaron e identificaron fósiles macroscópicos en rocas carbonatadas, así como huellas de organismos en rocas arcillo-arenosas, los cuales se utilizaron para apoyar el

establecimiento de la secuencia estratigráfica de la Sierra de Catorce; también se observaron las estructuras geológicas sobresalientes donde se obtuvieron datos estructurales para obtener la orientación de estructuras y dirección de esfuerzos; finalmente se hicieron mediciones de unidades estratigráficas para la confección de una columna estratigráfica compuesta.

Los trabajos iniciales de campo y gabinete se realizaron durante un periodo de doce meses entre los años 1994 y 1995. El levantamiento cartográfico inicial tomó dieciséis semanas; entre 1996-2002 se han hecho visitas periódicas durante los ciclos escolares con alumnos de licenciatura de la carrera de Ingeniero Geólogo, que permitieron resolver cuestiones particulares, así como realizar observaciones de carácter demostrativo en las materias de Estratigrafía, Geomorfología y Estructural, ya que el escenario geológico es representativo de la zona centro septentrional de México.

CAPÍTULO 2

MARCO GEOGRÁFICO

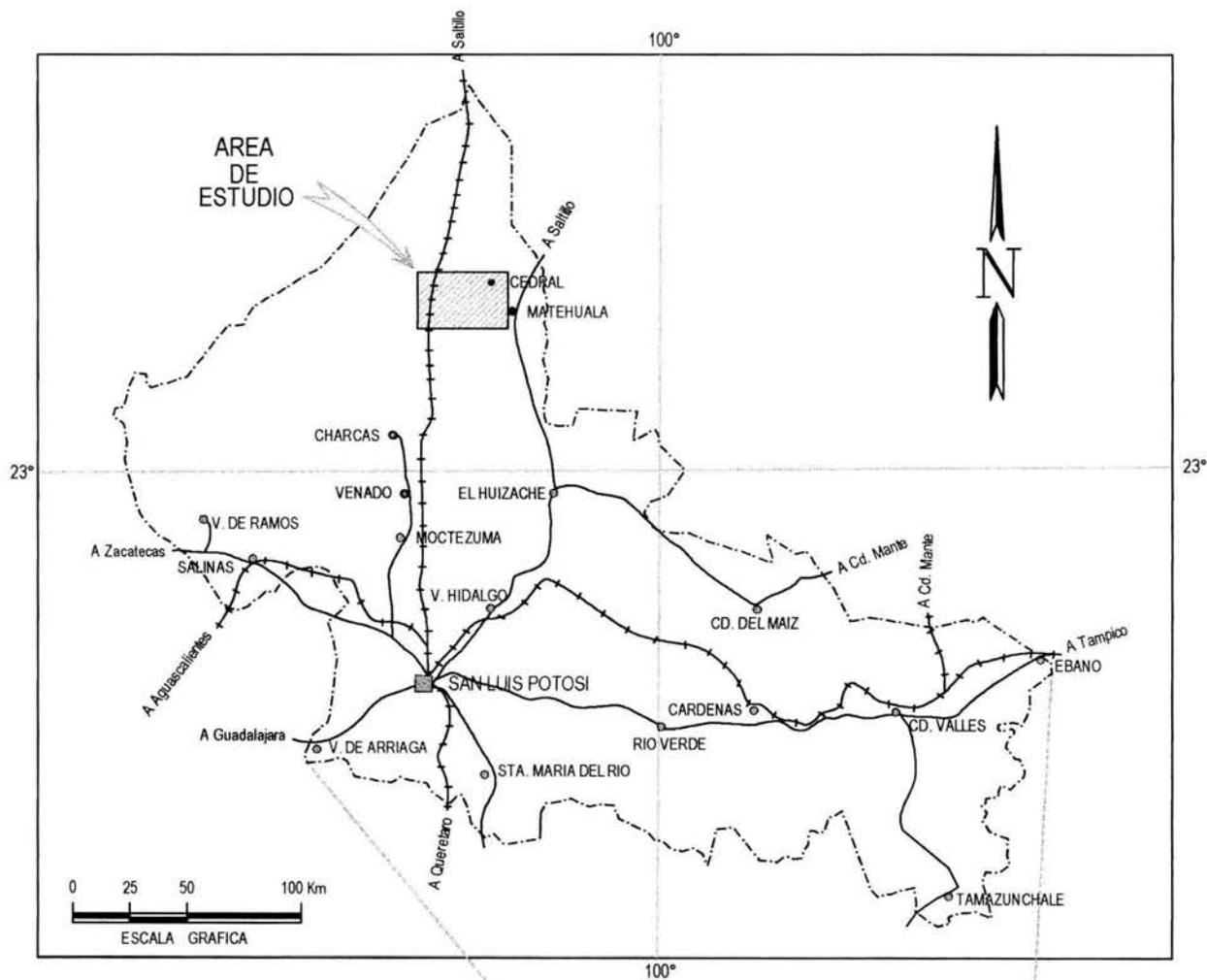
2.1. Localización y Acceso

El área de estudio es un rectángulo de 940 km²; ocupa parte de las hojas INEGI Cedral F14-A14 y Real de Catorce F14-A24, escala 1:50,000. La parte norte-central de la Sierra de Catorce, ubicada inmediatamente al occidente de la ciudad de Matehuala, S.L.P.; en la zona se encuentran estas poblaciones principales: Real de Catorce, Cedral, La Paz, Vanegas, Estación Catorce y Wadley (Fig. 3).

Las vías de acceso que comunican la región son: al occidente de la Sierra de Catorce por la vía férrea México-Nuevo Laredo en el tramo San Luis Potosí-Monterrey. Al oriente por la carretera federal 57, al norte por la carretera estatal que comunica las ciudades de Matehuala, S.L.P. y Concepción del Oro, Zac., de donde se desprende un camino rústico de empedrado (entre Cedral y Vanegas) para comunicar a Real de Catorce.

Las coordenadas geográficas que limitan el rectángulo de estudio son:

Vértice	Paralelos	Meridianos
	Latitud norte	Longitud oeste
A	23° 50'	101° 00'
B	23° 50'	100° 40'
C	23° 35'	101° 00'
D	23° 35'	100° 40'



EXPLICACION

-  LIMITE DE ESTADO
-  CARRETERA FEDERAL
-  FERROCARRIL



Figura 3. Mapa de Localización

2.2. Geomorfología

Las características descritas para las geoformas que exhibe la Sierra de Catorce, son el resultado de observaciones de campo, y de un análisis de los rasgos topográficos que presenta el mapa hipsométrico (Lám. I).

La elevación de la montaña toma como base la curva topográfica de 2,100 msnm, y alcanza una altura de 3,180 msnm en el Cerro Grande. El predominio de geoformas es, cerros abruptos con diseños de ondulaciones que modelan calizas y calizas arcillosas pertenecientes a la cobertura marina posoxfordiana. El desarrollo de drenaje es dendrítico y espaciado, fluyen en dirección hacia los bordes de la sierra, con disecciones muy marcadas, sobre todo hacia la parte norte y oeste, donde los ríos se manifiestan como barrancas profundas y exponen afloramientos de las rocas con deformación avanzada de la Formación Zacatecas, la cual se caracteriza por sus geoformas abruptas y escarpadas; también se exponen los sedimentos continentales del Mesozoico, espectaculares por su coloración rojiza y sus formas suaves y onduladas. La disección más profunda y amplia es la barranca que ocupa el Arroyo de Matanzas, donde se observan desniveles topográficos fuertes, hasta de 500 m.

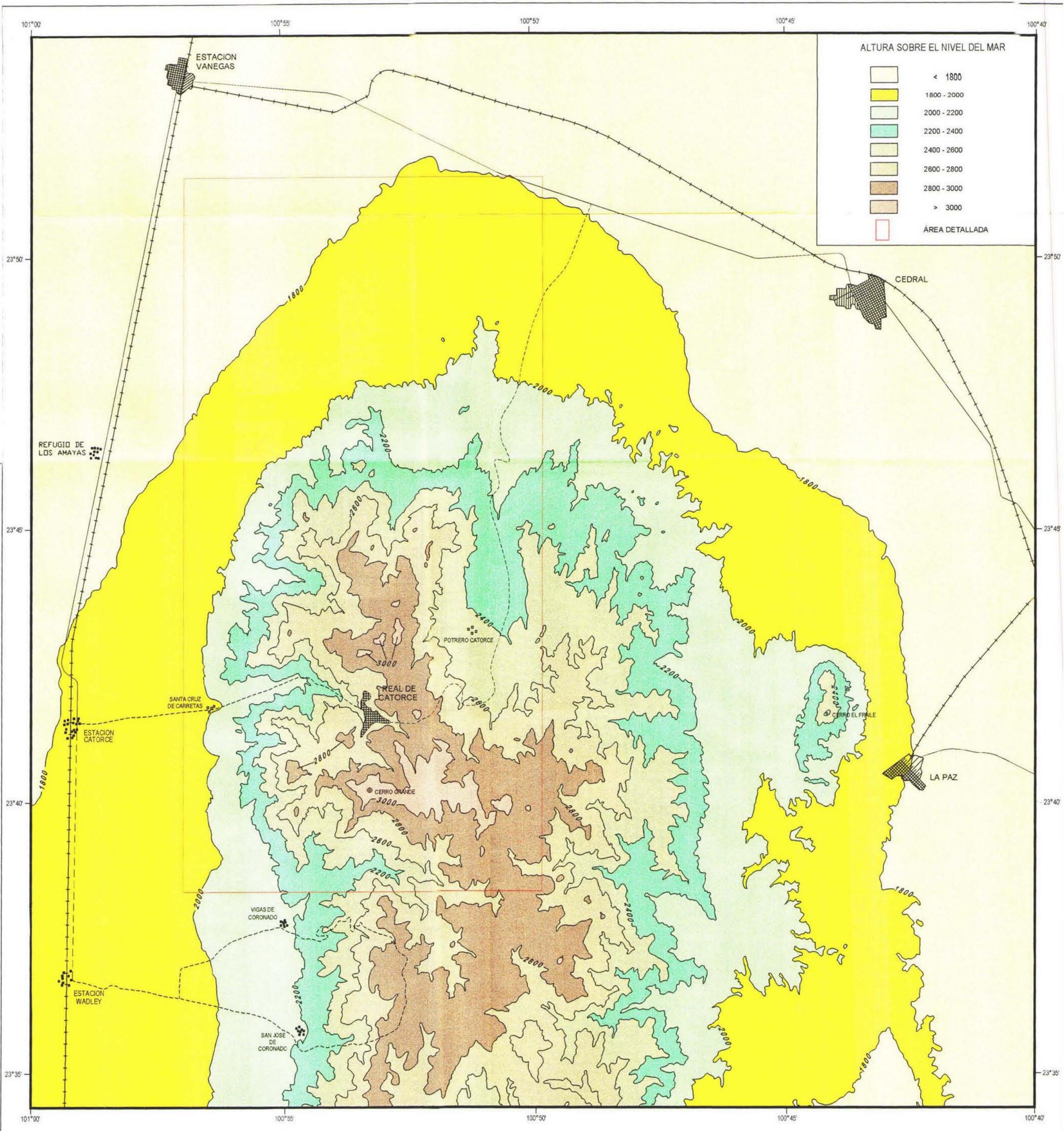


Lámina I. Mapa Hipsométrico de la Sierra de Catorce



En la parte norte-central de la Sierra de Catorce, en la localidad de San Antonio del Potrero, se observa una depresión aproximadamente rectangular de 3 km de longitud por 2 km de anchura, con una orientación preferente norte-sur, que contrasta notablemente con las geoformas predominantes de la montaña; esta depresión está ocupada por un relleno aluvial y por gravas, evidencias que reflejan un sistema de fallas normales.

Un cambio topográfico muy característico en la región, son geoformas de declive que descienden por debajo de los 2,100 msnm hasta 1,900 msnm, se alinean hacia el borde occidental de la Sierra de Catorce, donde parecen limitar una falla normal muy extensa, con una orientación preferencial norte-sur; las formas geométricas más sobresalientes son de abanicos aluviales, o conos de eyecciones, los cuales fueron depositados en dos generaciones, desarrollados principalmente en las desembocaduras de las corrientes de montaña. Los abanicos mas jóvenes de segunda generación, mantienen una sobreposición, yacen sobre los abanicos inferiores de primera generación; a la vez, ambos cubren depósitos de piedemonte y planicies aluviales horizontales, con los cuales contrastan notablemente. El desarrollo del drenaje en los declives es dicotómico y dendrítico espaciado.

Al oriente de la Sierra de Catorce sobresalen dos prominencias topográficas:

Primera, una zona de montaña aislada, que se constituye por los cerros Los Tres Tenamastes y El Fraile, la elevación inicia a los 1,800 msnm y alcanza 2,620 msnm en su punto más alto, sus formas son abruptas y agudas, como si se tratara de un par de

conos de ápice hacia arriba. Las geoformas reflejan la presencia de intrusivos de granodiorita que se emplazan en la cobertura marina, produciendo rocas metamórficas del tipo skarn, razón por la cual se produce una erosión diferencial con respecto al relieve descrito anteriormente. El patrón de drenaje predominante es del tipo radial centrífugo.

Segunda, una zona de montaña baja, ubicada al sureste del área de estudio, se caracteriza por calizas y calizas arcillosas de la Formación San Felipe, con formas predominantes de lomas extensas, suaves y onduladas. El terreno presenta cambios topográficos graduales de 1,700 msnm hasta 2,160 msnm. El drenaje que se desarrolla es del tipo dendrítico de espaciado a denso.

2.2.A. Descripción de Zonas Geomorfológicas

De un análisis del entorno físico y los recursos naturales existentes en la región, se ha establecido un marco de referencia que comprende tres zonas geomorfológicas: Montañas plegadas de Real de Catorce, Piedemonte de la Paz y Planicie nivel de base Cedral (Lám. II).

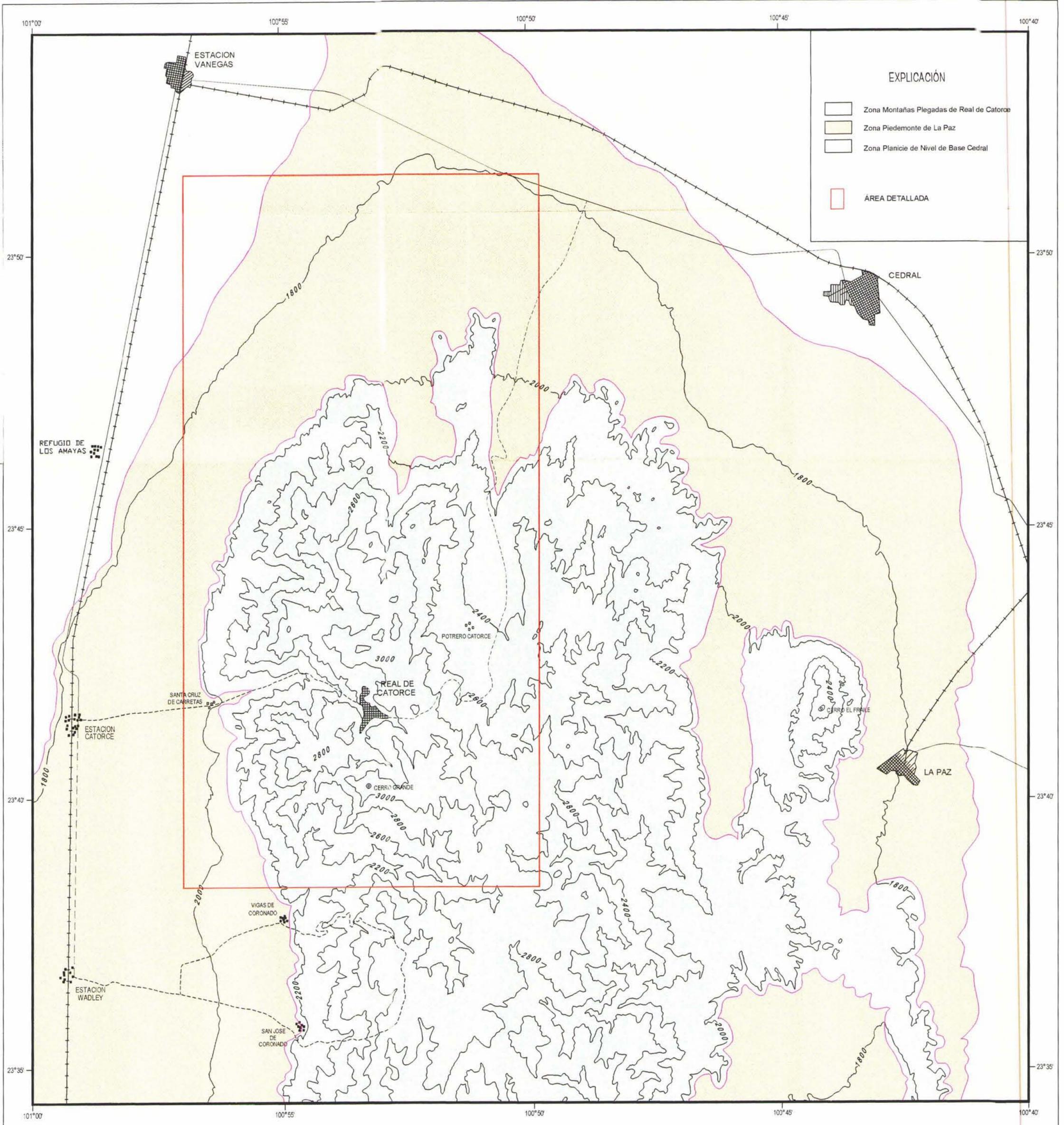


Lámina II. Mapa de Zonas Geomorfológicas



2.2.A.1. Zona: Montañas plegadas de Real de Catorce

Paisaje y rasgos hidrográficos

Las elevaciones constituidas por rocas altamente deformadas son cerros abruptos y escarpados que contrastan con los cerros ondulados, extensos y suaves formados por capas rojas, mientras que el conjunto de calizas y lutitas que integran la cobertura superior, se manifiestan como laderas convexas de fuerte inclinación (modelado representativo de la Sierra de Catorce). La altitud de la zona fluctúa entre los 2,100 y 3,180 msnm, altura máxima regional en el Cerro Grande.

El patrón de drenaje es dendrítico de espaciado a denso. Las corrientes superficiales son temporales.

Composición geológica

La zona de montaña se caracteriza por tres conjuntos estratigráficos: la base está constituida por filitas, pizarras y cuarcitas de la Formación Zacatecas del Triásico Tardío; la parte intermedia se compone por la unidad informal toba Cañón General y Formación Real de Catorce, del Jurásico Temprano-Medio, y el tercer conjunto superior está representado por una cobertura de sedimentos marinos posoxfordianos, la cual se constituye por calizas, lutitas calcáreas y lutitas; el conjunto abarca del Jurásico Tardío al Cretácico Tardío. A la vez, la cobertura es intrusionada por diques de cuarzomonzonita del Eoceno Temprano, y de manera aislada se exponen derrames basálticos del Plioceno.

Suelo, clima y vegetación

El tipo de suelo más común es el tipo litosol eútrico, moderadamente salino, con profundidad de 10 cm. Descansa en rocas calcáreas y arcillosas, su textura es media y se expone en terrenos de montañas a lomeríos y en zonas arcillosas. Su disección aumenta considerablemente hasta formar una superficie de malpaís.

La precipitación que ocurre en la zona, es de 400 a 550 mm, con un régimen de lluvia entre los meses de marzo a octubre, con temperaturas mínima promedio de 3° C y máxima de 27° C. En épocas secas, entre los meses de noviembre y abril, la precipitación alcanza de 100 a 125 mm, con temperatura mínima promedio de 0° C, y máxima con promedio de 21° C. Además, se registran más de nueve días con heladas entre los meses de diciembre, enero y febrero. De acuerdo con la clasificación de Köppen (1948), modificada por García (1973), se obtuvo la fórmula BS wh (i) g, donde se designa el clima como semiseco, semicálido, con lluvias en el verano, sin oscilación isotermal (Figs. 4 y 5).

En la zona de montaña existe vegetación que se clasifica como matorral desértico microfilo espinoso con especies de mezquite (*Prosopis* sp.), uña de gato (*Mimosa* sp.), chaparro prieto (*Acacia amentacea*); se combina con matorral con rosetofilos con las especies maguey (*Agave* sp.), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), zotol (*Dasyliirion* sp.) y cactáceas, donde destacan biznaga (*Echinocactus viznaga*), nopal cardón (*Opuntia strepacantha*) y nopal de tuna colorada (*Opuntia stenopetala*). También existe un área de bosques en los alrededores de Tierras Negras y Alamitos donde se asocian pinos y álamos.

Uso Actual

Se destina para el pastoreo de ganado caprino.

2.2.A.2. Zona: Piedemonte de la Paz

Paisaje y rasgos hidrográficos

Generalmente los abanicos aluviales presentan formas de declive con pendiente convexa, y los depósitos de piedemonte son declives regulares suaves y extensos, el relieve se caracteriza por una elevación mínima promedio de 1,900 msnm y por una altura máxima promedio de 2,100 msnm. Sin embargo, una elevación prominente extraordinaria sobresale en el Cerro El Fraile con 2,500 msnm.

Los patrones de drenaje que se exhiben en la zona son principalmente subparalelo y dicotómico, donde se desarrollan corrientes superficiales en la época de lluvia.

Composición geológica

La zona se desarrolla en depósitos de piedemonte y abanicos aluviales del Cuaternario.

Suelo, clima y vegetación

Existe un desarrollo de suelo de tipo litosol eútrico, con profundidad menor a los 50 cm; descansa en material detrítico, presenta textura media y se expone en lomeríos.

La precipitación es de 325 a 400 mm, durante el régimen de lluvia, y con temperaturas promedio mínima de 9° C y máximas de 29° C, entre los meses de marzo y octubre. En los meses de secas, entre noviembre y abril la precipitación alcanza de 75 a 100 mm, con temperaturas promedio mínima a los 3° C, y con máximas de 21° C. Además se registran más de nueve días con heladas entre los meses de diciembre y enero. De acuerdo con la Clasificación de Köppen (1948), modificada por García (1973), se obtuvo la fórmula BS wh (i) g, donde se designa el clima como semiseco, semicálido, con lluvias en el verano, con poca oscilación termal (Figs. 4 y 5).

La vegetación existente se caracteriza por la combinación de matorral desértico micrófilo inerme y espinoso con especies de gobernadora (*Larrea tridentata*) y uña de gato (*Mimosa* sp.).

Uso Actual

Ninguno.

2.2.A.3. Zona: Planicie de nivel de base Cedral

Paisaje y rasgos hidrográficos

Los depósitos aluviales forman planicies con pendientes inferiores al 8 %, y sobresalen las calizas por sus geoformas elípticas alargadas y de laderas onduladas convexas. La zona queda delimitada por elevaciones máximas de 1,900 msnm y mínima de 1,600 msnm en los terrenos más bajos ubicados hacia el este-sureste de la Sierra de Catorce.

Los patrones de drenaje están ausentes, debido a la permeabilidad del terreno y difícilmente se desarrollan corrientes superficiales en época de lluvia.

Composición geológica

La zona geomorfológica se constituye principalmente por aluviones del Cuaternario, excepto hacia la parte sureste de la Sierra de Catorce, donde afloran calizas del Cretácico Tardío.

Suelo, clima y vegetación

Los suelos varían de xerosol cálcico a xerosol cálcico-gypsico, son de textura media. La profundidad varía de 50 cm a 1.0 m, presentan un contenido moderado de materia orgánica.

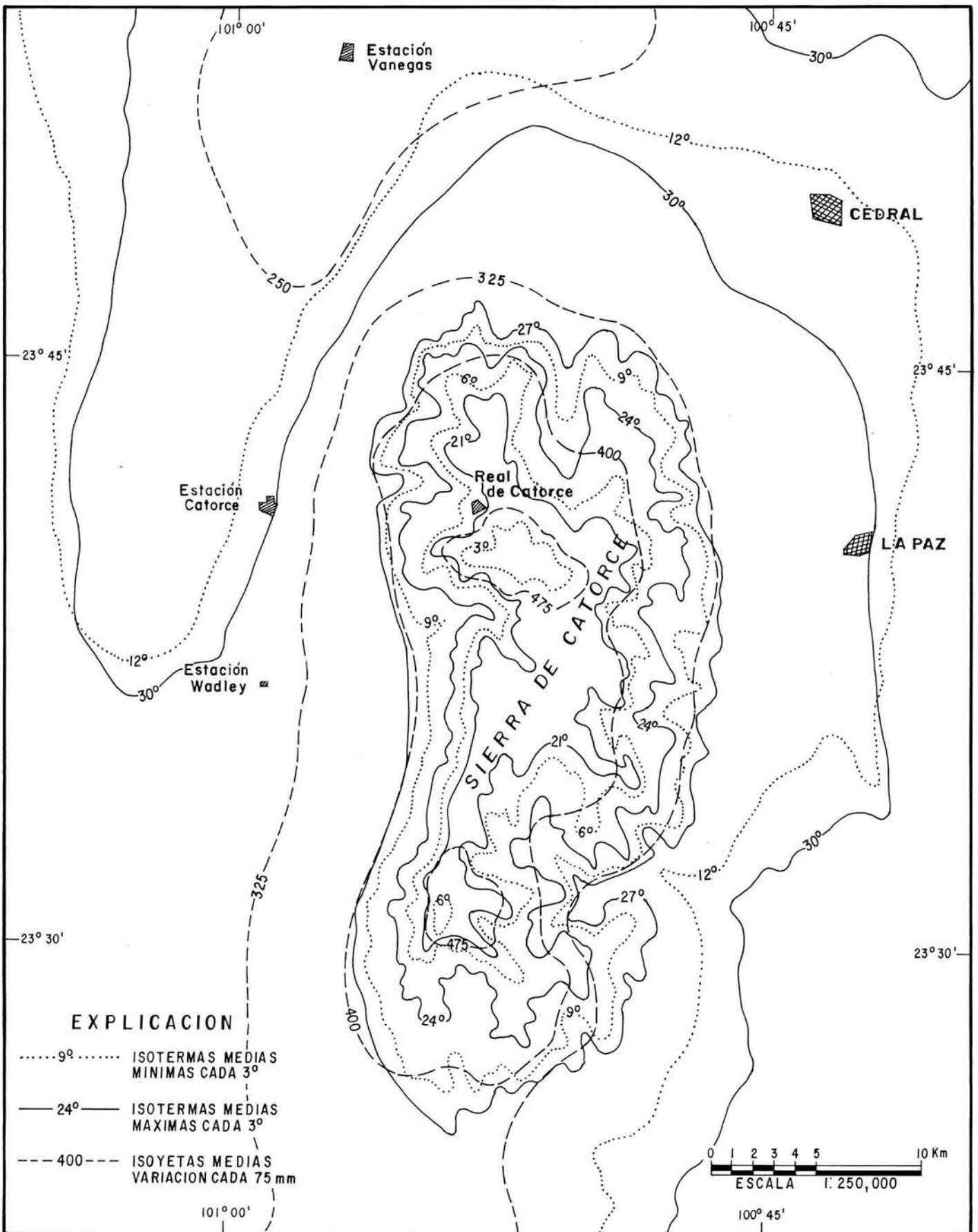
La precipitación es de 250 a 325 mm, durante el régimen de lluvia, con temperaturas mínima promedio de 12° C, y máxima con promedio de 30° C, entre los meses de marzo a octubre. Contrasta con precipitaciones de 75 mm en épocas de seca, y temperaturas mínima con un promedio de 6° C, y máxima con promedio de 22° C, entre los meses de marzo y abril. Con base en la Clasificación de Köppen (1948), modificado por García (1973), se obtuvo la fórmula BS wh (i') g, donde se designa el clima como: semiseco, semicálido, con lluvias en el verano con poca oscilación termal (Figs. 4 y 5).

Las variedades más abundantes de la vegetación existente son: matorral desértico micrófilo inerme y espinoso, con sus especies gobernadora (*Larrea tridentata*)

y mezquite (*Prosopis* sp.); una variedad característica de la región es el matorral desértico microfilo con izotes, con su especie palma china (*Yucca filifera*).

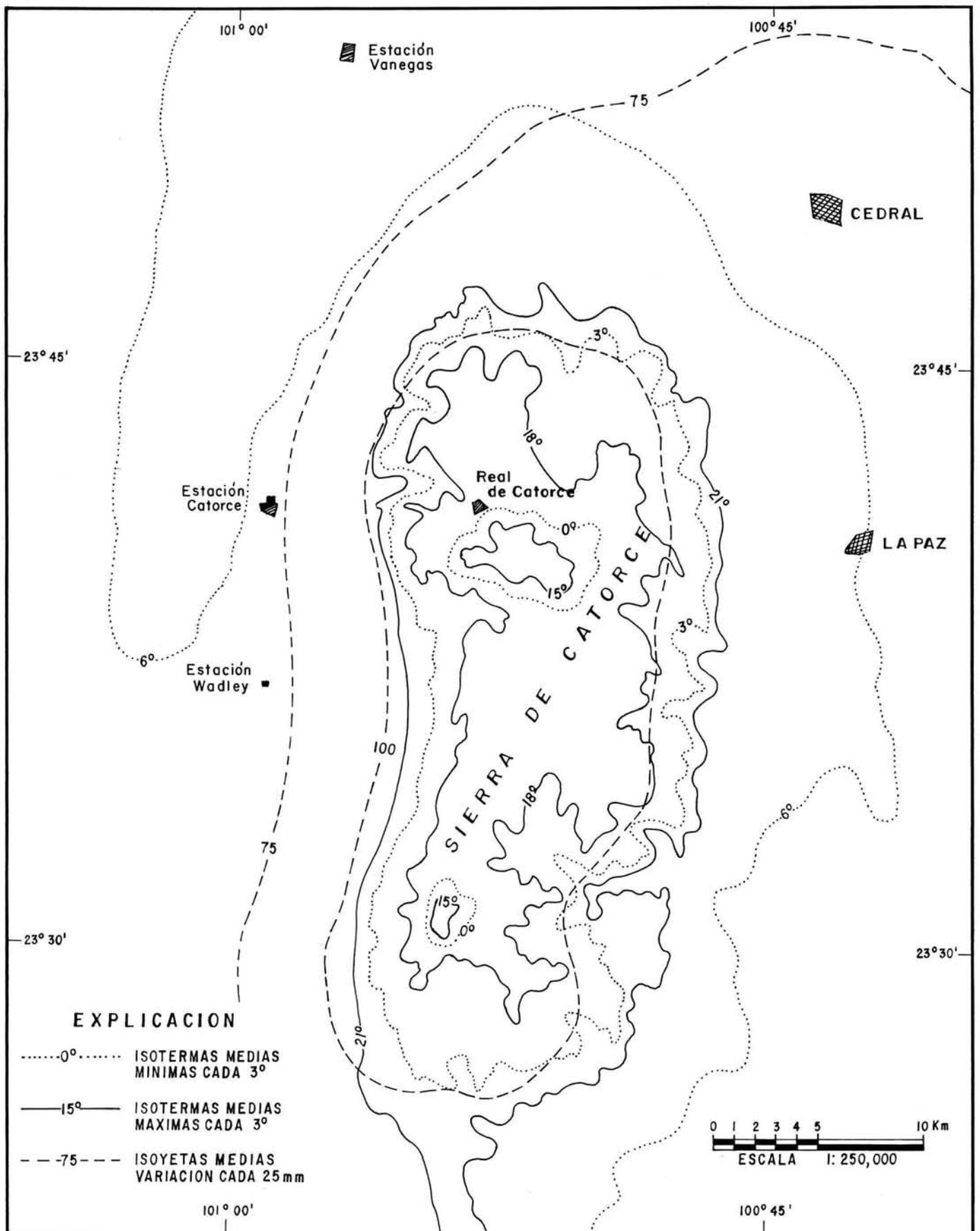
Uso Actual

Los suelos tienen capacidad de ser agrícolas, pero no existen distritos de riego. Sin embargo, se aprovechan para siembras de temporal en épocas de lluvia (aunque estas son con precipitaciones bajas); además se destinan para pastorear ganado caprino.



* LA INFORMACION ABARCA DE 1921 A 1980
 TOMADA DE INEGI

Figura 4. Mapa de Clima (Mayo - Octubre)



* LA INFORMACION ABARCA DE 1921 A 1980
TOMADA DE INEGI

Figura 5. Mapa de Clima (Noviembre - Abril)

2.3. Población y Cultura

2.3.A. Historia de la Región

Por considerar que el relato de Montejano y Aguiñaga (1975), adecuadamente describe la interesante historia de la región, a continuación transcribo: “En su breve vida minera un siglo y cuarto apenas el “Real de Minas de Nuestra Señora de la Limpia Concepción de Guadalupe de los Álamos de Catorce”, como se dio en llamarlo allá en sus principios, o Real de Catorce, a secas, como se le conoce hoy, fue no sólo el mineral más próspero y progresista de San Luis Potosí, sino además uno de los mejores de la Nueva España y en el cual la minería mexicana se ennoblecó con trascendentales innovaciones técnicas. Y cuando en los albores de la Revolución Mexicana de 1910, casi tan aprisa como había ascendido, cayó en el abandono y desempleo, no se desdibujó íntegramente del mapa porque, en su intempestiva caída, se asió cada vez más fuerte por sus tradiciones étnicas-religiosas”.

“En el año 1772, Fabián y Sebastián Coronado, dieron con una veta y la denominaron descubridora, pero pronto fue abandonada. Después al año siguiente, Sebastián Coronado en compañía de Manuel Martínez vuelven a trabajar la misma veta y posteriormente la abandonan. Sin embargo, no fue hasta que Bernabé Zepeda y Jacinto Salazar encontraron una veta y abrieron la primera bocamina el 15 de agosto de 1778, (fecha que se toma para la fundación del Real)”.

“En Real de Catorce surgió la acuñación de monedas, apareció en 1808 la primera, la segunda en 1810, se trata de una moneda de ocho reales, canto liso, módulo irregular de treinta y ocho milímetros, en el que aparece ésta inscripción: EL R.

D. CATORCE, FERNA.VII. 1811 y por el reverso MONEDA PROVISIONAL VALE 8R, (Montejano y Aguiñaga, 1975), sólo se ha sabido de la existencia de tres ejemplares de esta rara moneda. De 1822 a 1823 se acuñaron cuartillas (cuarto de real). Sin embargo, la primer Casa de Moneda se construyó hasta 1863; la casa trabajó con el permiso del gobierno de Juárez, pero en 1866 el imperio de Maximiliano ordena su clausura”.

“En 1895 el presidente Porfirio Díaz visitó el mineral, y para lograr una mejor comunicación de Real de Catorce con el resto de la entidad, propuso la construcción del Túnel de Ogarrío, impresionante por su extensión de 2260 m y por la técnica con que fue realizada, la obra inició el 13 de julio de 1897 y concluyó el 2 de abril de 1901”.

“La actividad minera con altos y bajos se desarrolló desde su fundación en 1778, hasta paralizar sus labores con el inicio de la Revolución de 1910, cuando emigraron capitales, empresas, comerciantes, trabajadores y pueblo en general. Queda entonces la ciudad abandonada a todo lo que era riqueza y actividad, se convirtió en ruina y soledad” (Montejano y Aguiñaga, 1975).

2.3.B. Economía

La riqueza minera de la Sierra de Catorce y áreas circunvecinas, ha sido una fuente de trabajo desde el siglo XVIII, destacan los distritos mineros de Real de Catorce, La Paz, y Wadley principalmente; sin embargo, en la actualidad solamente las minas existentes en La Paz continúan con la extracción de oro, plata, plomo, zinc y cobre, aún cuando han reducido su producción hasta en un 20% comparado con cantidades obtenidas en 1992. Por otra parte las minas de Real de Catorce y Wadley

permanecen cerradas desde 1990; se extraían minerales de plata y antimonio respectivamente.

Distrito Real de Catorce

Actualmente las actividades mineras se encuentran suspendidas, tradicionalmente se explotaron minerales de plata. La mineralización se encuentra en vetas, chimeneas y mantos que se hospedan en la Formación Zuloaga. Existen dos sistemas estructurales definidos: fallas mineralizadas de rumbo NW 50° a 70° y fracturas mineralizadas con orientación NE 60° a 80°.

Los minerales económicos son haluros de plata como la querargirita (ClAg) y bromirita (Br Ag); en la zona de óxidos existen cerusita ($\text{CO}_3 \text{Pb}$), malaquita ($\text{CO}_3 \text{Cu}_2 (\text{OH})_2$), goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) y hematita ($\text{Fe}_2 \text{O}_3$), en la zona de sulfuros presenta esfalerita (SZn), galena (SPb) y pirita ($\text{S}_2 \text{Fe}$), y como minerales de ganga: calcita y cuarzo principalmente. Las obras mineras que integran el distrito son: Purísima, Refugio, Concepción, Santa Ana, San Agustín y Padre Flores.

Distrito La Paz

Actualmente la empresa Negociación Minera Santa María de La Paz, S.A. de C.V., es la única que realiza actividades mineras en el distrito. Se obtuvo un registro para la producción del año 1992, de 300,000 ton, con una ley de 1.3 gr de oro por tonelada, 150 gr de plata por tonelada, 0.9% de cobre, 1.8% de zinc y 1.1% de plomo. La mineralización se distribuye en dos zonas: la primera constituida por vetas con minerales de plata-plomo-zinc, y la segunda se trata de un skarn con minerales de

cobre-oro. Las rocas encajonantes corresponden a la secuencia carbonatada del Cretácico Medio y Tardío. El distrito se integra por las minas San Agustín, El Pilar, Acacio, Dolores y Cobriza; las tres primeras con una producción de minerales de plata-plomo-zinc y las dos últimas con cobre-oro.

Distrito Wadley

En el año 1990, las actividades mineras fueron suspendidas en el distrito, donde tradicionalmente se explotó antimonio, siendo las minas de San José y Tierras Negras las más productivas en el país. Las estructuras mineralizadas consisten de vetas y mantos que se hospedan en calizas de la Formación Zuloaga. Los minerales de rendimiento económico son óxidos y sulfuros de antimonio como cervantita ($Sb_2 O_3 Sb_2 O_5$), estibiconita ($H_2 Sb_2 O_5$) y estibina ($S_3 Sb_2$).

Otras actividades económicas:

En las dos décadas últimas Real de Catorce ha sido beneficiado con importantes obras de remodelación, para convertirlo en un centro turístico, sitio de gran afluencia de visitas entre los meses de septiembre y octubre, actividad que contribuye directamente al sostenimiento de la comunidad.

La ciudad de Cedral tiene una importante producción y comercialización agroindustrial, mientras que las poblaciones menores, se dedican a la cría del ganado caprino y a la elaboración de sus derivados lácteos y cárnicos.

Una actividad que se fomenta en poblaciones ubicadas al occidente de la Sierra de Cartorce, es la producción de frutales en las variedades de aguacate, membrillo, manzana y durazno entre otras, así como el cultivo de plantas de ornato en viveros.

CAPÍTULO 3

ESCENARIO GEOLÓGICO REGIONAL

Introducción

La Sierra de Catorce se ubica en la Provincia Geológica Zacatecana (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992), teniendo como límite oriental a la Sierra Madre Oriental (Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas, Fig. 6). Estructuralmente consiste de un anticlinorio con orientación predominante norte-sur y con buzamiento al norte. Las unidades litoestratigráficas que constituyen la estructura general son: hacia el núcleo la Formación Zacatecas del Triásico Tardío, es una unidad arcillo-arenosa altamente deformada, a la cual de manera irregular y discordante le sobreyace un cuerpo de tobas riolíticas, denominada en el presente estudio unidad informal "toba Cañón General", esta unidad volcánica se extiende regionalmente, a la cual se han referido como Formación Nazas Pantoja-Alor (1963, 1972); López-Infanzón (1986); Barboza-Gudiño *et al.*, (1998) y Bartolini, (1998) entre otros. El origen de la unidad se asocia con un arco volcánico del Triásico Tardío-Jurásico Medio del oeste de Norteamérica (Jones *et al.*, 1995). Continúa un depósito de capas rojas, denominado en este estudio Formación Real de Catorce, la cual se correlaciona estratigráficamente con la Formación La Joya. A las unidades anteriores les sobreyace discordantemente por décollement la secuencia marina posoxfordiana, constituida con las formaciones Zuloaga, La Caja, Taraises, Tamaulipas, Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe y Méndez.

En la Sierra de Catorce existen diques de cuarzomonzonita, fechados con 53.4 Ma, Eoceno Temprano (Mujica-Mondragón y Albarrán, 1983); y en el Cerro El Fraile

troncos de granodiorita (tronco La Paz), con una edad de 35.7 ± 1 Ma, Oligoceno Temprano (Tuta *et al.*, 1988); a estas intrusiones se les atribuye el origen de los yacimientos minerales de importancia económica en los distritos de Wadley, Real de Catorce y La Paz.

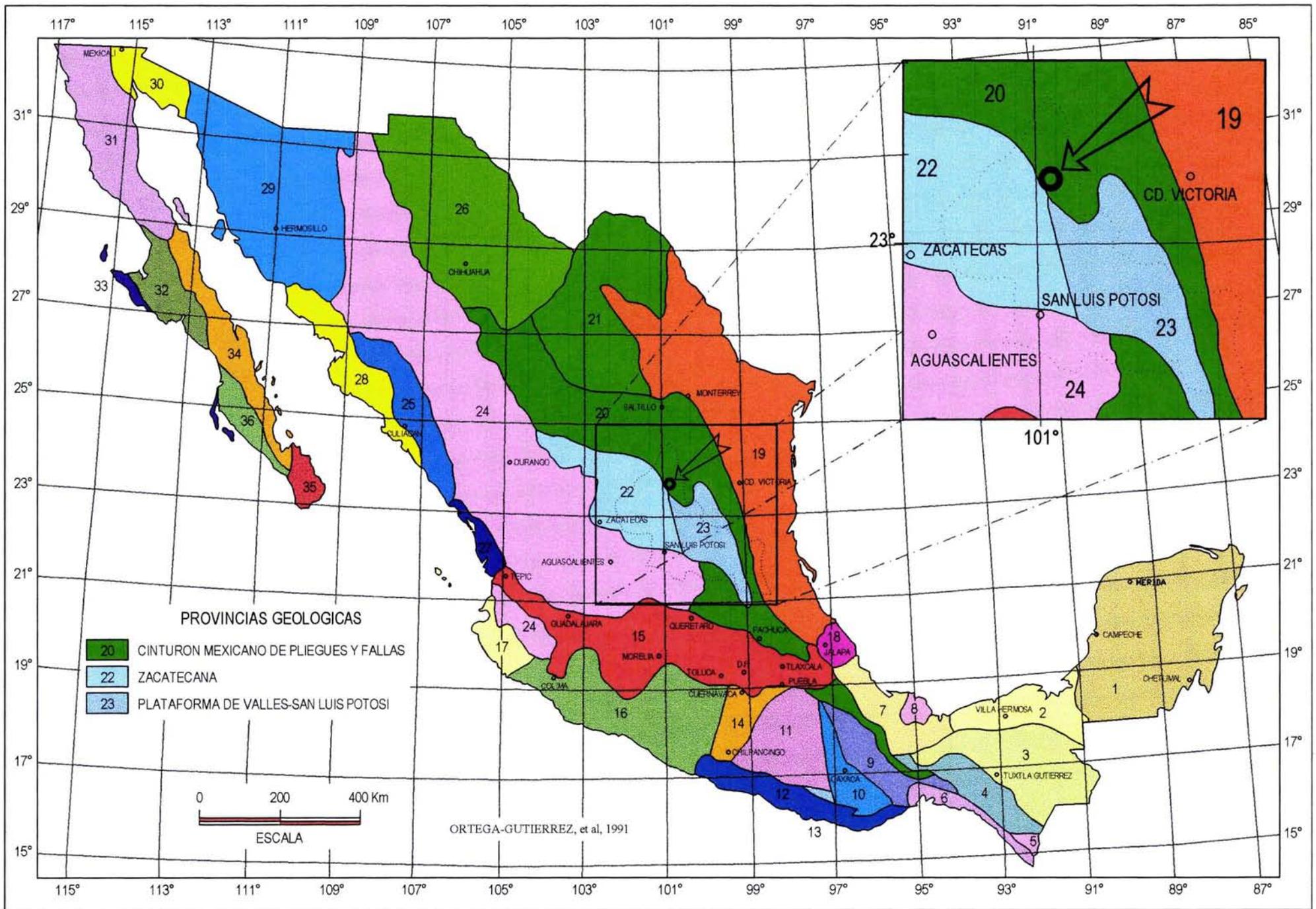


Figura 6. Mapa de Provincias Geológicas de la República Mexicana

Eratema Mesozoico

La unidad litoestratigráfica más antigua que se expone en la Sierra de Catorce, es la Formación Zacatecas (Barboza-Gudiño, 1989). La unidad se expone regionalmente debido a los efectos tectónicos ocurridos durante la Orogenia Larámide. La presencia de la unidad se asocia principalmente con pilares tectónicos, anticlinales regionales e intrusiones, como ocurre en las sierras de Charcas y Salinas, San Luis Potosí y en su localidad tipo de la Sierra de Zacatecas. La litología predominante es arcillo-arenosa altamente deformada. Consta de lutitas, areniscas y conglomerado. Los afloramientos se exhiben ampliamente en el Cañón General.

Una unidad volcánica de tobas riolíticas y derrames andesíticos, de forma y extensión irregular, incluyen un dique, que fue fechado con 174.7 ± 1.3 Ma (Barboza-Gudiño *et al.*, en preparación). Sobreyace de manera no concordante a la Formación Zacatecas, la unidad tobácea que fue descrita anteriormente en el área de estudio como la Formación Nazas (López-Infanzón, 1986), a la vez se correlaciona con otros derrames volcánicos en diferentes localidades del centro y noroeste de México, actividad que se asocia al arco volcánico del oeste de Norteamérica, de edad referible al lapso Triásico Tardío-Jurásico Medio (Jones *et al.*, 1995).

Una unidad de capas rojas expuesta en extensos afloramientos, constituye parte del núcleo de la estructura regional. Sobreyace de manera no concordante a la unidad informal toba Cañón General y en forma discordante a la Formación Zacatecas, a la vez subyace discordantemente a la Formación Zuloaga (Imlay, 1938), por décollement.

La secuencia estratigráfica mesozoica reconocida en la Sierra de Catorce, parece ser la misma en la región centro-septentrional de México, a juzgar por las observaciones hechas por el autor, en las sierras de Coronado, Charcas y Salinas en San Luis Potosí, así como por la información consultada de las localidades clásicas, el Anticlinorio Huizachal-Peregrina en Tamaulipas y Galeana en Nuevo León, ambas ubicadas en la Sierra Madre Oriental, Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992).

En el área de estudio, la unidad fue mapeada y definida como Formación Real de Catorce, tiene semejanza con la Formación La Joya (del Grupo Huizachal), descrita en el Valle del Huizachal. Es predominante la presencia de limolitas de color rojo-violeta con tonalidades ocre, dispuestas en forma laminar, las cuales varían en su granulometría hacia areniscas de grano medio, donde es peculiar el comportamiento de su sedimentación, de interestratificación cruzada o estratificación paralela; esta litología es similar a la descrita para la Formación La Boca. Por otro lado se observó un conglomerado mal clasificado en matriz arenosa de color rojo-violeta, con clastos de limolitas de color rojo-violeta y de roca volcánica. El tamaño de los fragmentos varía de 1 hasta 10 cm, con el predominio de clastos pequeños; eventualmente presenta interestratificación cruzada; esta litología es muy similar a la descrita para la Formación La Joya.

Las capas rojas que afloran en el área de estudio, fueron identificadas por Belcher (1979) como Formación La Joya, e interpretadas genéticamente como un depósito continental fluvial en facies de planicies de ríos y abanicos aluviales; las

correlacionó con las capas rojas que afloran en el Valle del Huizachal, Tamaulipas, donde la Formación La Joya sobreyace a la Formación La Boca. A esta última Clark y Hopson (1986), la ubican entre el Hettangiano-Sinemuriano, con base en el alcance cronoestratigráfico de la fauna aportada obtenida en su estudio; Rueda-Gaxiola *et al.*, (1993), aceptan esta edad para las capas rojas. Sin embargo, en el presente estudio las capas rojas se adscriben a una unidad diferente, designada Formación Real de Catorce, del Jurásico Medio, y se correlaciona parcialmente con la parte superior del Grupo Huizachal (Formación La Joya), que aflora en el Anticlinorio Huizachal-Peregrina.

Una cobertura posoxfordiana, que representa la sedimentación marina que tiene un alcance desde el Oxfordiano hasta el Maastrichtiano, sobreyace discordantemente a las capas rojas. Está constituida por las Formaciones Zuloaga, La Caja, Taraises, Tamaulipas, Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe y Méndez. La cobertura carbonatada aflora extensamente en la región y representan probablemente más del 90% de las unidades litoestratigráficas en el área de estudio.

Eratema Cenozoico

Las unidades estratigráficas del Cenozoico están constituidas por troncos granodioríticos, una aureola metamórfica y derrames basálticos, añadiéndose a éstas los depósitos fluviales. Los cuerpos de granodiorita fechados como Oligoceno Temprano (Tuta *et al.*, 1988), intrusionan la secuencia sedimentaria del Cretácico Medio-Tardío. Los basaltos se presentan en derrames pequeños y aislados, se distribuyen al norte de Real de Catorce, al sur de San Antonio y al norte del Cerro El Fraile. El volcanismo basáltico se asocia con los derrames pliocénicos, vertidos en el

centro de México. Los depósitos holocénicos se exponen en extensas planicies aluviales, abanicos aluviales y depósitos de piedemonte que rodean a la Sierra de Catorce.

Rasgos Geológicos-Estructurales Principales

La Sierra de Catorce estructuralmente es un anticlinorio orientado norte-sur, con buzamiento hacia el norte; sus flancos están delimitados por fallas normales muy extensas, también orientadas de norte a sur, conformando así un pilar tectónico. La región se caracteriza por un sistema de pliegues abiertos, cuyos ejes se orientan entre N 10° E y N 20° E. Se observa entre las coberturas preoxfordianas y posoxfordianas, una discontinuidad tectónica identificada como décollement. Un bloque estructural ascendente que ocupa una extensa superficie en la zona centro-oriental de Real de Catorce, está constituido por el Bloque Principal. Consiste de un pilar tectónico de orientación norte-sur, basculado al oriente, constituido por las unidades estratigráficas preoxfordianas. Un hundimiento denominado El Potrero, de forma rectangular con orientación NE, limitado con fallas NW, constituye una estructura tipo “pull apart”, ubicada en la porción norte-central del área. En la parte norte de la zona de estudio, se encuentran dos fallas normales dispuestas en dirección E-W, perpendiculares al sistema principal. También en la porción centro-oriental del poblado Tierras Negras, y al oriente del mismo, se identificaron fallas de cabalgadura.

Interpretación Tectónica

Los rasgos estructurales sobresalientes en la región, expresados por pliegues y fallas impresos en la secuencia preoxfordiana y posoxfordiana, evidencian el resultado

de una tectónica conjugada compresiva-extensiva, resultante de eventos deformacionales laramídicos y poslaramídicos. La deformación laramídica parece haber afectado a las rocas marinas desde el Oxfordiano al Maastrichtiano, sin alcanzar a las unidades infrayacentes, donde las lutitas calcáreas del Miembro Inferior de la Formación Zuloaga y las capas rojas de la Formación Real de Catorce, actuaron como un lubricante natural que permitió el deslizamiento de la cobertura carbonatada sobre las rocas preoxfordianas, disipando el esfuerzo tangencial a la profundidad, produciendo una discontinuidad tectónica expresada por un décollement regional. Otros rasgos estructurales expresados por fallas del tipo extensional y la actividad magmática, debieron ocurrir como una actividad tectónica poslaramídica.

Etapas de la Actividad Tectónica

Primera etapa. Se considera de margen convergente, está relacionada con el modelo de subducción, que posiblemente explica la presencia de rocas volcánicas, cuya actividad se asocia al arco volcánico del oeste de Norteamérica, durante el Triásico Tardío-Jurásico Medio.

Segunda etapa. Presumiblemente de margen convergente relacionada con la Orogenia Larámide durante el Eoceno Temprano-Medio, donde se producen las estructuras más sobresalientes que se manifiestan como pliegues y fallas de cabalgadura en la cobertura posoxfordiana.

Tercera etapa. Relacionada a una tectónica de margen divergente que se manifiesta con el fallamiento extensional y el emplazamiento magmático regional; la actividad se desarrolló durante el Eoceno Medio-Oligoceno Temprano.

De Cserna (1956), consideró la segunda y tercera etapa, como primera y segunda fase de la Orogenia Larámide.

Sinopsis de Historia Geológica

La estratigrafía del Triásico Tardío, en la zona centro-norte de México, sugiere una paleogeografía marina-continental, entre el borde oriental del antiguo Océano Pacífico y el margen occidental de la Placa de Norteamérica (cratón ancestral), con base en la reconstrucción paleogeográfica de Pindell (1985) y Sedlock *et al.*, (1993); regionalmente se efectuó un depósito arcillo-arenoso turbidítico en aguas marinas de poca profundidad, representado por la Formación Zacatecas, reconocida entre los estados de Zacatecas y San Luis Potosí. Por otra parte, en condiciones continentales se depositaron las capas rojas de la Formación Huizachal (parte baja del Grupo Huizachal), entre los estados de Nuevo León y Tamaulipas.

Hacia finales del Triásico e inicio del Jurásico, en la porción central de México ocurre actividad volcánica riolítica-andesítica, que se extiende en forma longitudinal en dirección norte-sur, durante la cual se depositó la unidad informal toba Cañón General (unidad considerada regionalmente como Formación Nazas), e interpretada como el producto resultante del arco volcánico generado por la frontera convergente de las Placas Kula y de Norteamérica.

Durante el Jurásico Temprano-Medio, se inició actividad tectónica extensional, donde surge un fallamiento en bloques de las rocas preexistentes, situación que fue observada por De Cserna (1956) en su estudio de la Sierra Madre Oriental. A la vez se desarrolla un valle de rift en la zona centro-noreste de México, donde ocurre sedimentación continental de tipo fluvial, representada en el área de estudio por las capas rojas de la Formación Real de Catorce, y en el Cañón de Huizachal por la parte superior del Grupo Huizachal. Posteriormente, hacia el Oxfordiano, se registra un episodio transgresivo de mares someros invadiendo al continente, donde inicia el desarrollo de la cobertura carbonatada posoxfordiana y continúa el depósito marino con fluctuaciones batimétricas hasta el final del Maastrichtiano.

El Terciario inicia en condiciones continentales, donde la Orogenia Larámide se registra en dos fases: la primer fase de tipo compresivo, inicia en el Eoceno, la cual se manifiesta por un período deformante que afecta notablemente la cobertura posoxfordiana. La segunda fase de tipo extensiva, se expresa por fallamiento de deslizamientos verticales; continúa un evento postectónico magmático, que alcanza el Oligoceno Temprano, dando origen a las intrusiones y mineralización de la región.

Los derrames basálticos persisten hasta el término del Terciario y el inicio del Cuaternario; finalmente durante el Holoceno se registran depósitos aluviales producidos por la acción de las corrientes fluviales.

CAPÍTULO 4

LITOESTRATIGRAFÍA DE LA SIERRA DE CATORCE, SAN LUIS POTOSÍ SEPTENTRIONAL

La secuencia estratigráfica reconocida en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, expone probablemente el registro más amplio del Mesozoico en la región centro-septentrional de México. El Triásico está representado por la Formación Zacatecas; el Jurásico por las unidades: "unidad informal toba Cañón General", las formaciones Real de Catorce (continental), Zuloaga y La Caja (ambas marinas de plataforma); y al Cretácico lo representan (en orden cronológico), las formaciones Taraises, Tamaulipas, Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe y Méndez. También el Cenozoico está presente e incluye cuerpos de rocas ígneas, las unidades informales "tronco La Paz", "metamórfica El Fraile" y "basalto La Descubridora".

4.1. ERATEMA MESOZOICO

4.1.A. **Sistema Triásico**

FORMACIÓN ZACATECAS (Taxon Litoestratigráfico Redescrito para el Área Sierra de Catorce)

La unidad de rocas más antigua que aflora en la Sierra de Catorce, no había sido reconocida claramente a la fecha, como se muestra a continuación. Se les ha designado indistintamente como rocas pre-jurásicas y rocas con deformación avanzada del Paleozoico Tardío. Bacon (1978), les asigna a las rocas una edad Paleozoico, con base en una comunicación personal (Gerhard, 1977), quien identificó las esporas *Lycospora* sp. y *Densosporites* sp., del Mississipico Tardío al Pensilvánico Tardío. En

diversos trabajos realizados por PEMEX (inéditos), la misma unidad ha sido designada como Formación Zacatecas. Barboza-Gudiño (1989), también identificó a esta unidad como Formación Zacatecas.

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

Burckhardt (1905), anunció el descubrimiento del Triásico Tardío marino al oeste de la ciudad de Zacatecas, en el Valle del Arroyo Calavera o Pimienta, en la localidad “Puente del Ahogado”, al encontrar fauna constituida por los bivalvos y cefalópodos, donde clasificó las especies: *Sirenites smithi*, n. sp., *Trachyceras (Protrachyceras)*, sp. ind., *Clionites*, sp. ind., *Juvavites (Anatomites) Mojsvari*, n. sp., *Palaeoneilo longa*, n. sp., *P. zacatecana*, n. sp., *P. broilii*, n. sp., *P. burkartii*, n. sp., *P. frechi*, n. sp., *P. villada*, n. sp., *P. mexicana*, n. sp., *P. cordobae*, n. sp., *P. triangularis*, n. sp., *P. bosei*, n. sp., *P. aguilerae*, n. sp., *P. inflata*, n. sp., *P. humboldti*, n. sp., *P. circularis*, n. sp., *P. cordiformis*, n. sp., *P. waitzi*, n. sp., *P. rectangularis*, n. sp., *P. quadrata*, n. sp., *P. ledaeformis*, n. sp., *P. costata*, n. sp., *P. ordoñezi*, n. sp. A todas las especies las asociaron al Cárnico. Posteriormente, Burckhardt y Scalia (1906), descubren la presencia de otros bivalvos que confirman la edad de las rocas. Gutiérrez-Amador (1908), comparando la fauna encontrada por Burckhardt (1905) y Burckhardt y Scalia (1906), con la fauna reportada en la Caliza Hosselkuss de California y con la descrita en la Star Peak de Nevada, las asigna también al Cárnico. Maldonado-Koerdell (1948), confirma la presencia del Triásico marino de Zacatecas al encontrar nuevos géneros fósiles. Ninguno de los autores anteriores propuso nombre formal a la unidad. Sin embargo, Méndez (1960), en un informe geológico de Petróleos Mexicanos (inédito), propone el nombre de Formación Calavera para una secuencia de 300 m,

aproximadamente, basado en el nombre de la localidad tipo, el Arroyo Calavera o Pimienta; no empleó el segundo nombre con el cual denominan al sitio, para evitar confusiones con la Formación Pimienta, del Jurásico Tardío, la cual se expone en la Cuenca Tampico-Misantla, al oriente de México. Describe la unidad como “un conjunto de rocas metamórficas y sedimentarias que se encuentran fuertemente plegadas, litológicamente consisten de esquistos pizarrosos y sericíticos negros, plateados, gris verdosos, lilas, rosados y rojizos. Eventualmente presentan restos y huellas de fósiles y alternan con algunas capas de lutitas y calizas gris claro y oscura silicosa”.

Carrillo-Bravo (1968), redefine la sección aflorante en el Arroyo Calavera, al N y NE de la ciudad de Zacatecas; la designó Formación Zacatecas, y la describió como una “secuencia de lutitas y areniscas de color gris verdoso y gris oscuro, con fauna del Triásico Tardío”.

McGehee (1976), en una descripción del Arroyo La Pimienta al oeste de la Ciudad de Zacatecas, para la unidad triásica, estableció cinco unidades: A, B, C, D y E de más antigua a más joven:

- A. Consiste de rocas pelíticas, filitas en gran parte, con variación hacia esquistos y pizarra. Una muestra típica contiene sericita y cuarzo en granos muy finos y trazas de hematita, con un espesor de 80 m, aproximadamente.
- B. Inicia con capas gruesas de cuarcita gris muy compacta, capas de filita gris alternan con capas de metaarenisca, con un espesor de 20 m, aproximadamente.

- C. Consiste de filita gris y verde y esquisto negro con láminas blancas contorsionada en micropliegues. Dentro del esquisto negro se encuentran bloques de metaarenisca deleznable; además, presenta filita de color gris claro con manchas de morado rojizo y capas delgadas de metapedernal morado, así como filita / esquisto gris, con zonas arenosas y algunas capas de filita / pizarra morada y otras de metaareniscas gris verdoso con mucho feldespató. Con un espesor de 200 m, aproximadamente.
- D. Es una secuencia potente de metaareniscas gris y filita gris claro con apariencia de "Flysch". El espesor es de 310 m, aproximadamente.
- E. Consiste predominantemente de filita / esquisto gris-gris claro. En cantidades menores contiene zonas arenosas, esquisto blanco, esquisto negro con segregación de cuarzo y capas de metaarenisca. El espesor es de 390 m, aproximadamente.

Gallo-Padilla *et al.*, (1993), encontraron en la Formación Zacatecas, de la localidad La Ballena, Zac., la impresión de una amonita con características similares a las de la familia *Beyrichitidae Spath* del Triásico Temprano y Medio, por lo que sugieren un alcance mayor para la unidad hasta el Triásico Medio.

ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

En virtud de lo anterior, y de acuerdo al tenor del Art. 17 (a) del Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 1983), se corrige y redescrive la Formación Zacatecas en el área del Arroyo General entre Real de Catorce y Santa Cruz de

Carretas (Láminas III y IV y Fig. 7) y alrededores de San Juan de Matanzas y Cañada Ojo de Agua, en los términos siguientes: Esta unidad es la más antigua del área, está constituida por una secuencia de lutitas, limolitas y areniscas interestratificadas y metamorfoseadas, en colores gris oscuro y gris verdoso, en ocasiones con tonalidades violáceas; presenta un color pardo-rojizo hacia un amarillo por intemperismo, en ocasiones contiene abundantes fragmentos de mica y de hematita (Lámina VI, Fig. A.), se presentan en capas de 10 cm hasta 1.0 m de espesor, eventualmente se observa interestratificación cruzada en las limolitas. En algunas capas hacia sus bases se observan abundantes fucoides y ocasionalmente huellas de oleaje; son compactas y la fractura se torna lajosa. Inmediatamente al sur de Los Catorce, en la cima de la unidad se observó un conglomerado oligomíctico interestratificado, constituido por cuarzo de color blanco, que presenta una variación granulométrica de 1 mm a 3 cm, con clastos angulosos a subredondeados; la roca es muy compacta al corte, debido a la silicificación que presenta el conglomerado.

Los afloramientos de la Formación Zacatecas ocupan una superficie de 10 km² aproximadamente. Las rocas arcillo-arenosas están muy deformadas y compactas, destacan por sus geoformas de escarpes fuertes y por la profundidad que han disectado en sus barrancas, contrastando con las ondulaciones suaves y el drenaje dendrítico de disecciones poco profundas que presentan las capas rojas que le sobreyacen.

En el trabajo presente la designación se realizó con base en el contenido litológico de la unidad, por la posición que ocupa en la secuencia estratigráfica, así

como las observaciones efectuadas en su localidad tipo en la Sierra de Zacatecas (Carrillo-Bravo, 1968), y en las sierras de Salinas y Charcas, en San Luis Potosí, donde la unidad exhibe una litología muy similar a la expuesta en la Sierra de Catorce, y por la posición estratigráfica que guarda con unidades adyacentes así como dentro de la Provincia Geológica Zacatecana.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. A la Formación Zacatecas se le han medido diferentes secciones, donde se han obtenido los siguientes espesores: en el Estado de Zacatecas, en el Arroyo Hondo (al occidente del área de estudio), se midieron 250 m, sin lograr alcanzar su base. En Apizolaya, Córdoba-Méndez (1965), midió un espesor de 960 m en la Formación Taray, que se considera de edad similar y probablemente correlacionable con la Formación Zacatecas. En el Estado de San Luis Potosí, al sur del Cerro El Peñón Blanco, Hermoso de la Torre (1969), estima el espesor en 1,000 m. El espesor máximo conocido hasta ahora es 4,633.6 m, obtenido en una sección que fue cortada por el pozo Tapon. 1, de PEMEX, (sin lograr atravesar toda la secuencia), ubicado al noreste de Charcas, S.L.P., aproximadamente a 60 km al occidente del área de estudio. El espesor de la Formación Zacatecas no se midió en la Sierra de Catorce, por no aflorar su base; sin embargo, el afloramiento que se expone en el Arroyo General, permite una estimación hasta de 1000 m.

Litología. La Formación Zacatecas está constituida por una secuencia de lutitas, limolitas y areniscas interestratificadas. Las lutitas y limolitas se encuentran ligeramente apizarradas por la avanzada deformación que presentan, son de colores gris oscuro y

gris verdoso; por intemperismo producen colores pardo rojizo y amarillento (Lámina VI, figura A.), en ocasiones contienen micas y hematita. Se presentan en capas de 10 cm hasta 1.0 m de espesor, eventualmente se observa interestratificación cruzada en las limolitas. Son compactas y al fracturarse toman un aspecto de lajas.

Las areniscas son de color gris y gris verdoso, en ocasiones con tonalidades violáceas y por efectos de intemperismo producen colores gris claro y pardo-rojizo; contienen clastos subangulares a subredondeados de cuarzo y fragmentos de lutita y arenisca. El espesor de estratos varía de capas delgadas de 3 a 10 cm; las areniscas también tienen abundantes fragmentos de mica y de hematita. La unidad presenta lentes de una roca dura silicificada de color negro y algunas capas presentan hacia sus bases, abundantes fucoides y ocasionalmente huellas de oleaje. También se observó en la cima de la unidad interestratificación de un conglomerado oligomítico de cuarzo, de color blanco, con clastos de 1 mm a 3 cm, angulosos a subredondeados; la roca es muy compacta al corte.

Descripción microscópica en areniscas finas. Reporte 2.1. Muestra C-3, Láminas XII, figuras A y B y XIII, figuras A y B.

Composición Mineralógica. El material de esta unidad contiene fragmentos de cristales de cuarzo, feldespatos, minerales máficos, minerales de arcilla, calcita, óxidos de hierro y minerales metálicos.

El cuarzo se encuentra en fragmentos del tamaño del limo y de arena fina, con formas subredondeadas en su mayoría, están limpios en su superficie, sin alteración, alineados en forma paralela a subparalela a los demás componentes de la roca; constituye el 25% del contenido mineral total de la muestra.

El feldespato se encuentra en fragmentos subredondeados, en tamaño de limo predominantemente y escasamente contiene algunos tamaños de arena fina; en general los cristales de feldespato (principalmente alcalino), tienen alteración moderada a fuerte hacia minerales de la arcilla, por lo que se observan con su superficie turbia y en ocasiones están casi totalmente alterados, presentan alineación paralela a subparalela con respecto a los demás componentes; constituye el 10% del contenido mineral total de la muestra.

Los carbonatos se encuentran como fragmentos de cristales con forma de subredondeados, así como en crecimientos o rellenos irregulares entre las láminas de los siliciclastos y escasamente entre el cementante de ellos mismos; constituye el 15% del contenido mineral total de la muestra. En mayor cantidad el carbonato (calcita), se encuentra relleno de espacios de separación entre la estratificación de la roca, se observan agregados de cristales de tamaño limo y arcilla, generalmente, son espacios irregulares, pero en ocasiones se ven como microvetillas, ocasionalmente se mezclan con minerales de la arcilla y dan apariencia de formas fibrosas y fibroso radiales; en cantidad están aproximadamente en 8% del total de la muestra. Los fragmentos de cristales de carbonato son subredondeados, de tamaño del limo, corroídos de las periferias hacia el centro; en cantidad hacen quizá el 2% del contenido mineral en la

muestra. El carbonato mezclado con las arcillas, quizá representa un 5% del contenido mineral en la muestra.

Esporádicamente se encuentran minerales máficos, quizá hacen el 1% del contenido mineral en la muestra; son fragmentos del tamaño de limo diseminados y alineados entre los demás fragmentos componentes de la roca, al parecer son algunas micas y quizá algo de piroxenos. Además, se encuentran algunos fragmentos (5%) de clorita, los cuales provienen de alteración de los minerales máficos, de los cuales se llegan a observar todavía las formas.

También contiene minerales metálicos y óxidos de fierro, que producen la coloración parda rojiza a la roca, los que se observan en fragmentos de cristales individuales y asociados a los minerales del cementante, aproximadamente hacen el 20% del contenido mineral de la muestra. Los cristales individuales son del tamaño del limo, están diseminados entre los demás componentes, normalmente están convertidos a óxidos de fierro; constituyen el 5% del contenido mineral total de la muestra. El resto de los componentes asociados al cementante son del tamaño de arcilla y están fuertemente oxidados.

El cementante está compuesto por una mezcla de minerales de la arcilla, óxidos de fierro, carbonatos y clorita; el cementante se estima en un 25% del contenido mineral en la muestra. Predomina la mezcla de arcillas-óxidos de fierro, algunos minerales de la arcilla presentan una incipiente recristalización, hacia illita y sericita.

Textura. Presenta una textura clástica, con fragmentos que varían de 0.046, 0.051 (limo) a 0.065 mm (arena fina), predominando los intermedios (limo). Tiene calibrado moderado a malo. Contienen formas subredondeadas, con orientación paralela referida con respecto a ellos mismos y al cementante, con porosidad y permeabilidad baja.

Clasificación. Roca sedimentaria clástica clasificada como "limolita carbonatada", con incipiente recristalización de los minerales de la arcilla.

Interpretación Genético-Ambiental. Los sedimentos que constituyen a la Formación Zacatecas, sugieren terrígenos que provinieron del oriente desde el cratón de la Placa de Norteamérica, y fueron depositados hacia el occidente en aguas marinas de poca profundidad y con corrientes de alta energía en condiciones de turbiedad.

ESTRUCTURA

La Formación Zacatecas constituye el núcleo del anticlinorio de la Sierra de Catorce, presenta un incipiente metamorfismo expresado por un aspecto pizarroso. Generalmente en las rocas no se observan pliegues definidos; sin embargo, las rocas presentan estructuras laminares, las cuales están cortadas por planos de crucero, condición que nos indica que la unidad fue altamente deformada.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

En el Arroyo General, la Formación Zacatecas subyace de manera no concordante a la unidad informal toba Cañón General, y discordantemente a las capas

rojas de la Formación Real de Catorce, el contacto es muy marcado por un cambio litológico de areniscas y lutitas metamorfoseadas a riolitas o capas rojas de las unidades sobreyacentes; además se manifiesta por un contraste de geformas abruptas a ondulaciones suaves, y por el cambio de colores en afloramientos, del café de las rocas metamórficas al rojizo de las capas rojas. La base de la Formación Zacatecas no aflora en la región.

PALEONTOLOGÍA

En el área de estudio Bacon (1978), asigna una edad Paleozoico Tardío para las rocas más antiguas, con base en una comunicación personal con Gerhard (1977), quien identificó las esporas *Lycospora* sp. y *Densosporites* sp., y las designó al Mississipico Tardío-Pensilvánico Tardío; en la Sierra de Catorce son las únicas especies que se han reportado en esta unidad. Sin embargo, en el camino que va de Real de Catorce a Los Catorce, se encuentran abundantes *galerias*, las cuales son icnofósiles (de especies cavadoras), potencialmente muy significativas para la ecología bentónica.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. La Formación Zacatecas se ubica en el Cárnico, con base en los palinomorfos que contiene, y en la posición y relaciones estratigráficas que muestra. La ammonitofauna y bivalvos presentes en estratos poco deformados de esta unidad en el Estado de Zacatecas (cf. Burckhardt y Scalia, 1906, Burckhardt, 1930, Maldonado-Koerdell, 1948, Cantú-Chapa, 1969 y Martínez-Pérez, 1972), proporcionan apoyo adicional a esta asignación geocronológica.

Correlación. La escasez de información geocronológica objetiva de las unidades supuestamente triásicas de México, a saber la Formación Nazas Pantoja-Alor (1963) y Córdoba-Méndez (1965), asignan una edad Triásico Tardío, y la Formación Huizachal (unidad más antigua del Grupo Huizachal); Imlay (1943; Mixon *et al.*, (1959) y Silva-Pineda (1981), la asignan también al Triásico Tardío y hacen que la correlación de la Formación Zacatecas, reconocida en la Sierra de Catorce, sea muy tentativa. Sin embargo, se puede correlacionar con las formaciones cárnicas: Taray de la región de Durango, Arteaga en Michoacán, Ixcuinatoyac en Guerrero, Hipólito en Baja California y con la porción superior de la Formación Antimonio, que aflora en la Sierra del Álamo, al noroeste de Sonora (Stanley *et al.*, 1994).

ERA	PERIODO	EPOCA	ETAPA	Ma.	S. SALINAS S.L.P.-ZAC. (1)	CHARCAS S.L.P. (2)	S. DE CATORCE S.L.P. (3)	HUIZACHAL- PEREGRINA TAMPS. (4)		
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE			ALUVION	ALUVION	ALUVION	BASALTOS		
		PLEISTOCENO		1.8	CONGLOMERADO			CONGLOMERADO		
	TERCIARIO	PLIOCENO			7			U.I. BASALTO LA DESCUBRIDORA		
		MIOCENO			26	EXTRUSIVAS				
		OLIGOCENO			37-38	INTRUSIVAS	EXTRUS.	U.I. TRONCO LA PAZ		
		EOCENO	LADENIANO		53-54	CLASTOS CONTINENT.	INTRUS.			
			MONTIANO							
			DANIANO		65		CGL. CHARCAS			
	MESOZOICO	CRETACICO	TARDIO	MAASTRICHTIANO				FM. MENDEZ	FM. MENDEZ	
				CAMPANIANO			FM. CARACOL	FM. CARACOL	FM. SAN FELIPE	FM. SAN FELIPE
SANTONIANO										
CONIACIANO										
TURONIANO						FM. INDIDURA	FM. INDIDURA	FM. AGUA NUEVA	FM. AGUA NUEVA	
CENOMANIANO										
TEMPRANO			ALBIANO			FM. CUESTA DEL CURA	FM. CUESTA DEL CURA	FM. CUESTA DEL CURA	FM. TAMP. SUPERIOR	FM. EL ABRA
			APTIANO							H. OTATES
			BARREMIANO			FM. TAMAULIPAS	FM. TAMAULIPAS INFERIOR	FM. TAMAULIPAS		FM. TAMP. INFERIOR
			HAUTERIVIANO							
		VALANGINIANO			FM. TARAISES	FM. TARAISES	FM. TARAISES		FM. TARAISES	
BERRIASIANO			136							
JURASICO		TARDIO	TITHONIANO			FM. LA CAJA	FM. LA CAJA	FM. LA CAJA	FM. LA CASITA	
			KIMMERIDGIANO							
			OXFORDIANO			FM. ZULOAGA	FM. ZULOAGA	FM. ZULOAGA	FM. ZULOAGA	
		MEDIO	CALLOVIANO				FM. LA JOYA	FM. LA JOYA	LA JOYA	G P O H U I Z A C H A L
			BATHONIANO					FM. REAL DE CATORCE		
			BAJOCIANO							
			AALENIANO							
		TEMPRANO	TOARCIANO							
	PLIENS- BAQUIANO						U.I. TOBA CARON GENERAL	FM. LA BOCA		
	SINEMURIANO				FM. NAZAS	FM. NAZAS				
HETTANGIANO		190					HUIZACHAL			
TRIASICO	TARDIO	NORIANO					FM. ZACATECAS			
		CARNIANO								
	MEDIO	LADINIANO								
		ANISIANO								
		SCYTHIANO		225						
PALEOZOICO	PERMICO			280				FM. GUACAMAYA		
	PENSILVANICO							FM. DEL MONTE		
	MISSISSIPICO			345				FM. V. GUERRERO		
	DEVONICO	TARDIO			395				FM. LA YERBA	
		TEMPRANO			440				C. DE CABALLEROS CZA. VICTORIA	
	ORDOVICICO			500						
	CAMBRICO			570				C. NARANJAL C. LA PRESA		
PRE-CAMBRICO							E. GRAJENO GNEISS			

1. Serrano-Marín, C.A., 1992 (*)
 2. Tristán-González, M., y Torres-Hernández, J.R., 1992 (*)
 3. AREA DE ESTUDIO
 4. Carrillo-Bravo, J., 1961 (*)
- (*) Con modificaciones

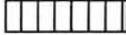
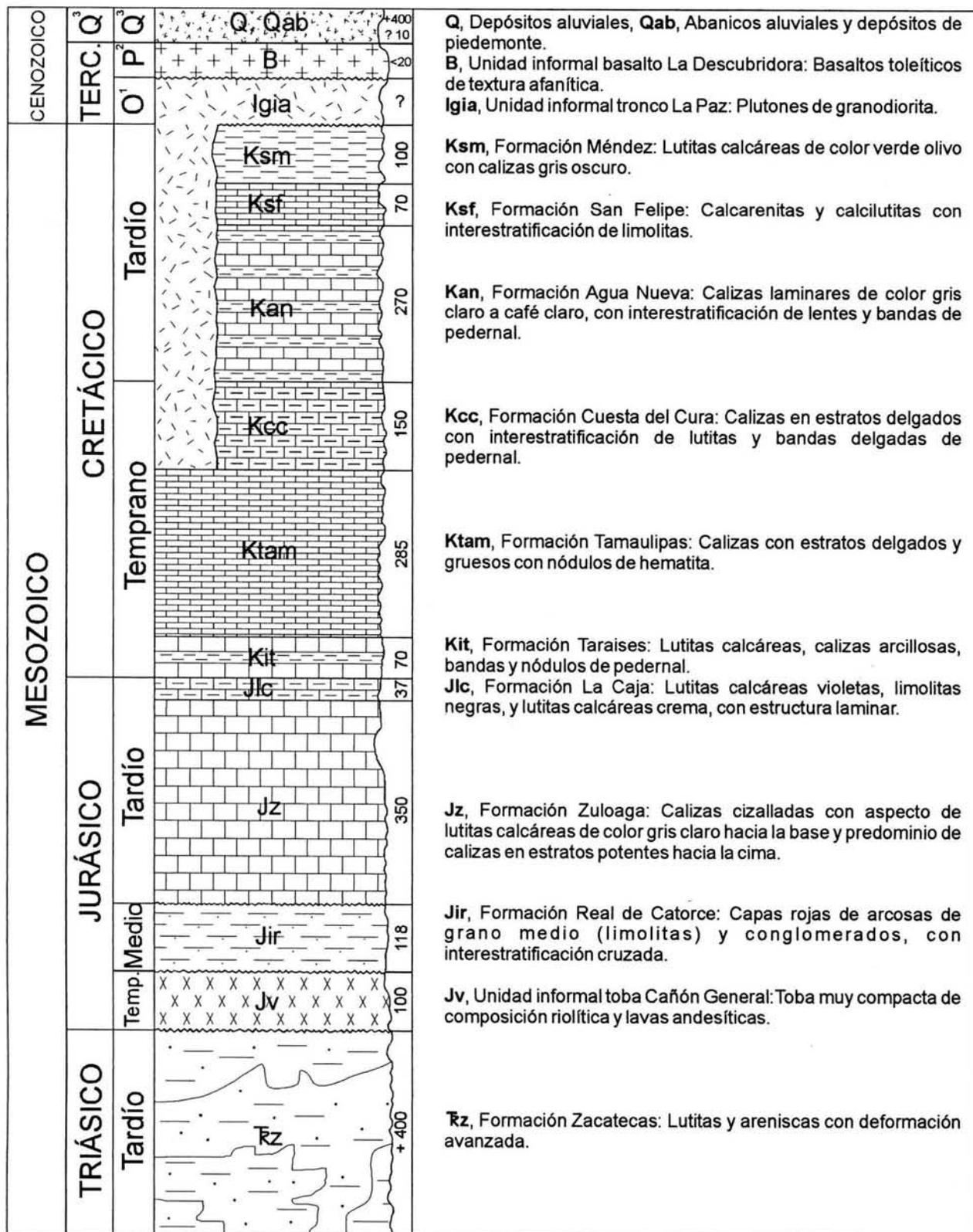
 Erosión o no depósito
 No aflora

Figura 7. Tabla de Correlación Estratigráfica



NOTA: 1. (O) Oligoceno, 2. (P) Plioceno, 3. (Q) Cuaternario

*Espesor en metros

Figura 8. Columna Estratigráfica Compuesta de la Sierra de Catorce, S.L.P.

4.1.B. *Sistema Jurásico*

UNIDAD INFORMAL TOBA CAÑÓN GENERAL (Taxon Litoestratigráfico Nuevo)

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

El nombre Formación Nazas fue propuesto por Pantoja-Alor (1963), para designar una secuencia de rocas volcánicas interestratificadas con toba, lutita, limolita, arenisca y conglomerado de color rojo, que afloran en el área de San Pedro del Gallo, Durango. La consideró informal y la correlacionó con la Formación Huizachal del anticlinorio próximo a Ciudad Victoria, Tamaulipas, y le asignó una edad probable triásica tardía. El nombre fue tomado de la Estación Nazas, situada en la vía del Ferrocarril Torreón-Durango, localizada 5 km al oriente de Villa Juárez. Córdoba-Méndez (1965), denominó como Formación Nazas a una secuencia de conglomerados, limolitas verdes y rojas y lutitas que afloran en las partes occidentales de las sierras de San Julián, de Teyra y de Ramírez y le asignó una edad triásica tardía. Mayer-Rúl (1967), reportó rocas similares a la Formación Nazas en la Sierra de Jimulco, en la porción occidental de Viesca, consistentes de arenisca y limolita de color rojo, interestratificadas con capas de conglomerado de color rojo y verde. Posteriormente, Pantoja-Alor (1972), definió formalmente la Formación Nazas, en la región de Villa Juárez, Durango, estableciendo como localidad tipo los afloramientos de Cerritos Colorados, al noreste del pueblo de León Guzmán, Durango; ahí consiste de derrames riolíticos, lutitas, limolitas areniscas, conglomerados, derrames cineríticos de composición riolítica, tobas y derrames de andesitas. Belcher (1979), consideró que esta unidad volcánica-sedimentaria (caracterizada por sedimentos rojos), debería de agruparse con otras unidades coetáneas de composición similar, que afloran en el centro y noreste de México, en el Grupo Huizachal (constituido por las formaciones:

Huizachal del Noriano, hacia la base; La Boca del Sinemuriano-Pliensbaquiano, en la parte media; y La Joya del Bathoniano-Calloviano, en la parte superior (Mixon *et al.*, 1959). Por otra parte, Bartolini (1998), se refiere a los derrames volcánicos de composición riolítica, que sobreyacen a las unidades del Triásico, como Formación Nazas.

Lo anteriormente expuesto, muestra que la llamada Formación Nazas, incluye el registro de por lo menos dos eventos subsecuentes: uno volcánico (posiblemente desarrollado durante la generación de un arco volcánico) y otro posterior, sedimentario fluvial posorogénico. Así concebida, esta formación no satisface lo establecido en el Art. 24 (f) del Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 1983), y resultaría conveniente separarla en dos unidades litoestratigráficas. Ello implicaría una revisión formal de la Formación Nazas (NACSN, 1983, Art. 18), pero hacerlo excede el alcance de este estudio, así como los recursos disponibles, de modo que esta revisión se restringe al área de la Sierra de Catorce, donde la llamada Formación Nazas ha quedado dividida en la unidad informal toba Cañón General y en la Formación Real de Catorce, como se muestra a continuación.

DEFINICIÓN, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Definición. Con base en los Arts. 22 (g), 26 (a) y 30 (h) del Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 1983), se propone designar con el nombre de: “unidad informal toba Cañón General”, a una unidad constituida predominantemente de tobas riolíticas muy compactas y lavas andesíticas que aflora en la Sierra de Catorce, sobre el Cañón General, inmediatamente al poniente del poblado Real de Catorce, de donde

deriva el nombre de esta unidad; el sitio está definido por las coordenadas UTM 303199E y 2621277N. La unidad consiste de tobas riolíticas, muy compactas (por lo que se pueden confundir con derrames de riolitas). Son de color crema con tonalidades café claro y oscuro hacia ocre por intemperismo; presentan fuerte alteración de la mayoría de los componentes hacia minerales de arcilla (facies de la albita-epidota), y con un acentuado desarrollo de foliación (Muestra C-1, Láminas XV a XVIII). La unidad se caracteriza por la presencia de abundantes vetillas de cuarzo criptocristalino de segregación, de color blanco. La unidad tiene un espesor máximo de 100 m. Su límite inferior es discordante con la Formación Zacatecas, a la que sobreyace; a la vez su límite superior es discordante con las capas rojas de la Formación Real de Catorce que le sobreyacen. La unidad se puede comparar genéticamente con los cuerpos volcánicos que contiene la Formación Nazas, y se le puede ubicar en el Jurásico Temprano, por la posición estratigráfica que ocupa en el área de estudio. Se propone que esta unidad sea informal (Art. 24 d).

Ubicación. En el área de estudio aflora principalmente en la margen derecha del Cañón General, entre el Rancho de Los Catorce y Real de Catorce y continúa al suroeste por un camino que conduce al Cerro El Quemado (Láminas II y IV y Fig. 7). Otras exposiciones se observan en las poblaciones la Cañada Ojo de Agua, en la localidad El Salto y al norte de San Juan de Matanzas.

Extensión. Los afloramientos aledaños a Real de Catorce, constituyen una franja irregular de 3 km y los afloramientos menores alcanzan 1.5 km, lo que expresa en total una superficie expuesta de 4.5² km aproximadamente.

Expresión Geomórfica. En el área de estudio, la toba Cañón General, destaca por sus geoformas, con relieve de escarpes abruptos que contrastan con laderas onduladas de la Formación Zacatecas y con las lomas onduladas y suaves de las capas rojas.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. En la Sierra de Catorce, el espesor de la toba Cañón General es variable y no fue medido. Se estima que puede alcanzar hasta 100 m, con base en la diferencia de elevación que se tiene entre la base y la cima de la unidad.

Litología. Consiste de una toba riolítica de color pardo-amarillento con tonalidades café claro a rojizo por contenidos de óxidos de fierro. Presenta estructura compacta, con algunos fragmentos de roca de colores claros, con huecos o espacios parcialmente rellenos de óxidos de fierro (Lámina VI, figura B). Su textura es afanítica, aunque en zonas da una apariencia brechoide, con alineación paralela preferencial de sus constituyentes, con tendencia hacia la foliación por metamorfismo regional. Presenta desarrollo de planos de crucero, los cuales destacan por una coloración ocre. Se caracteriza por el contenido de minerales de arcilla y óxidos de fierro y por la presencia de abundantes vetillas de cuarzo criptocristalino de segregación de color blanco; se llegan a observar algunos rellenos irregulares, al parecer de segregación, en ocasiones están atravesando a los minerales arcillosos.

Descripción microscópica de roca volcánica; Reporte 2.2. Muestra C-1, Láminas XV, figuras A y B; XVI, figuras A y B; XVII, figuras A y B y XVIII, figura A.

Composición mineralógica. El material de esta unidad contiene minerales de arcilla, minerales metálicos (pirita), óxidos de hierro, algunos minerales máficos, cuarzo y feldespato. El cuarzo se encuentra en cristales o fragmentos de éstos, de tamaños de arena fina, asociados con los minerales arcillosos que forman la matriz; la mayor cantidad del cuarzo se ha reagrupado por efectos de presión, dando segregación de diversas formas; en ocasiones se encuentran formando estructuras augen y bandas. En general, los cristales y fragmentos tienen extinciones anómalas; en cantidad hacen en la muestra aproximadamente el 15% del contenido mineral. En algunos agregados se observan señales de rotación por presión y cuando menos dos etapas diferentes de metamorfismo regional, señalado por las estructuras "S".

El feldespato del tipo alcalino se observa en escasos fenocristales, los cuales se encuentran únicamente asociados a los minerales arcillosos provenientes de los originales que conforman la matriz. Quizá contenía algunos fenocristales de plagioclasas, los cuales fueron alterados totalmente a minerales de la arcilla, quedando únicamente las reliquias de los mismos. No se puede calcular la cantidad de los feldespatos, debido a la fuerte alteración que presenta la roca; los cristales que se observan relativamente sanos, hacen quizá el 3% del contenido mineral en la muestra.

Los minerales máficos están en cantidades bajas, se observan algunos fenocristales de probables micas alteradas a óxidos de hierro, quizá algunos piroxenos

igualmente alterados; en cantidad los fenocristales constituyen el 5% del contenido mineral en la roca. En general, los fenocristales presentan crenulación interna y fuerte alteración debido al metamorfismo.

Los óxidos de hierro que contiene la roca, se deben a alteración meteórica sobre minerales componentes de la roca que contienen algo de hierro, entre los cuales se puede nombrar la pirita y los minerales máficos.

El grueso o sostén de la roca lo constituyen los minerales de arcilla, los cuales conforman el resto del porcentaje mineralógico y se puede considerar como la matriz; éstos se encuentran recristalizados a illita y en parte a sericita, por efectos del metamorfismo regional principalmente y quizá también por la circulación de algunos fluidos. Estas arcillas se asocian a minerales metálicos microcristalinos oxidados, tienen orientación preferencial (foliación), la cual está muy marcada por la recristalización de las mismas y se observan señales, de cuando menos dos etapas diferentes de foliación, las cuales presentan ángulos diferentes, inclusive cruzándose entre sí.

Textura. La roca presenta algo de porosidad, se observan espacios vacíos de diferentes formas, sin conexión entre sí. Contienen estructuras augen e incipiente bandeo de segregación, el cual se forma del agrupamiento de minerales como cuarzo-feldespatos y escasamente algunos minerales máficos. Además se observan algunas estructuras augen de minerales metálicos microcristalinos, que sustituyen minerales originales, dando apariencia de textura mosqueada. La textura se puede clasificar como blastoporfídica, con reliquias de probables fenocristales de feldespatos;

en matriz de grano fino se observan algunos fragmentos, por lo que se pudiera decir que es brechoide; además contiene segregación de cuarzo con minerales metálicos, que forman textura augen e incipiente bandeamiento. Los minerales de la matriz tienen orientación preferencial y en ocasiones se observan estructuras "S".

Clasificación. La roca es de origen piroclástico por lo que se clasifica como una toba de composición riolítica, con fuerte alteración de la mayoría de los componentes hacia minerales de arcilla, con metamorfismo de tipo regional, en la facies de la albita-epidota (?), quizá con la interacción de algunos fluidos, con marcada foliación y crenulación de los componentes.

Interpretación Genético-Ambiental. La génesis de la unidad informal toba Cañón General, se asocia con la actividad volcánica generada por la convergencia de la Placa Farallón y la Placa Norteamérica, hacia finales del Triásico Tardío-Jurásico Temprano, (Bartolini, 1998).

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Esta unidad también es discordante sobre la Formación Zacatecas, subyace mediante contacto no concordante a las capas rojas de la Formación Real de Catorce (taxon nuevo, este estudio) y a la Formación Zuloaga por discordancia. También tiene contacto por falla con la Formación Real de Catorce.

RADIOISOTOPÍA

En la Cañada Ojo de Agua, en la localidad El Salto, Barboza-Gudiño *et al.*, (en preparación), obtuvieron una edad de 174.7 ± 1.3 Ma (Bathoniano), por el método de U-Pb, para circones contenidos en un dique de la unidad informal toba Cañón General, lo cual indica que su edad mínima es mesojurásica.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. Con base en el fechamiento mencionado, la naturaleza volcánica de esta unidad y su posición estratigráfica, se considera que su edad más probable queda en el intervalo Pliensbaquiano-Toarciano del Jurásico Temprano.

Correlación. La unidad informal toba Cañón General, se puede correlacionar con la unidad litoestratigráfica designada Formación Nazas de la Altiplanicie Mexicana, y parcialmente también con la Formación La Boca que aflora en Tamaulipas.

FORMACIÓN REAL DE CATORCE (Taxon Litoestratigráfico Nuevo)

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

En unas veinticinco localidades del centro y norte de México, separadas por decenas y aún cientos de kilómetros (Fig. 9), afloran capas o lechos rojos mesozoicos, cuya geología detallada en términos de identidad y relaciones estratigráficas, así como su cartografía, constitución y significación regional se conocen sólo imperfectamente, a pesar de la extensa literatura que existe al respecto (cf. Seemes, 1921; Baker, 1922; Robertson, 1925, en Muir, 1936; 1922; Kellum, 1936; Imlay, 1937 y 1943; Imlay *et al.*,

1948; Heim, 1940; Mülleried, 1946; De Cserna, 1956; Mixon *et al.*, 1959; Carrillo-Bravo, 1961; Pantoja-Alor, 1963; Córdoba-Méndez, 1965; Clemons and McLeroy, 1965 a y b; Vernon, 1971; Woods y Addington, 1973; Belcher, 1979; Silva-Pineda, 1981; Michalzik, 1986 y 1988; Clark y Hopson, 1986 y Rueda-Gaxiola *et al.*, 1993 entre otros).

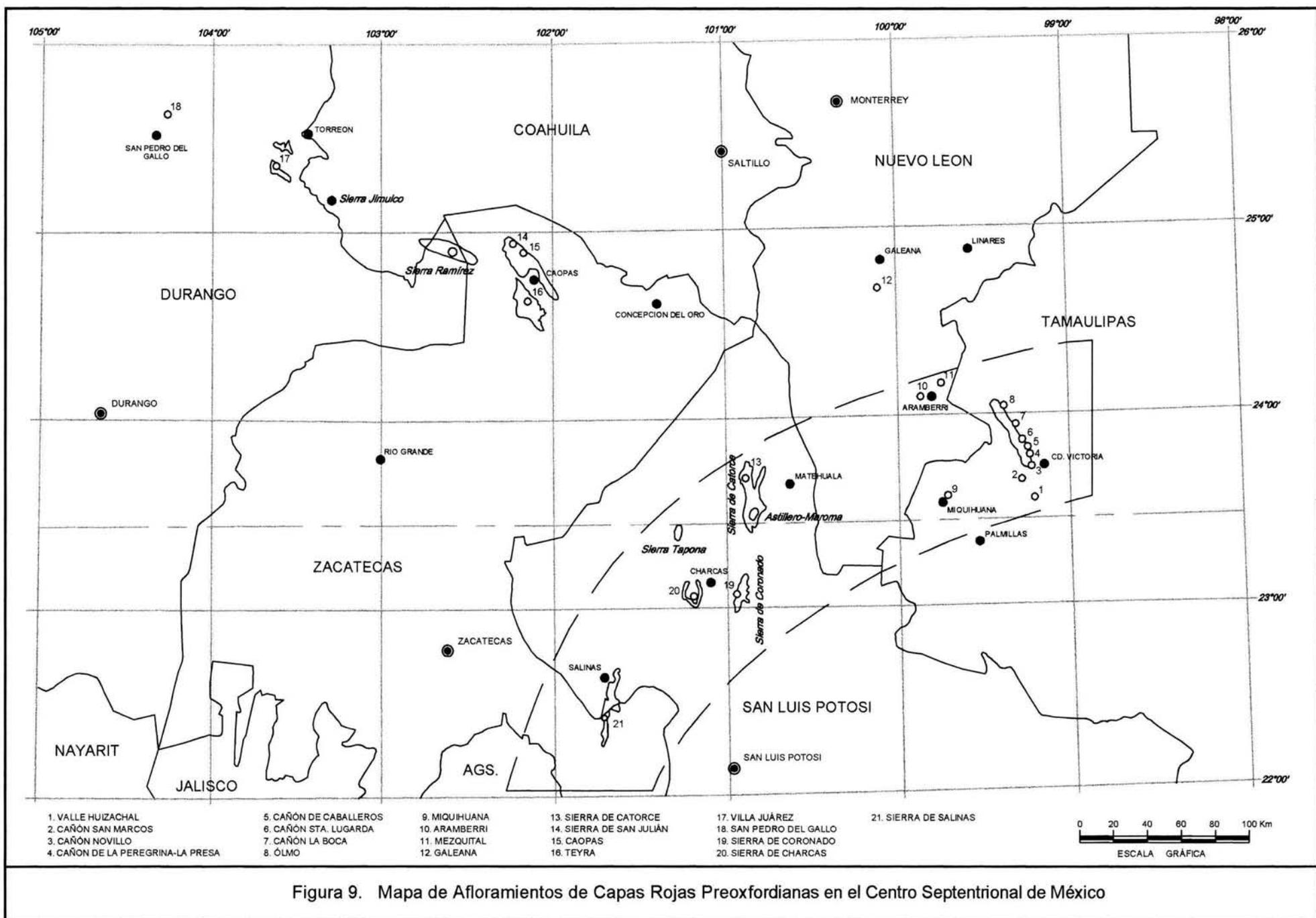


Figura 9. Mapa de Afloramientos de Capas Rojas Preoxfordianas en el Centro Septentrional de México

Solamente por medio de un extenso estudio regional, podrían resolverse los problemas planteados, y esto ciertamente queda fuera del alcance del estudio presente. Aquí la investigación se restringe al área de la Sierra de Catorce donde fueron reportadas inicialmente las capas rojas por Baker (1922). En el área de San Pedro del Gallo, Durango, Pantoja-Alor (1963), se refirió a capas rojas en la Formación Nazas; posteriormente esta última fue incluida en el Grupo Huizachal por Belcher (1979), como se mencionó ya al tratar a la unidad informal toba Cañón General.

DEFINICIÓN, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Definición. En virtud de lo anterior, se propone designar con el nombre de Formación Real de Catorce, a las capas rojas que afloran inmediatamente a un costado del Panteón de Real de Catorce, en la porción norte-occidental del núcleo del anticlinorio que constituye la Sierra de Catorce. Se designa como sección tipo, el afloramiento de limolitas, ubicado en la porción NW del poblado de Real de Catorce, y bajando hacia el occidente del Panteón, en el sitio referido por las coordenadas UTM 307285E y 2622005N. Aquí la unidad consiste de limolitas de color café-rojizo con tonalidades violeta, muy deleznable (aspecto que enmascara la estratificación); presenta interestratificación cruzada, con abundantes planos de crucero, los cuales se identifican por la hidratación de los óxidos de hierro, caracterizados por un color ocre (Muestra C-R, Láminas XIX y XX). En el sitio donde se considera como localidad tipo, se midieron 118 m de espesor (ver Reporte 1.1). En el Arroyo La Cañada, la misma unidad cambia hacia su base, a un conglomerado polimíctico muy compacto, mal clasificado, de color café-rojizo a violeta (Lámina VII, Fig. A.); contiene clastos de angulosos a redondeados en tamaño predominante de 3 a 5 cm, con variación de tamaño de 12 a 18 cm y con una

variación en la composición de rocas volcánicas máficas a metamórficas (cuarcita y filita), con matriz arenosa, hacia la cima la unidad disminuye el tamaño hacia una arenisca de grano fino. En esa localidad se midieron 116 metros de espesor (ver Reporte 1.2). La Formación Real de Catorce descansa discordantemente sobre la “toba Cañón General”, cuando esta última está ausente, descansa discordantemente sobre la Formación Zacatecas. A la vez, subyace discordante por *décollement* a la Formación Zuloaga (Lámina VII, Fig. B). Por la posición estratigráfica que guarda la Formación Real de Catorce con el resto de la secuencia estratigráfica del área, se ubica con un alcance temporal del Sinemuriano al Calloviano.

Ubicación. La Formación Real de Catorce aflora en la parte centro-occidental del área de estudio (Láminas III y IV y Fig. 7) y constituye parte del núcleo del anticlinorio de la Sierra de Catorce, donde las capas rojas se exponen en forma alineada de sur a norte. Sus mejores afloramientos se observan alrededor de Real de Catorce, hacia el norte en dirección al Cerro La Campana y hacia el sur en la base de los cerros Grande y Quemado; además un afloramiento pequeño y aislado se localiza inmediatamente al oriente del Cerro Puerto del Aire.

Extensión. Las capas rojas se extienden ampliamente en la porción central de la Sierra de Catorce, de sur a norte, desde San Juan de Matanzas hasta el norte del Cerro La Cueva; la unidad aflora en una superficie de 20 km², aproximadamente.

Expresión Geomórfica. En fotografías aéreas en blanco y negro, las capas rojas destacan por presentar tonos de gris muy oscuro, con drenaje dendrítico muy denso,

imprimiendo en las rocas un rasgo distintivo de malpaís. Sus geoformas son suaves y onduladas, características que contrastan con el relieve abrupto que manifiestan las unidades estratigráficas adyacentes.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. La Formación Real de Catorce fue medida parcialmente en dos secciones. La primera, a un costado del panteón de Real de Catorce, donde se obtuvieron 118 m de espesor para una sección de limolitas de color café-rojizo a violeta (distintivo de las capas rojas). La segunda fue medida al oriente de Poblazón, en el Arroyo La Cañada, ahí se obtuvo un espesor de 116 m de conglomerado polimíctico muy compacto, mal clasificado, de color café-rojizo a violeta. En esta sección se ausentan las limolitas.

Litología. La Formación Real de Catorce se constituye por una secuencia de rocas clásticas, con el predominio de limolitas de color café-rojizo a violeta, muy deleznable hasta enmascarar su estratificación. Presentan una granulometría homogénea con textura afanítica, e interestratificación cruzada y abundantes planos de crucero, los cuales se pueden confundir con planos de estratificación. Sin embargo, los planos de crucero destacan por un color ocre-amarillento, debido a la hidratación de óxidos de fierro. En el Arroyo La Cañada, la unidad cambia a un conglomerado polimíctico muy compacto, mal clasificado, de color café-rojizo a violeta (Lámina VII, Fig. A.), que contiene clastos de angulosos a redondeados con tamaño predominante de 3 a 5 cm, con variación de tamaño de 12 a 18 cm. La composición de rocas varía de volcánicas máficas a lutitas y areniscas muy deformadas; la matriz es arenosa, hacia la cima de la unidad el tamaño de los clastos disminuye hacia arenisca de grano fino.

Descripción microscópica en una limolita, Reporte 2.3. Muestra C-R, Láminas XIX, figuras A y B y XX, figura A:

Composición mineralógica. La roca contiene fragmentos de cristales de cuarzo, feldespatos, algunos minerales máficos, minerales de la arcilla recristalizados, óxidos de hierro y minerales metálicos.

El cuarzo se encuentra principalmente en fragmentos de tamaño de limo y escasamente de arena fina: presentan formas subredondeadas en su mayoría. Están limpios en su superficie, sin alteración, alineados en forma paralela y subparalela a los demás componentes de la roca. En algunas zonas se encuentran en contacto entre sí y con los demás componentes de la roca. En cantidad están aproximadamente en 40% del contenido mineral total de la muestra.

El feldespato y el cuarzo se encuentran en fragmentos subredondeados a redondeados, del tamaño de limo predominantemente y escasamente contiene algunos del tamaño de arena fina; en general, los cristales son de feldespato alcalino, aunque se llegan a encontrar algunos fragmentos de plagioclasas que conservan todavía su macla (combinada de albita-Carlsbad), tienen alteración moderada hacia minerales de la arcilla, por lo que se llegan a ver con su superficie turbia; presentan alineación paralela con respecto a ellos mismos y a los demás componentes de la roca, en cantidad hacen entre el 15 y el 20% del contenido mineral en la muestra.

Los minerales máficos son escasos, constituyen el 5% aproximadamente del contenido mineral en la muestra; los fragmentos son de tamaño de limo y escasamente algunos del tamaño de la arena fina. Estos minerales máficos están asociados y alineados entre los demás fragmentos de la roca, que al parecer son algunas micas y quizá algo de piroxenos. En general, están de débil a moderadamente alterados a óxidos de hierro.

Los minerales metálicos están moderadamente oxidados y algunos óxidos de hierro terrosos (limolita) dan coloración parda rojiza a la roca, al igual que los minerales máficos alterados. Los metálicos se observan en fragmentos de cristales individuales y en agregados, diseminados entre los demás componentes de la roca. Aproximadamente hacen el 15% del contenido mineral de la muestra.

Contiene una matriz compuesta por minerales de arcilla, mezclados con óxidos de hierro terrosos (limonitas). En porcentaje la matriz constituye del 15 al 20% del contenido mineral de la muestra. En general los minerales de la arcilla están recristalizados a illita y quizá algo de sericita.

Textura. La roca presenta porosidad y permeabilidad moderada; se encuentran algunos espacios vacíos de formas irregulares en su mayoría interconectados entre sí, dándole a la roca porosidad y permeabilidad moderada. La roca contiene fragmentos que varían de tamaño entre 0.018, 0.0467 a 0.14 mm (tamaños de limo), predominando los limos, en tanto que los del tamaño de la arena fina son escasos. Tiene calibrado moderado a malo. En general, son de formas subredondeadas, con orientación paralela

referida con respecto a ellos mismos y a la matriz. En ocasiones se encuentran los fragmentos en contacto entre ellos, lo que señala que la matriz es escasa y que la roca se compactó principalmente por presión; la matriz es clástica, básicamente arcillas, con recristalización de débil a moderada.

Clasificación. La roca se clasifica como una limolita, con recristalización de los minerales de arcilla que constituyen la matriz.

Interpretación Genético-Ambiental. Las capas rojas comprenden un campo muy amplio de facies sedimentarias, representando un amplio espectro de ambientes de depósito no marinos, tales como abanicos aluviales, planicies de inundación, desiertos, lagos y deltas. El color rojo aunque frecuente, no es exclusivo, pues la presencia de estratos de otros colores no es rara. Comúnmente la variación de colores es el resultado de variaciones menores en ambientes aéreos de depósito. Las capas rojas son coloreadas por óxido férrico (hematita), diseminado finamente en depósitos fluviales, confiriéndoles un color café-rojizo definido como una tonalidad violácea. La presencia de óxido férrico indica que las capas se generaron en diversas condiciones, tanto en regiones de clima tropical húmedo, como de clima árido. Una variable importante que controla la formación de capas rojas, es la naturaleza de la cuenca donde son depositadas originalmente. La naturaleza de la cuenca sedimentaria es determinada por el escenario geológico que controla la elevación influenciada por tectonismo y por erosión. Los sedimentos continentales de ese tipo son un rasgo distintivo de los estadios tardíos de construcción de montañas y representan facies sedimentarias conocidas como molasse.

Belcher (1979), expresa que las capas rojas observadas en el área de estudio, a 1.0 km río arriba de la desembocadura del cañón de Catorce (Arroyo General), al oeste de Real de Catorce, están constituidas por paquetes sedimentarios no conglomeráticos y conglomeráticos, depositados en canales de abanicos y sobre el plano de abanicos, respectivamente. Así mismo, reconoce el registro de depósitos superpuestos en orden ascendente: 20 m de sedimentos de canal de abanico medio, 20 m de conglomerado de canal de abanico distal, y 60 m de sedimentos de plano de abanico, por lo cual toda la secuencia representa una gradación de abanicos aluviales.

En el estudio presente se observó que la clasificación granulométrica que presentan las capas rojas es muy variable y no siguen un patrón o estructura definida. Se observó en los afloramientos aledaños a Real de Catorce, que son muy homogéneos, normalmente finos a manera de limolitas con interestratificación cruzada. En la localidad de Los Catorce, presenta variaciones de limolitas a limolitas conglomeráticas, y en la localidad El Salto, se comporta como un conglomerado con matriz arenosa, pero en general, la textura dominante es fino-granuda. La unidad representa un extenso depósito aluvial, es decir, no restringida a depósitos en canal o en abanico.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Las capas rojas de la Formación Real de Catorce sobreyacen discordantemente a la Formación Zacatecas, y en otras ocasiones sobreyacen también de manera discordante a la unidad informal toba Cañón General. Subyacen discordantemente por décollement a la cobertura de sedimentos marinos, la cual está constituida en la base

por la Formación Zuloaga. También se pone en contacto con la Formación Tamaulipas por una falla normal.

PALEONTOLOGÍA

En el área de estudio en las capas rojas no se han encontrado fósiles. Dada la falta de información objetiva sobre las relaciones estratigráficas espaciales que tienen las capas rojas en el centro y norte de México, se considera innecesario discutir la flora y fauna que portan (cf. Mixon, 1958; Silva-Pineda, 1981; Clark y Hopson, 1986).

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. Dada la falta de fósiles, la edad de la Formación Real de Catorce depende de sus relaciones estratigráficas: sobreyace discordantemente a la Formación Zacatecas del Triásico Tardío y a la unidad informal “toba Cañón General” del Jurásico Temprano, y subyace discordantemente a la Formación Zuloaga del Oxfordiano. Ello permite ubicar la edad de la Formación Real de Catorce en el Jurásico Medio, sin que objetivamente pueda precisarse más.

Correlación. Dada la imprecisión sobre la edad y las relaciones espacio-temporales de las unidades litoestratigráficas formadas por capas rojas del centro y norte de México, se considera innecesario especular sobre la correlación que la Formación Real de Catorce pudiese tener con ellas.



Figura A. Formación Zacatecas (T_{RZ}). Lutitas con deformación avanzada, muy foliada, con tonalidades violetas.



Figura B. Unidad informal toba Cañón General (J_v). Toba riolítica de color blanco en fractura fresca, con tonalidades de crema, intemperiza en tonalidades pardo-amarillentas por óxidos de hierro.



Figura A. Formación Real de Catorce (Jir). Detalle del contenido conglomerático en las capas rojas.



Figura B. Relaciones Estratigráficas. Panorámica de la secuencia estratigráfica continental-marina. La unidad informal toba Cañón General (Jv), subyace a la Formación Real de Catorce (Jir), a la vez la Formación Zuloaga (Jz) sobreyace discordantemente a las capas rojas.

*FORMACIÓN ZULOAGA (Taxon Litoestratigráfico Redescrito,
para el Área Sierra de Catorce)*

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

Imlay (1938), es el primero en describir la Caliza Zuloaga; menciona que es igual a la Formación La Gloria, de la cual se distingue por la ausencia de areniscas y lutitas. Le sobreyace una serie de calizas de estratos delgados, margas y lutitas del Jurásico Tardío definida como la Formación La Caja. Designa como localidad tipo a la Sierra de Sombrerillo al norte de Melchor Ocampo, Zac. En esa localidad, la Caliza Zuloaga consiste de 550 m, aproximadamente, de caliza gris oscura, en estratos gruesos y con nódulos de pedernal. Humphrey (1956), la dividió en dos grupos para el norte central y el noreste de México: Grupo La Casita arriba y Grupo Zuloaga abajo; el Grupo Zuloaga comprende la Caliza Zuloaga, Formación Olvido, Yesos Minas Viejas y Formación La Gloria. La Caliza Zuloaga es del Jurásico Tardío y probablemente pertenece al Oxfordiano. Burckhardt (1930), la llamó "la caliza con Nerineas" en la cercanía de Mazapil y la Sierra de Symón.

ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Asignación Litoestratigráfica. En virtud de lo anterior, se redescrive esta unidad en los términos siguientes: La Formación Zuloaga está constituida por rocas carbonatadas, se divide en dos miembros: el Miembro Inferior, caracterizado por una interestratificación de lutitas calcáreas con capas de yesos y calizas, identificable por su color blanco terroso en afloramientos, y el Miembro Superior constituido por calizas dolomitizadas de color gris claro, cuyo espesor varía de 60 a 80 cm hasta alcanzar estratos potentes y

macizos, con abundantes superficies estilolíticas y muestra huellas de disolución. La unidad sobreyace a las capas rojas de la Formación Real de Catorce y subyace a la Formación La Caja.

Ubicación. La Formación Zuloaga se distribuye ampliamente en la Sierra de Catorce, (Láminas III y IV y Fig. 7). Los afloramientos son muy extensos en dirección norte-sur, sobre todo hacia la cresta del anticlinorio que forma la sierra. Además aflora en la cima del Cerro Grande (sitio más alto en el Estado de San Luis Potosí, con una elevación de 3,180 msnm), situado a 2.5 km al sur de Real de Catorce.

Extensión. La Formación Zuloaga aflora ampliamente en la parte central de la Sierra de Catorce, en dirección de norte a sur. Alcanza una superficie aproximada de 135 km², por lo cual se puede considerar la unidad de mayor exposición en el área de estudio.

Expresión Geomórfica. En fotografías aéreas en blanco y negro, la Formación Zuloaga se caracteriza por presentar tonos contrastantes: gris intermedio para el Miembro Superior, y gris claro para el Miembro Inferior. Esta diferencia de tonos ocasionalmente puede influir en la fotointerpretación, y considerar dos formaciones en lugar de una. Sin embargo, ésto no es así. Los Miembros Inferior y Superior siempre mantienen su posición estratigráfica cuando existen ambos; el relieve se caracteriza por la presencia de formas abruptas con superficie ondulada, donde se ha impreso un drenaje dendrítico espaciado.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. En el área, la Formación Zuloaga tiene dos miembros: el Miembro Inferior, medido en una sección al oriente del panteón de Real de Catorce, tiene un espesor de 83 m y el Miembro Superior, según Bacon (1978), tiene un espesor de 350 m, por lo tanto el espesor total es de 433 m.

Litología. El Miembro Inferior de la Formación Zuloaga consiste de lutita calcárea de color blanco a gris pálido de aspecto aterrado; contiene esporádicamente Interestratificaciones de capas de yeso y capas de caliza de color gris claro de 20 cm de espesor. El Miembro Superior se constituye por caliza dolomitizada de color gris claro; los estratos hacia la base del miembro son de 60 a 80 cm de espesor (Lámina VIII, Fig. A). Hacia la cima son potentes y macizos. Exhibe abundantes superficies estilolíticas y huellas de disolución, así como abundantes hilillos de calcita. La posición de los estratos gruesos es subhorizontal y sobre la superficie de ellos se puede observar en ocasiones el crecimiento de corales y algas.

Interpretación Genético-Ambiental. El contenido litológico de los Miembros Superior e Inferior con lutitas con interestratificaciones de yeso y de calizas hacia la base y hacia la cima, así como las calizas dolomíticas en espesores potentes con presencia de corales y algas, indica que el depósito se efectuó en un mar cálido de poca profundidad, considerado como una zona sublitoral interna, que se efectuó durante el proceso de transgresión en el Jurásico.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La Formación Zuloaga es la unidad más antigua de la secuencia marina que se expone en el área de estudio; su base constituye un décollement generado por esfuerzo compresional sobre las rocas preoxfordianas, donde actuaron como lubricante la base de la Zuloaga y las “capas rojas”, sobre la cual descansa discordantemente; además, el despegue ocasionó que la Formación Zuloaga se encuentre incompleta en ciertos afloramientos, ausentándose parcialmente su Miembro Inferior (Lámina VIII, Fig. B). Subyace concordante a la Formación La Caja el contacto está muy marcado por el cambio litológico de calizas en estratos gruesos a lutitas calcáreas de color violeta a rosa pálido. El cambio litológico es muy visible en la Sierra de Catorce, hacia el flanco occidental del anticlinorio. En la Cañada Ojo de Agua y Arroyo Matanzas, el contacto de la Zuloaga con la Formación Tamaulipas es por una falla normal. Al sur de Potrero de Catorce el contacto con las formaciones Taraises y Tamaulipas es por fallas normales. Al noreste de Real de Catorce, la Formación Zuloaga está cubierta de manera no concordante por basaltos del Pleistoceno.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. Burckhardt (1921), describió *Nerinea* sp, en capas equivalentes a la Formación Zuloaga y las asignó al Oxfordiano. Jiménez-Camargo *et al.*, (1982), encontraron fósiles en la Formación Zuloaga en la Sierra de Charcas, S.L.P., los que describen como *Vaugonia calderón*, *Cucullea catorcensis*, y *Pleuromya inconstants*, por lo cual se asigna la unidad al Oxfordiano-Kimmeridgiano?. En el área de estudio, la Formación Zuloaga sobreyace a la Formación Real de Catorce y subyace a la Formación La Caja;

ésto y el alcance de los taxa que porta, permiten ubicarla en el Oxfordiano-Kimmeridgiano?.

Correlación. La Formación Zuloaga se puede correlacionar con la Formación La Gloria, que aflora en la Sierra de Parras, Coah. (Imlay, 1936, p. 1105).

*FORMACIÓN LA CAJA (Taxon Litoestratigráfico Redescrito,
para el Área Sierra de Catorce)*

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

Del Castillo y Aguilera (1895), fueron los primeros en estudiar la fauna fósil de la Sierra de Catorce, donde reconocieron capas del Jurásico, y las dividieron en tres grandes grupos petrográficos, que de abajo hacia arriba son: 1° pizarras satinadas completamente desprovistas de fósiles, consideradas como pizarras arcillosas metamórficas, 2° areniscas y pizarras margosas y arcillosas que alternan entre sí, que señalan como grupo muy rico en fósiles, y 3° calizas compactas gris cenicienta. Además subdividieron el grupo 2° en superior e inferior la parte superior denominada Cieneguita constituida de pizarras y areniscas, y la parte inferior, Alamitos, compuesta de areniscas de grano fino y pizarras bastante arcillosas y muy rica en fósiles. De esta parte inferior encontraron y describieron abundantes fósiles y los ubicaron del Jurásico Tardío al Infra-Cretácico, pero consideraron como edad mínima al Neocomiano (al grupo 2° ahora se le refiere como Formación La Caja). Burckhardt (1906) hizo estudios sobre la misma unidad, sin llegar a definirla formalmente en el norte y centro de México.

Imlay (1938, p. 1659), fue quien nombró y definió a la unidad como la Formación La Caja, designando como localidad tipo la Vereda del Quemado, en el flanco meridional de la Sierra de La Caja, al norte de Mazapil, Zac., donde se expone como una sección de 82 m de limolitas calcáreas, lutitas y calizas.

Erben (1956, p. 29 y 47, Láms. 10 y 20), describe la presencia del Liásico (Jurásico Temprano) en la Sierra de Catorce, e intenta extender la "Bahía de Huayacocotla" hasta dicha localidad. Sin embargo, el mismo duda ésto al señalar (Erben *op. cit.*, p. 29) "la existencia de un afloramiento del Liásico bien aislado en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí", y "la clasificación de dos amonites que fueron identificados como *Vermiceras* sp. y *Arnioceras* cf. *abjectum*" (p. 47), continúa describiendo "los fósiles están contenidos en una lutita filítica rojiza, y sugiere que las lutitas rojizas deben pertenecer a la Formación Huizachal". Cabe destacar que el presente autor, con base en las observaciones directas, considera que las lutitas mencionadas por Erben, bien pudiesen corresponder a los estratos de lutitas violetas de la Formación La Caja.

Verma y Westermann (1973), contribuyen con la paleontología de amonites en la Sierra de Catorce, donde establecen la presencia del Kimmeridgiano al Tithoniano Tardío. Dividen a la Formación La Caja en dos miembros: el inferior denominado Miembro Pastor, contiene capas de calizas delgadas en la base de la unidad, y el superior, nombrado como Miembro El Verde, consiste de una interestratificación de calizas y lutitas. Los dos miembros difieren en su contenido fósil. Establecieron cuatro conjuntos de amonites: 1. Un conjunto de *Idoceras* del Kimmeridgiano, se encuentra

hacia la base del Miembro Pastor; 2. Un conjunto de Vigatosphinctinae del Tithoniano Temprano se encuentra en la parte superior del Miembro El Pastor; 3. El conjunto *Kossmatia-Durangites-Corongoceras* del Tithoniano Tardío, se encuentra en la base del Miembro El Verde y 4. El conjunto *Berriasella substeuroceras* del Tithoniano Tardío, se encuentra en la parte superior del Miembro El Verde.

Posteriormente, Olóriz *et al.*, (1999), analizaron dos secciones con la metodología de capa por capa en la Formación La Caja, cerca del Rancho Los Alamitos en la Sierra de Catorce, donde colectaron numerosos amonites, bivalvos y otros megainvertebrados, y establecieron la bioestratigrafía regional más precisa. Es así que el Miembro Pastor, es fechado como Kimmeridgiano Tardío-Tithoniano Medio. El Miembro El Verde, portador de calpionélidos y *Kossmatia*, *Substeuroceras* y *Durangites*, es asignado al intervalo Berriasiano Temprano a Medio.

ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Asignación Litoestratigráfica. En virtud de lo anterior, se redescrive esta unidad en los términos siguientes: La Formación La Caja en la Sierra de Catorce está constituida por una secuencia de lutitas calcáreas de color café rojizo (violeta) a gris claro con abundante fauna fósil, interestratificadas con limolitas de color negro a gris, dispuestas en estratos delgados con laminación fina. Descansa concordantemente sobre la Formación Zuloaga y subyace en forma concordante y transicional a los sedimentos arcillosos-calcáreos de la Formación Taraises.

En la región los afloramientos de la Formación La Caja son muy fáciles de identificar, por su contenido litológico de lutitas calcáreas y limolitas en colores grises con tonalidades rojizas y colores oscuros, por la abundancia de la fauna, por el espesor delgado de la unidad y por las relaciones estratigráficas que guarda con las formaciones Zuloaga y Taraises, que subyace y la sobreyace, respectivamente.

Ubicación. La unidad aflora en la parte central de la Sierra de Catorce (Láms. III y IV y Fig. 7), en dirección norte-sur, sobre todo al oriente y noreste de Real de Catorce, donde los afloramientos son muy extensos longitudinalmente y se caracterizan por ser estrechos lateralmente; la unidad constituye parte de los flancos estructurales del sistema de pliegues locales desarrollados en la cobertura marina.

Extensión. Los afloramientos de la Formación La Caja se caracterizan por exponerse en franjas extensas y angostas. Ocupan una superficie aproximada de 23 km² y se manifiestan en una forma paralela a la Formación Taraises.

Expresión Geomórfica. La Formación La Caja exhibe un relieve suave, con lomas onduladas, y es característica general dentro del conjunto estratigráfico, por destacar en franjas angostas extensas y claras, con ausencia de vegetación.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. En el camino que va del túnel Ogarrío al rancho El Refugio (La Luz), la Formación La Caja, tiene un espesor de 37 m de la base a la cima.

Litología. Consiste de una secuencia de lutitas calcáreas de color café rojizo (violeta) a gris claro, interestratificadas con limolitas de color negro a gris. Se disponen en estratos delgados con laminaciones finas a manera de un "ciclotema" (Lámina IX, Fig. A). La Formación La Caja es muy rica en fauna con abundantes especies. En fotografías aéreas en blanco y negro, la unidad se caracteriza por exponerse en bandas muy angostas (debido a su posición estructural) con un tono gris medio. El relieve es muy suave y el desarrollo de drenaje no se observa debido a lo estrecho de los afloramientos.

Interpretación Genético-Deposicional. En el estudio presente, se observó el aumento del contenido de carbonato de calcio y la abundancia de cefalópodos hacia la parte inferior de la unidad, mientras que hacia la parte superior de la unidad disminuyen los carbonatos y el contenido faunístico, aumentando el de arcillas. Villaseñor-Martínez *et al.*, (1991), interpretaron este hecho, como la correspondencia entre un ambiente sedimentario y un ambiente ecológico, concluyendo que las asociaciones faunísticas y la sedimentación del área, se efectuaron en una plataforma tranquila, con penetración de luz solar, la cual debió tener una profundidad de 50 a 70 m.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La posición de sus contactos en la secuencia estratigráfica no es complicada. Descansa concordantemente sobre la Formación Zuloaga y subyace en forma concordante y transicional a los sedimentos arcillosos-calcáreos de la Formación Taraises. Sin embargo, en la porción centro-oriental de Real de Catorce, la posición concordante de sus contactos con la Formación Zuloaga se interrumpe por falla normal.

PALEONTOLOGÍA

La fauna que contiene la Formación La Caja en la Sierra de Catorce es muy vasta, con gran variedad de braquiópodos y moluscos, con predominio de cefalópodos. Del Castillo y Aguilera (1895), publicaron un listado de fósiles colectados y descritos, los cuales se anotan a continuación.

Grupo 2° parte inferior "Alamitos", Sierra de Catorce, S.L.P.

<i>Rhynchonella lacunosa</i>	<i>Perisphinctes felixi</i>
<i>R. lacunosa</i> var <i>arolica</i>	<i>P. lauri</i>
<i>Terebratula</i> cf. <i>zieteni</i>	<i>P. lenki</i>
<i>T.</i> sp.	<i>P. pouzinensis</i>
<i>Waldheimia catorcensis</i>	<i>P. aff. pouzinensis</i>
<i>Aucella bronni</i>	<i>P. flexicostatus</i>
<i>Cucullae (Trigonarca) catorcensis</i>	<i>P. transitorius</i>
<i>Lucina coetoi</i>	<i>P. plicatilis</i>
<i>Cyprimeria mexicana</i>	<i>P. potosinus</i>
<i>Goniomya calderoni</i>	<i>P. alamitosensis</i>
<i>Pleuromya inconstans</i>	<i>P. dolfussi</i>
<i>Vermetus (Burtinella) corbejoi</i>	<i>P. montserrati</i>
<i>Nautilus burkartii</i>	<i>Olcostephanus aff. portlandicus</i>
<i>Rhacophyllites calderoni</i>	<i>Hoplites calisto</i> var
<i>R. disputabile</i>	<i>H. cohglan</i>
<i>R. alamitosensis</i>	<i>H. heilprini</i>
<i>Haploceras carinata</i>	<i>H. exceptionalis</i>
<i>H. mazapilensis</i>	<i>Aspidoceras alamitosensis</i>
<i>H. catorcensis</i>	<i>Aptychus mexicanus</i>
<i>Perisphinctes</i> cf. <i>colubrinus</i>	<i>A. latus</i>
<i>P. colubrinus</i>	<i>Belemnites aff. ponzosi</i>
<i>P. mazapilensis</i>	<i>B. aff. obeliscus</i>
<i>P.</i> cf. <i>balderus</i>	

Al listado se anexan otras especies de la Sierra de Mazapil, Zac., colectadas y clasificadas por Burckhardt (1906): *Mazapilites Symónensis*, *Perisphinctes (Dichotomiceras) corona*, *Durangites cf. acanthicus*. En la localidad tipo, Imlay (1938), identificó *Aspidoceras casitense*, y Verma y Westermann (1973), colectaron e identificaron en la Sierra de Catorce las siguientes especies:

<i>Phylloceras cf. subplicatius</i>	<i>Berriasella cf. pictecti</i>
<i>Mazapilites mexicanus</i>	<i>Kossmatia alamosensis</i>
<i>Idoceras cf. inflatum</i>	<i>Substeuroceras alticostatum</i>
<i>Aulacosphinctoides lauri</i>	<i>Andiceras lenki</i>
<i>Subdichotomoceras n. sp. aff. inversum</i>	<i>Corongoceras mendozanum</i>
<i>Virgatosphinctes fresnosensis</i>	<i>Durangites acanthicus</i>
<i>Simoceras cf. volanense</i>	

Olóriz *et al.*, (1999), aportan información de gran significado en el fechamiento de la Formación La Caja, al estudiar abundante fauna de amonites y revisar la bioestratigrafía de la misma.

Villaseñor-Martínez *et al.*, (1991), hacen un análisis del comportamiento del conjunto faunístico existente, muy abundante por cierto, y encuentran una diferencia en su comportamiento entre el Kimmeridgiano y Tithoniano. El análisis espectral por pisos y por superfamilias de amonites, indica que la superfamilia Perisphinctaceae está representada en 96% y la Haplocerataceae sólo en 4% para el Kimmeridgiano. Para el Tithoniano se presentan miembros de la superfamilia Perisphinctaceae, mientras que la Haplocerataceae se registra fortuitamente. Esta relación había sido observada

anteriormente por Del Castillo y Aguilera (1895) en el grupo petrográfico denominado 2° al hacer la subdivisión en Alamitos y Cieneguita.

En el presente se colectaron e identificaron las especies *Aucella bronni Rouiller*, *Lucina potosina*, *Belemnites aff. obeliscus Phillips*, *Kossmatia exceptionales (Castillo y Aguilera)* y *Kossmatia purissima Verma and Westermann*.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. Del Castillo y Aguilera (1895), ubicaron los fósiles de la unidad en el Jurásico Tardío. Burckhardt (1906) e Imlay (1938), la asignan al Kimmeridgiano-Tithoniano; Verma y Westermann (1973) identificaron amonites en la Formación La Caja y la establecen en el Kimmeridgiano Temprano-Tithoniano para el Miembro Pastor y Tithoniano para el Miembro El Verde. Olóriz *et al.*, (1999), analizaron la fauna del Miembro El Verde y con base en la información obtenida extienden su edad hasta el Berriasiano Temprano-Medio (Cretácico Temprano). Por lo tanto, la Formación La Caja se ubica entre el Kimmeridgiano-Berriasiano Temprano-Medio y esta edad pudiera aplicarse para la unidad en el centro y norte de México.

Correlación. La Formación La Caja se correlaciona con la Formación La Casita que aflora en la Sierra de Parras, Coah.

Lámina VIII. Formación Zuloaga, 1: Litología y Relaciones Estratigráficas.



Figura A. Formación Zuloaga (Jz). Estratos gruesos característicos de la unidad, por lo general están en posición horizontal, o ligeramente inclinados, con inclinaciones hasta de 25°.



Figura B. Relaciones Estratigráficas. El contacto entre la Formación Real de Catorce (Jir) y la Formación Zuloaga (Jz) que le sobreyace por décollement.



Figura A. Formación La Caja (Jlc). Limolitas y lutitas calcáreas en estratos delgados, presentan colores grises y negros con tonalidades cremas y violeta.



Figura B. Formación Taraises (Kit). Sobreyace de manera concordante y transicional a la Formación La Caja (Jlc).



Figura A. Contactos Geológicos. 1. La Formación Zuloaga (Jz) sobreyace en forma discordante por *décollement*, a las capas rojas de la Formación Real de Catorce (Jir). 2. Al norte de Real de Catorce, se observa el contacto entre los Miembros Inferior y Superior de la Formación Zuloaga (Jz), se identifica por el cambio de tono crema hacia la base y gris oscuro con abundante vegetación hacia la cima. 3. La Formación Real de Catorce (Jir) sobreyace a la unidad informal toba Cañón General (Jv), por un contacto no concordante, su identificación se obtiene por el cambio morfológico, entre lomas onduladas de las capas rojas y los escarpes de las rocas volcánicas.

4.1.C. **Sistema Cretácico**

FORMACIÓN TARAISES

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

Imlay (1936, p. 1111), empleó el nombre Taraises para una formación de calizas del Valanginiano, la cual aflora en la parte occidental de la Sierra de Parras, Coah. Descansa en aparente concordancia, sobre la Formación La Casita y está cubierta por la Formación Las Viga. Como localidad tipo se designa el Cañón de Taraises, donde exhibe un espesor que varía de 156 a 162 m.

ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Asignación Litoestratigráfica. La Formación Taraises en el área de estudio es una secuencia de rocas carbonatadas y arcillosas, identificadas de la base a la cima como una calcilutita muy compacta de color gris claro, en estratos medianos; continúa hacia la parte media de la unidad una interestratificación de calizas arcillosas de color gris claro a lutitas calcáreas de color gris-crema, con intercalaciones de pedernal negro en estratos delgados que cambian a bandas y nódulos; en la parte superior la unidad se constituye por calcilutitas muy compactas de color gris claro, en estratos medianos con ausencia de pedernal. La Formación Taraises se ha reconocido con facilidad, al observar sus relaciones estratigráficas con las formaciones La Caja y Tamaulipas que la subyacen y sobreyacen, respectivamente, de manera concordante.

Ubicación. Los afloramientos de la Formación Taraises se encuentran en el poblado El Refugio (La Luz); la unidad se extiende en dirección norte-sur. Aflora ampliamente en el

Sinclinal de Coronado, formando los flancos del pliegue. Al suroeste de Cedral, forma los flancos del anticlinal. Otros afloramientos se encuentran en la parte nororiental de Real de Catorce (Láms. III y IV y Fig. 7).

Extensión. Los principales afloramientos en la parte central de la Sierra de Catorce son longitudinalmente extensos, los cuales alcanzan hasta 22 km en forma no continua. Su amplitud es de 100 m en promedio, y pueden alcanzar una superficie de hasta 25 km².

Expresión Geomórfica. La Formación Taraises destaca en fotografías aéreas en blanco y negro, por exhibirse en afloramientos angostos a manera de bandas rectilíneas que sobresalen por su tono gris intermedio. Se distingue de la Formación La Caja, porque esta última se presenta en bandas delgadas con un tono gris claro. El relieve es ondulado y suave; no se observa desarrollo de drenaje debido a lo angosto de los afloramientos.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. Blauser (1979), midió una sección inmediatamente al NE de Tierras Negras, localidad ubicada dentro del área de estudio, al sur de San Juan de Matanzas, en la porción suroeste de la Sierra de Catorce, donde obtuvo un espesor de 69.6 m para la unidad.

Litología. La Formación Taraises presenta una litología muy variada. En la base la unidad consiste de una calcilitita de color gris claro muy compacta, en estratos de 30 a

60 cm. En la parte media, la unidad consta de calizas arcillosas de color gris claro a lutitas calcáreas de color gris-crema. Presenta estratos delgados con intercalaciones de pedernal negro en bandas y nódulos. En la parte superior la unidad se constituye por calcilutitas de color gris claro, muy compactas con ausencia de pedernal, dispuesta en estratos medianos.

Interpretación Genético-Ambiental. Con base en la litología que presenta la Formación Taraises, se establece que el depósito se realizó durante un cambio transicional de una zona sublitoral a una zona batial, que es expresado por el cambio de la sedimentación arcillosa del Jurásico Tardío, a una sedimentación calcárea del Cretácico Temprano, por lo que se sugiere que esta unidad se depositó en una zona sublitoral externa.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La Formación Taraises descansa en forma aparentemente concordante sobre la Formación La Caja. El cambio es marcado por una sedimentación transicional y gradual de calizas a limolitas calcáreas y lutitas calcáreas de la unidad subyacente (Lámina IX, Fig. B). Sobreyace concordantemente la Formación Tamaulipas, siendo los contactos muy marcados por un cambio en la litología, de calizas arcillosas de la Formación Taraises hacia calizas micríticas con estratificación de delgada a gruesa de la Formación Tamaulipas.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. La unidad se ha reconocido ampliamente en el norte y noreste de México, donde se expone muy homogénea en sentido horizontal; en la Sierra de Parras se identificaron las especies: *Olcostephanus*, *Acanthodiscus* cf. *hystricoides*, *A. sp.*, *A. aff. michaelis*, *Thurmannites* cf. *thurmanni*, *Kilianella* aff. *lucensis*, *Baculites* aff. *neocomiensis* y *Hoplitides*. También se han identificado los amonites *Neocomites* sp., *Thurmanniceras* sp., *Spitidiscus* sp., *Acanthodiscus* sp., y los microfósiles *Calpionellidos* y *Nannocondidos*, por lo cual la unidad se ubica en el Berriasiano-Valanginiano.

Correlación. La Formación Taraises se correlaciona con la Formación Pimienta de la Cuenca Tampico-Misantla, al oriente de la Plataforma Valles-San Luis Potosí; a la vez se correlaciona con la parte inferior del Grupo Mezcalera, descrito en la cuenca del Mar Mexicano (Eguiluz de Antuñano, 1985).

FORMACIÓN TAMAULIPAS

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

Muir (1936), en su estudio denominado "Geology of the Tampico region, Mexico", resume gran parte de las formaciones del Cretácico que anteriormente habían sido nombradas a principios de siglo en informes y publicaciones de geólogos petroleros que exploraban la región de Tampico, Tamps. Cita que "el término Caliza Tamaulipas fue empleado inicialmente por Stephenson (1921), en un reporte privado para la Compañía de Petróleo del Golfo de México. Incluyó calizas de cuenca en el Albiano-Cenomaniano, las cuales están dispersas en la Sierra de Tamaulipas y en el subsuelo de Tampico". Muir (1936), extendió la Caliza Tamaulipas para incluir todo el Cretácico Temprano y la

dividió en dos unidades: Tamaulipas Inferior y Tamaulipas Superior, separadas por un intervalo delgado de lutitas y calizas negras, que denominó "Horizonte Otates". Más tarde Humphrey y Díaz (1956), (citado en Ross, 1979), usaron el término como Formación Otates y la asignaron al Aptiano Tardío. En trabajos diversos realizados con anterioridad en el norte y noreste de México, el término Tamaulipas Inferior ha sido reemplazado por el de Formación Cupido, la cual fue descrita por Imlay (1937). Tamaulipas Superior se ha substituido por Formación La Peña, también descrita por Imlay (1936).

ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Asignación Litoestratigráfica. En el área de estudio la Formación Tamaulipas es una secuencia de calizas criptocristalinas de color gris claro, que en otras áreas se ha identificado y dividido en las formaciones Tamaulipas Inferior y Superior, debido al contenido de estratos gruesos hacia la parte inferior y estratos delgados hacia la parte superior. Estos atributos se observan en el área de estudio, así como la litología que caracteriza la unidad, que son intercalaciones de bandas y bandas onduladas de pedernal negro y esporádicos nódulos de pedernal de color gris. También son abundantes los nódulos pequeños de hematita, y con frecuencia se observan belemnites. La formación se reconoce con claridad en el área, debido a las relaciones estratigráficas que mantiene con las formaciones Taraises y Cuesta del Cura. El término Formación Tamaulipas se utiliza preferentemente en vez de sus divisiones Inferior y Superior, debido a la dificultad para discriminar estas divisiones tanto en fotografías como en el campo.

Ubicación. Esta unidad aflora ampliamente en la parte central de la zona de estudio (Láms. III y IV, Fig. 7); ocupa el flanco occidental del anticlinorio que constituye la Sierra de Catorce, donde se distingue por sus afloramientos prominentes de calizas en estratificación que varía de delgada a gruesa.

Extensión. La Formación Tamaulipas es la unidad con mayor exposición en el área; ocupa una superficie de 161 km² (aproximadamente 1/3 del total), sus afloramientos se distribuyen principalmente y de manera muy extensa hacia los flancos y cresta del anticlinorio que constituye la Sierra de Catorce, con una orientación preferencial nortesur.

Expresión Geomórfica. En fotografías aéreas en blanco y negro, se caracteriza por presentar un tono gris claro, drenaje dendrítico espaciado, con geoformas abruptas y onduladas; en algunas barrancas presenta relieve de escarpes abruptos. Los criterios para fotointerpretar a la Formación Tamaulipas son muy similares a los usados para la Formación Zuloaga; la determinación o diferenciación correcta entre ellas, se obtiene solamente al realizar la verificación en campo. En afloramientos también son muy similares dichas unidades, por lo cual es muy importante conocer su contenido litológico y considerar la posición estratigráfica.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. En el área de estudio, Ross (1979), dividió la formación en tres unidades y midió una sección al NE de Tierras Negras, donde obtuvo un espesor total de 285 m para esta unidad.

Litología. La Formación Tamaulipas consiste básicamente de calizas criptocristalinas de color gris claro. En este estudio no se dividió en los miembros que se le han identificado en otras áreas (Inferior y Superior), por no distinguirse con claridad en el mapeo con fotografías aéreas. Sin embargo, en los afloramientos se puede observar el comportamiento de los estratos, dispuestos preferentemente hacia la parte inferior, como estratos horizontales delgados de 10 a 20 cm, con un cambio muy notable hacia la parte superior de la unidad, donde los estratos se comportan uniformes, alcanzando un espesor de 1.10 m. Contienen una intercalación de bandas de pedernal negro y nódulos esporádicos de pedernal de color gris, y en otras ocasiones se expone como estructuras boudinage. También son abundantes los nódulos pequeños de hematita (característico en la Formación Tamaulipas) y es muy frecuente la presencia de belemnites. El espesor de los estratos es muy homogéneo cuando son delgados o gruesos. Presentan líneas estilolíticas y algunos planos de estratificación son ondulantes; cuando adquieren una tonalidad rojiza, es debido a la presencia de arcillas.

Interpretación Genético-Ambiental. Con base en el contenido de calizas criptocristalinas y en la presencia de pedernal, así como la ausencia de estructuras de turbiedad, se sugiere que el depósito de la Formación Tamaulipas se efectuó en una cuenca en subsidencia.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

En la parte central de la Sierra de Catorce, la secuencia estratigráfica mantiene una superposición ordenada, ya que descansa concordantemente en la Formación Taraises y subyace a la Formación Cuesta del Cura. En el Arroyo El Mimbres la

Formación Zuloaga cabalga sobre la Formación Tamaulipas. En el flanco occidental de la Sierra de Catorce y hacia el norte, la unidad sobreyace de manera discordante a las capas rojas de la Formación Real de Catorce, y a la vez descansa discordantemente sobre la Formación Zuloaga, debido al deslizamiento que sufrió la cobertura carbonatada, lo que es expresado por *décollement*, a la vez subyace concordantemente a la Formación Cuesta del Cura.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. Con base en la posición estratigráfica que mantiene con el resto de la secuencia estratigráfica, se considera que esta unidad es asignable al intervalo Hauteriviano Temprano-Aptiano Tardío.

Correlación. La Formación Tamaulipas es equivalente a la Formación Cupido del norte de México (Humphrey y Díaz, 1956); se correlaciona con la Formación Guaxcamá de la Plataforma Valles-San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1971), y con las formaciones Edwards-Glen Rose del sur de Texas (Enos, 1974).

FORMACIÓN CUESTA DEL CURA

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

Imlay (1936, p. 1125), fue quien definió la Caliza Cuesta del Cura. Asignó como localidad tipo la Cuesta del Cura, a unos 6.4 km al oeste de Parras, Coah., donde se exponen 65 m de calizas gris oscuro con estratificación ondulante y vetillas de pedernal. En la localidad tipo, sobreyace a la Caliza Aurora y subyace concordantemente a la Formación Indidura.

ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Asignación Litoestratigráfica. En el área se designa como Formación Cuesta del Cura, a una secuencia de calcilutitas de color gris oscuro en estratos de 10 a 25 cm de espesor con intercalaciones de pedernal negro en bandas delgadas, interestratificadas con lutitas calcáreas de tonalidades violáceas en estratos de 5 a 25 cm de espesor. Los estratos presentan un replegamiento local y contienen abundante fauna de amonites donde destacan las especies de *Turrilites*. La formación ha sido reconocida por su litología y el replegamiento, que es una característica regional de la Formación Cuesta del Cura, y por la ubicación estratigráfica que mantiene con las formaciones Tamaulipas y Agua Nueva.

Ubicación. Los mejores afloramientos de la Formación Cuesta del Cura constituyen los flancos oriental y occidental del anticlinorio de Catorce (Láms. III y IV, Fig. 7). La sección más completa se expone en el camino que va de Wadley a San Antonio de Coronado. Otros afloramientos están en la parte central y norte de la Sierra de Catorce; además, aflora en el Cerro El Fraile al occidente de La Paz.

Extensión. La Formación Cuesta del Cura se destaca en el área por ocupar principalmente los bordes exteriores de los flancos y la nariz del anticlinorio de la Sierra de Catorce. Presenta una orientación preferencial norte-sur y longitudinalmente, tiene afloramientos que varían de 500 m a 1,600 m en exposición, manteniendo paralelismo con los afloramientos de la Formación Tamaulipas. Se estima una superficie total de exposición para la unidad de 50 km².

Expresión Geomórfica. En fotografías aéreas en blanco y negro la Formación Cuesta del Cura es muy característico un relieve de lomas onduladas y suaves, drenaje dendrítico espaciado y un tono gris claro. Un rasgo sobresaliente está en el flanco oriental del Anticlinorio de Catorce, donde la inclinación de sus estratos en dirección de aguas abajo, muestra formas de “V” y los afloramientos se extienden en dirección N-S.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. En el área de estudio, no se midió el espesor de la Formación Cuesta del Cura, debido al replegamiento que presenta la unidad, pero en una sección recorrida entre Wadley y San Antonio de Coronado, se estimó en 150 m.

Litología. Consiste de una secuencia de calcilutitas de color gris oscuro en estratos delgados de 10 a 25 cm, con intercalación de pedernal negro en bandas delgadas; contiene abundante fauna de amonites, donde destacan los *Turrilites*. Las calizas están interestratificadas con lutitas calcáreas en tonos violáceos, en estratos de 5 a 25 cm. La unidad se caracteriza por la homogeneidad de los estratos delgados y por presentar un plegamiento local. En el Cerro El Fraile la unidad se encuentra recristalizada por efectos de metamorfismo de contacto, generado por la existencia del intrusivo de granodiorita.

Interpretación Genético-Ambiental. La sedimentación observada en la Formación Cuesta del Cura, sugiere que el depósito se efectuó en una cuenca de aguas profundas, con la cual alcanzó la máxima subsidencia marina que se registró durante el Cretácico Medio-Tardío, considerando desde luego, que al oriente existía el depósito de carbonatos de la Formación El Abra sobre una plataforma estable.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

En el flanco occidental y el norte del anticlinorio de la Sierra de Catorce, la Formación Cuesta del Cura descansa en forma concordante sobre la Formación Tamaulipas y sus contactos superiores son truncados por una falla normal regional que marca el límite entre la Sierra de Catorce y el Valle de Vanegas. Otras veces la unidad está cubierta en forma discordante por los depósitos de piedemonte y abanicos aluviales. En Cerro El Fraile, la Formación Cuesta del Cura subyace concordantemente a la Formación Agua Nueva, y a la vez, está intrusionada por un tronco de granodiorita.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. Imlay (1936), al definir la Formación Cuesta del Cura no identificó fósiles para su fechamiento. Córdoba-Méndez (1965), cita que Lee (1963), reportó *Turrilites* (?) y *Aniscoceras* (?); sin embargo, no son suficientes diagnósticos para precisar la edad de la unidad. Ice (1979), encontró *Rotalipora apenninica* del Albiano Temprano y Medio, *Globigerinelloides breggiensis* del Albiano Medio, *Planomalina buxtorfi* del Albiano Tardío, y *Rotalipora cushmani* del Cenomaniano Tardío. Con base en la información anterior y de acuerdo con la posición estratigráfica que guarda con las formaciones Tamaulipas y Agua Nueva en el área de estudio, la Formación Cuesta del Cura se asigna al Albiano-Cenomaniano.

Correlación. Esta unidad se correlaciona en edad con la Formación El Abra de la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

FORMACIÓN AGUA NUEVA

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

El término Agua Nueva lo introdujo Stephenson (1922), para una sección de calizas con pedernal, intercaladas con lutitas negras carbonosas, que aflora en el Cañón de la Borrega, cerca del Rancho Agua Nueva, Tamaulipas (*fide* Carrillo-Bravo, 1971). Heim (1940) y Seibertz y Buitrón-Sánchez (1988), utilizaron el término "Xilitla" como sinónimo de Agua Nueva (*fide* Suter, 1990). Soto (1981), la ubica en el Cenomaniano-Turoniano, con base en foraminíferos planctónicos encontrados en la localidad tipo.

ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Asignación Litoestratigráfica. En el área de estudio se designa como Formación Agua Nueva a la unidad caracterizada por una secuencia de calizas de aspecto laminar de color gris claro a café, en estratos delgados, con intercalaciones de lentes y bandas de pedernal negro, ambas interestratificadas con calizas arcillosas de estructuras laminares dispuestas en estratos delgados, de color gris oscuro. Su ubicación espacial se encuentra entre las formaciones Cuesta del Cura y San Felipe. Es posible que los afloramientos de esta unidad puedan ser reconocidos por otros autores como la Formación Indidura, con base en la posición estratigráfica que guarda dentro de la Cuenca Mesozoica del Centro de México (Carrillo-Bravo, 1968), la cual se extiende ampliamente en la región central de la República Mexicana. Sin embargo, la Formación Agua Nueva constituye el depósito de cuencas profundas aledañas a la Plataforma Valles-San Luis Potosí, (Carrillo-Bravo, 1971).

Ubicación. Los mejores afloramientos de la Formación Agua Nueva están inmediatamente al noroeste de San Antonio, en la zona terminal del Anticlinorio de Catorce y en el distrito minero La Paz (Lám. III y Fig. 7), donde constituye gran parte del Cerro El Fraile, y continúa extendiéndose hacia el sur a manera de lomas suaves y extensas.

Extensión. Los afloramientos de la Formación Agua Nueva se distribuyen de manera aislada en el área de estudio, como por ejemplo al norte de la Sierra de Catorce, por el camino que conduce a la población de Real de Catorce o en el Cerro El Fraile donde afloran longitudinalmente en dirección norte-sur a lo largo de la prominencia topográfica. Otros afloramientos se observan en la porción sur del flanco oriental de la sierra. La superficie total acumulada de afloramientos de la unidad se estima en 30 km².

Expresión Geomórfica. En el área de estudio la unidad se caracteriza por presentar lomas extensas con un relieve en ondulaciones suaves, y por la presencia de un drenaje dendrítico espaciado.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. Wiedmann (1979) midió una sección para la Formación Agua Nueva en el Cerro El Fraile, donde obtuvo un espesor de 270 m.

Litología. Consiste de una secuencia de calizas con estructura laminar de color gris claro a café, dispuestas en estratos delgados, que son calcarenitas de grano fino y presentan lentes y bandas de pedernal negro, interestratificadas con estratos delgados de calizas arcillosas laminares de color gris. En el presente estudio se observaron

impresiones de fósiles que se identificaron como *Inoceramus labiatus*. En la ladera oriental y en la parte superior del Cerro El Fraile la unidad se encuentra metamorfoseada por el contacto con el intrusivo de granodiorita.

Interpretación Genético-Ambiental. La litología de la unidad expresada por la interestratificación calcáreo-arcillosos y por el contenido de pedernal, indica que el depósito se efectuó en una cuenca profunda, en condiciones inestables cercana a una fuente de material terrígeno.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

En el área de estudio, al norte de Real de Catorce, la Formación Agua Nueva sobreyace a la Formación Cuesta del Cura, donde sus contactos son transicionales y concordantes; a la vez subyace de manera concordante y transicional a la Formación San Felipe.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. Por la posición estratigráfica que mantiene en el área con las formaciones Cuesta del Cura y San Felipe, y con base en la edad de los foraminíferos planctónicos identificados en la Formación Agua Nueva (Soto, 1981), la unidad se ubica entre el Cenomaniano Tardío y el Turoniano.

Correlación. La Formación Agua Nueva se correlaciona en edad con la Formación Indidura de la Cuenca Mesozoica del Centro de México y con las formaciones Soyatal y Tamasopo Inferior de la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

FORMACIÓN SAN FELIPE

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

El nombre fue introducido por Jeffreys (1910), en la localidad del Rancho San Felipe, S.L.P. (*vide* Carrillo-Bravo, 1971), donde describe a la unidad como un cuerpo de calizas de grano fino a medio con intercalaciones de lutitas gris olivo y bentonita verde esmeralda, del Senoniano (Coniaciano al Campaniano). Anteriormente De Cserna (1956), cita que la unidad fue nombrada por Jeffreys (1910) y descrita por (Muir, 1936). Pessagno (1969), la determinó con una edad Coniaciano Temprano en la localidad tipo y Soto (1981), ubica a la Formación San Felipe entre el Coniaciano-Campaniano Medio, en el Cañón de La Borrega, ambas determinaciones con base en foraminíferos pelágicos. Seibertz (1988), define una localidad neotipo al oeste de Ciudad Valles, S.L.P., y la ubica del Coniaciano Tardío al Campaniano.

ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Asignación Litoestratigráfica. La Formación San Felipe fue identificada en la zona norte y norte-oriental de la Sierra de Catorce, donde se expone como una secuencia de calcarenitas a calcilutitas de color gris a violáceo, en estratos medianos interestratificados con lutitas calcáreas que varían a limolitas calcáreas de color gris a violáceo en estratos gruesos con estructura laminar. El depósito corresponde a la sedimentación que provenía de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, la cual se encontraba en ascenso, aportando la sedimentación hacia las zonas aledañas profundas en un ambiente sublitoral a batial.

Ubicación. En el área de estudio, la Formación San Felipe tiene sus mejores afloramientos en la porción occidental del Cerro El Fraile (Lám. III y Fig. 7), donde se extiende hacia el sur a manera de una franja irregular continua. Otros afloramientos pequeños y aislados se observan al norte y al suroeste de la Sierra de Catorce.

Extensión. La Formación San Felipe aflora principalmente al oeste y sureste de La Paz, en la ladera occidental y hacia el sur del Cerro El Fraile. La superficie total de sus afloramientos alcanza los 20 km².

Expresión Geomórfica. La unidad se caracteriza por presentar un relieve de lomas suaves, onduladas y extensas; en fotografías aéreas en blanco y negro se identifica por presentar un tono gris claro y un drenaje dendrítico espaciado.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. La Formación San Felipe se observó al noroeste del Cerro El Jabonero, donde se midió una sección incompleta de 60 m de espesor, y en la ladera occidental del Cerro El Fraile, por la población El Jato, se estima en 70 m. Wiedmann (1979), en la medición de una columna estratigráfica realizada en el Cañón del Muerto en el área del Cerro El Fraile, estimó un espesor de 38 m, debido a los contactos gradacionales que presenta la unidad; sin embargo, sugiere que el espesor podría alcanzar 50 metros.

Litología. Consiste de una secuencia interestratificada de calcarenitas a calcilitas de color gris con tonalidades violáceas, en estratos medianos de 25 a 40 cm, con lutitas calcáreas que varían a limolitas calcáreas de color gris con tonalidades violáceas en

estratos de 70 cm con estructura laminar. La unidad interperiza a un color café-rojizo, y la ausencia de pedernal la hace distintiva de la Formación Agua Nueva.

Interpretación Genético-Ambiental. Con base en la litología calcáreo-arcillosa de la Formación San Felipe, esta se depositó en una cuenca de aguas profundas, en condiciones inestables, con un considerable aumento de arcillas hacia la cima de la unidad y ausencia de pedernal.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Al norte de Real de Catorce, la Formación San Felipe descansa en forma concordante y transicional sobre la Formación Agua Nueva, y su cima se encuentra expuesta a los efectos de la erosión. Por otra parte, en el Cerro El Fraile, donde los afloramientos son más extensos, su base descansa en forma transicional y concordante sobre la Formación Agua Nueva y sobreyace a la Formación Méndez, también en forma transicional y concordante.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. En los estudios mencionados anteriormente, le asignan una edad generalizada Coniaciano-Campaniano, con base en los foraminíferos, y por su posición estratigráfica en otras localidades. Sin embargo, en el área de estudio, es probable que el depósito se inició durante el Turoniano, con base en las impresiones de los *Inoceramus labiatus*.

Correlación. La Formación San Felipe se correlaciona con la parte superior de la Formación Indidura, con gran parte de la Formación Caracol de la Cuenca Mesozoica

del Centro de México y con las formaciones Soyatal y Tamasopo, de la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

FORMACIÓN MÉNDEZ

CONSIDERACIÓN HISTÓRICO-TAXONÓMICO-NOMENCLATORIAL

Jeffreys (1910) en un reporte inédito utilizó por primera vez el nombre Méndez, para las lutitas que sobreyacen a la Formación San Felipe, (*fide* Muir, 1936). Las capas afloran en una sección de 300 m en la localidad tipo, al este de la Estación Méndez (km 629.3, a un costado de la vía de ferrocarril San Luis-Tampico), donde se ubica en el Maastrichtiano. Sólo la porción superior de las capas aflora en esa localidad, la cual representa facies de aguas someras. Los estratos de lutitas rojizas son masivos, presentan exfoliación en terrones semiesferoidales en el mismo nivel debido a meteorización, y cambian a fragmentos subangulares. La unidad es rica en foraminíferos. Pessagno (1969), indica que la fauna de la Formación Méndez abarca del Campaniano Temprano al Maastrichtiano Tardío en la región de Ciudad Valles, San Luis Potosí.

ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Asignación Litoestratigráfica. La Formación Méndez fue identificada en el área de estudio, al occidente de La Paz, entre la Sierra de Catorce y el Cerro El Fraile, donde tiene afloramientos muy extensos. Consiste de calizas de color gris oscuro en estratos gruesos, interestratificadas con lutitas calcáreas de color verde olivo que intemperizan a un color ocre. También presenta estratos gruesos con estructura laminar. Estas son

características muy peculiares e inconfundibles de la unidad. En el área de estudio esta unidad se ha llegado a confundir con la Formación Caracol, por la ubicación geográfica que guarda con respecto a la Cuenca Mesozoica del Centro de México, y por el color “verde olivo” característico de ambas unidades. Sin embargo, la litología de la Formación Méndez, rica en carbonatos, es diferente a la litología de los terrígenos contenidos en la Formación Caracol, así como su posición estratigráfica que guarda con las unidades depositadas en el borde extralitoral de la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

Ubicación. Los mejores afloramientos se exhiben alrededor del Cerro El Fraile (Lám. III y Fig 7), principalmente hacia su ladera occidental, entre las poblaciones El Jato y Limones; hacia el sur se extiende desde el Arroyo la Boca, hasta Los Laureles, para continuar en ese sentido sus exposiciones. Otros afloramientos pequeños se observan al norte del Anticlinorio de Catorce en la zona terminal del pliegue.

Extensión. Los únicos afloramientos de la unidad expuestos en el área estudiada entre la Sierra de Catorce y el Cerro El Fraile, alcanzan una superficie total de 11.5 km².

Expresión Geomórfica. El relieve de la Formación Méndez se expresa por lomas onduladas suaves y extensas, con un patrón de drenaje dendrítico muy denso. Se caracteriza por su color verde olivo, aspecto que la hace diferente de otras unidades estratigráficas expuestas en el área de estudio.

ESPESOR, LITOLOGÍA E INTERPRETACIÓN GENÉTICO-AMBIENTAL

Espesor. Wiedmann (1979), obtuvo 100 m de espesor incompleto para la Formación Méndez en una sección estratigráfica medida en el Cañón del Muerto en el área del Cerro El Fraile, al occidente de la Paz.

Litología. Hacia la base consiste de una interestratificación de calizas de color gris oscuro en estratos gruesos de 80 cm de espesor, con lutitas calcáreas de color verde olivo, que intemperizan a un color ocre, en estratos de 80 cm de espesor, con una estructura laminar muy peculiar. De la parte media hacia la cima de la unidad, las lutitas tienen estratos con espesores hasta de 1.10 m y los estratos de calizas alcanzan solamente de 5 a 12 cm.

Interpretación Genético-Ambiental. La sedimentación de la Formación Méndez es típica de borde de plataforma y la presencia de foraminíferos planctónicos identificados en otras localidades, sugiere que el depósito se efectuó en el dominio de aguas pelágicas en una zona batial, cercana a la Plataforma de Valles- San Luis Potosí.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La Formación Méndez sobreyace concordantemente a la Formación San Felipe, y su contacto es transicional; esta relación se observa con claridad en el Arroyo la Boca. La cima de la unidad carece de cobertura, encontrándose expuesta a la erosión.

EDAD Y CORRELACIÓN

Edad. La edad de la Formación Méndez con frecuencia es referida al Maastrichtiano; sin embargo, Pessagno (1969), la asigna al Campaniano Tardío-Maastrichtiano en la región de Ciudad Valles, S.L.P., con base en los foraminíferos identificados en aquella localidad. En el estudio presente, con base en la posición estratigráfica que guarda con la Formación San Felipe que le subyace, y de acuerdo con Pessagno (1969), la unidad se ubica entre el Campaniano Tardío y Maastrichtiano.

Correlación. La Formación Méndez se puede correlacionar con la Formación Cárdenas de la Plataforma Valles-San Luis Potosí y con la parte superior de la Formación Caracol de la Cuenca Mesozoica del Centro de México.

4.2. ERATEMA CENOZOICO

4.2.A. *Sistema Terciario*

UNIDAD INFORMAL TRONCO LA PAZ (Taxon Litoestratigráfico Nuevo)

DEFINICIÓN, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Definición. Se propone el taxon litoestratigráfico “unidad informal tronco La Paz”, con base en los Arts. 22 (g), 26 (a) y 30 (h) del Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 1983), para los plutones de composición granodiorítica, que afloran en los cerros El Fraile y Dolores, los cuales se ubican inmediatamente al poniente del poblado La Paz, de donde deriva el nombre de la unidad. Cabe señalar que la unidad no aflora en toda la extensión de las prominencias topográficas citadas, más bien, se reconoce por la aureola de metamorfismo que se ha generado en torno a ella.

Ubicación. La “unidad informal tronco La Paz”, se localiza únicamente en los cerros El Fraile y Dolores, al poniente del poblado La Paz (Lám. III, Fig.7).

Extensión. Tomando como referencia los cerros El Fraile y Dolores, la unidad pudiera extenderse longitudinalmente por 3.0 km en dirección norte-sur y con una amplitud de 1.5 km. Cubre una superficie de 2.0 km²,aproximadamente.

Expresión Geomórfica. Los cerros El Fraile y Dolores, tienen forma de una elipse alargada hacia su base, orientada en dirección norte-sur, y hacia las cimas de los cerros destacan a manera de conos invertidos, caracterizando patrones de drenaje radiales.

LITOLOGÍA

Consiste de una roca intrusiva de textura porfídica crasocristalina, con una mineralogía de plagioclasas, identificadas como oligoclasa, que predominan sobre el cuarzo, y la matriz está constituida de feldespato potásico. El color varía de blanco a un rosa pálido. Presenta con frecuencia una alteración argílica muy marcada. Como accesorios contiene biotita en abundancia y hornblenda, por lo que se clasifica como granodiorita.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Los troncos de granodiorita de los cerros El Fraile y Dolores, se emplazan en las formaciones Cuesta del Cura y Agua Nueva, las cuales exhiben una aureola metamórfica de alto a bajo grado.

RADIOISOTOPÍA Y EDAD

En el Cerro Dolores, Tuta *et al.*, (1988), obtuvieron un fechamiento para el cuerpo intrusivo, donde utilizaron el método $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ en biotitas, el cual arrojó una edad de 35.7 ± 1 Ma. Con base en lo anterior la unidad se ubica en el Oligoceno Temprano.

UNIDAD INFORMAL METAMÓRFICA EL FRAILE (Taxon Litoestratigráfico Nuevo) ASIGNACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Asignación Litoestratigráfica. Con base en los Arts. 22 (g), 26 (a) y 30 (h) del Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 1983), se asigna el nombre de “unidad informal metamórfica El Fraile”, para una aureola de rocas metamórficas constituida de “skarns” y mármoles, la cual aflora en el Cerro El Fraile (de donde deriva el nombre de esta unidad), localizado inmediatamente al poniente del poblado La Paz. La unidad es el producto del metamorfismo de contacto, entre los troncos de granodiorita que se emplazaron entre las formaciones Cuesta del Cura, Agua Nueva y San Felipe, en el distrito minero La Paz. De las rocas metamórficas existentes, el “skarn” es el más abundante y de mayor interés, por contener minerales metálicos de rendimiento económico, en tanto, los mármoles se distribuyen en menor proporción.

Ubicación. La unidad aflora únicamente entre los cerros El Fraile y Dolores (Lám. III), inmediatamente al occidente del poblado La Paz.

Extensión. Los afloramientos de la unidad informal metamórfica El Fraile alcanzan una superficie de 3.0 km^2 , siendo el área de mayor exposición el Cerro El Fraile, el cual

representa las dos terceras partes del total de la unidad. Sin embargo, la extensión de la aureola metamórfica es mayor, ya que solamente se mapearon las áreas que manifiestan metamorfismo de alto grado, y no así, las de metamorfismo de bajo grado.

Expresión Geomórfica. La unidad metamórfica adopta parcialmente los rasgos morfológicos de la unidad informal tronco La Paz, es decir, una forma elíptica alargada hacia la base con dirección norte-sur y escarpada hacia las cimas de los cerros El Fraile y Dolores, en forma de conos invertidos, adoptando patrones de drenaje radial.

ESPESOR Y LITOLOGÍA

De acuerdo con su naturaleza genética, la unidad puede alcanzar un espesor hasta de 150 m como máximo. El skarn es una mezcla de silicatos cálcicos-alumínicos que varía en su contenido mineralógico y características físicas y texturales a medida que se alejan del intrusivo. En muestras de mano las rocas metamórficas cercanas al intrusivo presentan una textura de grano fino; son de color verde oscuro; contienen hedenbergita, cuarzo y esfena como minerales de ganga y las menas de cobre están como carbonatos y sulfuros. Una característica especial, es el pedernal de la Formación Cuesta del Cura, el cual cambia del color negro original a un gris claro por recristalización, como se observa en la Mina de Dolores. Las rocas ubicadas en la parte media de la aureola metamórfica (con respecto al alejamiento del intrusivo) exhiben una textura de grano grueso, son de color café-rojizo oscuro, contienen cristales de granate de la variedad andradita; además se le observan granos pequeños de diopsida, cuarzo, calcita, fluorita, y la variedad fibrosa de tremolita-actinolita. En la zona metamórfica más alejada del intrusivo, las rocas muestran una textura de grano fino, son de color

amarillo-rojizo pálido, contienen piroxenos, wollastonita, granates de la variedad grosularita, cuarzo granular y calcita.

Por otra parte, el mármol es el producto resultante de la recristalización entre el intrusivo y las calizas puras, con ausencia de silicatos. Se distribuye en bandas irregulares en la zona metamórfica del Cerro El Fraile. En muestras de mano presenta una textura granoblástica de grano grueso, de color blanco con tonos de color crema.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La unidad informal metamórfica El Fraile, presenta una mineralogía transicional de reemplazamiento muy peculiar. Hacia el intrusivo la granodiorita se comporta gradualmente como un endoskarn y hacia las unidades sedimentarias se expone como un exoskarn típico, el cual disminuye en la medida que se aleja del intrusivo, produciendo un metamorfismo incipiente hasta llegar a desaparecer.

EDAD

Con base en el fechamiento de 35.7 ± 1.0 Ma, obtenido por Tuta *et al.*, (1988), para el tronco de granodiorita que aflora en el Cerro Dolores y considerando que la unidad informal metamórfica El Fraile es el producto de la intrusión con las formaciones cretácicas preexistentes, la unidad se ubica en el Oligoceno Temprano.

*UNIDAD INFORMAL BASALTO LA DESCUBRIDORA (Taxon Litoestratigráfico
Nuevo)*

DEFINICIÓN, UBICACIÓN, EXTENSIÓN Y EXPRESIÓN GEOMÓRFICA

Definición. Se propone el taxon litoestratigráfico “unidad informal basalto La Descubridora”, con base en los Arts. 22 (g), 26 (a) y 30 (h) del Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 1983), para el conjunto de derrames basálticos existentes en Sierra de Catorce, Consiste de una roca volcánica clasificada como basalto toleítico. El nombre de la unidad fue tomado del Cerro La Descubridora, ubicado a 1 km al NW del afloramiento más extenso de basaltos en la zona de estudio. Las rocas extrusivas máficas que afloran en la región, se asocian con la actividad basáltica alcalina-básica, ocurrida en el centro de México, en los campos Los Encinos, Ventura-Espíritu Santo y San Luis Potosí (Aranda-Gómez, 1989).

Ubicación. En el área se observan cinco sitios con derrames de basalto. El más extenso ubicado a 1 km al SE del Cerro La Descubridora; otro localizado inmediatamente al norte de Real de Catorce, y los otros afloramientos se localizan hacia el norte del Graben El Potrero, en Cerro de la Cruz y en la porción septentrional del Cerro El Fraile (Láms. III y IV y Fig. 7).

Extensión. La superficie cubierta por la unidad basáltica en las diferentes exposiciones dentro del área, alcanza 1.2 km², siendo el afloramiento más sobresaliente el que se localiza al SE del Cerro La Descubridora.

Expresión Geomórfica. Los derrames se caracterizan por presentar formas suaves sin relieve y sobresalen de las unidades sedimentarias por su color café oscuro y por la ausencia de un patrón de drenaje definido.

LITOLOGÍA

Consiste de una roca de color negro, de textura afanítica con fragmentos de vidrio de color café oscuro a negro de 2 a 20 mm de tamaño que intemperiza a un color gris oscuro, y varía a una roca tipo escoria de color café rojizo con textura afanítica y estructura vesicular. En sección delgada se clasificó como un basalto toleítico, por su composición de plagioclasas cálcicas predominantes y por la ausencia de olivino.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Al norte de Real de Catorce, la unidad basáltica sobreyace por contacto no concordante a la Formación Zuloaga, al sur de San Antonio; el contacto es lateral con la Formación Agua Nueva, al norte del Cerro El Fraile. Los basaltos están rodeados por depósitos de piedemonte, y al sureste de la población El Jato, sobreyace por contacto no concordante sobre la Formación Méndez.

EDAD E INTERPRETACIÓN GENÉTICA

En la Provincia Geológica Zacatecana se registró una actividad basáltica alcalina-básica durante el Plioceno, la cual alcanzó hasta el Cuaternario (Larson, 1972); además se establece con base en la composición y la distribución espacial que tienen los derrames basálticos del área, que éstos se pueden relacionar a un mismo evento; a la vez se pudieran asociar con la actividad volcánica del campo Los Encinos (Terciario

Tardío), ubicados al occidente de la Sierra de Catorce. También se pueden relacionar genéticamente con la formación del Proto-Golfo de California y el desarrollo del primer fondo oceánico, o bien con la generación de un nuevo sistema de fallas que generó una actividad efusiva, caracterizada por derrames basálticos y por cráteres de explosión en la región, con la emanación de basaltos alcalinos con xenolitos del manto.

4.2.B. **Sistema Cuaternario**

DEPÓSITOS ALUVIALES

Los depósitos aluviales ocupan una superficie de 460 km² (= 49.19% del área estudiada) y se extienden en las planicies que rodean la Sierra de Catorce; hacia el occidente se extienden de sur a norte en dirección de Estación Wadley a Estación Vanegas, de ahí continúan hacia el noreste del área, incluyendo la población de Cedral, y posteriormente continúan hacia el oriente, rodeando al Cerro El Fraile. Los sedimentos aluviales presentan una división textural muy variable de acuerdo con sus geoformas; por una parte los depósitos de planicies horizontales se caracterizan por presentar mala clasificación, los materiales que lo constituyen varían de tamaño de guijarros hasta arcillas. La composición mineralógica es muy heterogénea, con predominio de fragmentos de caliza, y no presentan un arreglo en la textura, ni en la estratificación.

Por otra parte, los depósitos en planicies inclinadas se asocian a conos de eyección; se caracterizan por sus formas geométricas de medio-cono recostado, inclinado, y con el ápice aguas arriba. Normalmente ocupan las desembocaduras de las disecciones existentes en la parte occidental de la Sierra de Catorce, donde sobresalen

por un cambio topográfico de planicies suavemente inclinadas a planicies horizontales. Se constituyen de material clástico que proviene de las calizas que integran la secuencia posoxfordiana, principalmente; en menor proporción por clastos de capas rojas, cuarzo y rocas volcánicas posoxfordianas y por limos y arcillas. Su clasificación granulométrica es mala, pero con una tendencia gradacional de los fragmentos mayores hacia la parte superior y menores hacia la parte inferior de los conos, y no presentan estratificación. El clima árido que ha caracterizado la región, ha contribuido en gran medida al origen de los conos de eyección, por la acción de lluvias torrenciales durante las épocas de lluvia.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La Sierra de Catorce es un anticlinorio que se eleva a manera de un pilar tectónico, cuya orientación preferencial es de norte-sur, con buzamiento hacia el norte. Sus flancos están delimitados por fallas normales muy extensas con orientación N-S, similar a la estructura principal. La región se caracteriza por un sistema de pliegues abiertos con ejes axiales que se orientan entre N 10° E y N 20° E. Una discordancia tectónica identificada como décollement, se observa entre las secuencias pre-oxfordiana y posoxfordiana. Un bloque estructural ascendente que ocupa una extensa superficie en la zona centro-oriental de Real de Catorce, denominado Bloque Principal, presenta una orientación norte-sur, con un basculamiento evidente en dirección de occidente a oriente, en el cual predominan las unidades estratigráficas del pre-Oxfordiano. Una depresión, de forma aproximadamente rectangular, constituye el hundimiento El Potrero, ubicado en la parte norte-central del área. La existencia de dos fallas de cabalgadura, se comprobó en la porción centro-oriental y oriental de Tierras Negras. A la vez se manifiestan dos fallas normales de orientación E-W (sistema perpendicular al principal) las cuales se ubican en la porción norte de la zona de estudio (Láms. III, IV y V). A continuación se describen los principales rasgos estructurales.

5.1. Pliegues

De la secuencia estratigráfica preoxfordiana, la Formación Zacatecas es la unidad que presenta deformación avanzada; por ejemplo, el plegamiento está enmascarado por la foliación abundante impresa; la "toba Cañón General" presenta

muchas vetas de segregación de cuarzo. Por otra parte, la Formación Real de Catorce presenta plegamiento, así como estructuras singenéticas de interestratificación cruzada; en general, la posición estructural de las rocas preoxfordianas difieren del patrón estructural de pliegues y fallas que presentan las unidades posoxfordianas sobreyacentes, lo cual indica que la Formación Zacatecas ha estado expuesta por lo menos a dos etapas compresivas deformantes, mientras que el resto de la secuencia estratigráfica, solamente ha sido afectada por la deformación laramídica.

Anticlinorio de Catorce

La Sierra de Catorce es un anticlinorio, caracterizado por la orientación preferencial de su eje norte-sur y con buzamiento hacia el norte. Tiene una extensión longitudinal de 50 km y una amplitud de 15 km, en promedio. La estructura regional presenta un sistema de pliegues abiertos y un sistema de fallas normales con orientación predominante norte-sur. El núcleo del anticlinorio está constituido principalmente por las unidades descritas como Formación Zacatecas, toba Cañón General y las capas rojas de la Formación Real de Catorce. Los flancos y la cima de la estructura están constituidos por la cobertura de sedimentos marinos posoxfordianos. El anticlinorio de Catorce forma parte del sistema estructural de la Provincia Geológica Zacatecana, en su porción oriental.

Sistema de pliegues

En la parte central de la Sierra de Catorce existe un sistema de pliegues abiertos impresos sobre la cobertura marina, caracterizados por la orientación preferencial de los ejes con rumbos entre N 10° E y N 20° E, con inclinaciones de 20° a 30° y algunos

llegan a presentar buzamiento hacia el norte. Hacia el noreste de Real de Catorce existen dos pliegues recostados que mantienen la orientación preferencial del sistema general de los pliegues, es decir noreste, pero están recostados hacia el oriente. La profundidad del plegamiento afecta solamente a la cobertura marina, sin penetrar a la secuencia preoxfordiana. Los rasgos estructurales expuestos se identifican con facilidad en fotografías aéreas.

5.2. Décollement

Como resultado de la Orogenia Larámide, en su fase compresional se produjo despegue de la cobertura marina posoxfordiana, sobre la secuencia preoxfordiana. Las mejores evidencias se observan hacia la base de la Formación Zuloaga, donde se expresa como una superficie discordante y ocasionalmente se ausenta su Miembro Inferior, sobreyaciendo de manera discordante al Miembro Superior sobre las capas rojas. En diversos sitios la Formación Zuloaga presenta hacia la base estratos horizontales, contrastando con la posición estructural de las capas inclinadas de la Formación Real de Catorce. Otras evidencias se manifiestan en la zona centro-occidental de la Sierra de Catorce, donde existe una interrupción en la base de la secuencia estratigráfica posoxfordiana, expresada por la Formación Tamaulipas, que sobreyace por cabalgadura a la secuencia estratigráfica preoxfordiana. En el Arroyo de Matanzas es evidente el despegue tectónico, por el contacto discordante entre las formaciones Zuloaga y Real de Catorce. La superficie del décollement representa el límite físico, hasta donde profundizó la deformación en la cobertura posoxfordiana; el fenómeno estructural es similar al plegamiento tipo alpino.

5.3. Fallas y Fracturas

El conjunto de fallas expresa tres sistemas estructurales preferenciales, correspondiendo los dos primeros a una tectónica compresiva y el tercero a una extensional, respectivamente. El primero está constituido por fallas de cabalgamiento con orientación preferencial norte-sur, las cuales son cortadas por fallas normales, con rumbo este-oeste. El segundo sistema son fracturas de cizalla con rumbo NW. El tercer sistema expresa una tectónica extensional, caracterizada por fallas normales, con rumbo predominante N-NE, del cual destaca el pilar tectónico de la Sierra de Catorce, limitado por fallas normales hacia sus costados este y oeste, cuyas extensiones pueden alcanzar varias decenas de kilómetros, debido al comportamiento continuo de las estructuras que se extienden hacia el sur del área; un bloque ascendente denominado Bloque Principal y un hundimiento denominado el Potrero (pull apart), son estructuras sobresalientes en la región; además existen otras fallas que corresponden al mismo sistema estructural, las cuales se ubican hacia los costados del Cerro El Fraile; presentan una orientación similar a las anteriores, cuya longitud alcanza los 5 km.

Bloque Principal

En la zona centro-occidental de la Sierra de Catorce, existe un bloque ascendente con una geometría semirectangular, con orientación N-S; que presenta un basculamiento hacia el oriente; está constituido principalmente por la secuencia estratigráfica preoxfordiana. Estructuralmente queda limitado al norte y al sur por fallas normales, de dirección preferencial oriente-poniente; ambas trazas de falla no son rectilíneas en mapa (más bien expresan un comportamiento clásico de trazas de falla de cabalgadura). Sin embargo, corresponden con un sistema de fallas normales

extensionales. El límite occidental del bloque está definido por una falla similar a las anteriores, pero con orientación preferencial norte-sur; las fallas que delimitan el bloque estructural destacan por la discontinuidad en la secuencia estratigráfica posoxfordiana. Las evidencias estratigráficas obtenidas en campo se presentan en detalle en el mapa geológico, donde resaltan en la porción norte del bloque. Un contacto-falla entre la Formación Tamaulipas y la Formación Real de Catorce, en el costado oriente, y las formaciones Zuloaga y La Caja, se expone parcialmente, donde se observa nuevamente el contacto-falla entre la Caliza Tamaulipas y las capas rojas, y de manera similar el comportamiento estratigráfico continúa hacia San Juan de Matanzas. Otras evidencias observadas en las unidades estratigráficas, son cuando las capas rojas ocupan el bajo estructural y las formaciones Zuloaga y Tamaulipas ocupan el alto estructural. Por otra parte, el límite oriental del bloque no está fallado; cambia a la secuencia carbonatada posoxfordiana por contacto con el décollement.

Hundimiento El Potrero

En la porción central del área de estudio, sobresale una depresión que adopta una forma geométrica rectangular que se extiende por 4 km de longitud y 2 km de amplitud, con orientación preferencial N 20° E. Se manifiesta por un hundimiento topográfico que alcanza hasta 200 m, sus límites estructurales están definidos por fallas normales, con orientaciones respectivas N 20° E y N 40° W; estas últimas son emplazadas parcialmente por intrusiones de cuarzomonzonita; la depresión está ocupada por depósitos de gravas y aluvión.

Las fracturas existentes se acentúan en la cresta del anticlinorio, sobre todo en la Formación Zuloaga. No existe un sistema estructural definido; generalmente tienden a ser segmentos rectilíneos en todas las direcciones, algunas alcanzan longitudes hasta de 2 km y en ellas se adapta el patrón de drenaje tipo dendrítico. Otras fracturas ubicadas hacia los flancos del anticlinorio se han desarrollado por corrientes fluviales, generando disecciones profundas, las cuales caracterizan geoformas de barrancas.

5.4. Consideraciones Sobre el Origen, Evolución y Significado Regional

5.4.A. Origen y Dirección de Esfuerzo

La deformación y fallamiento que tiene la Sierra de Catorce, es el resultado de una combinación de procesos tectónicos compresivos y extensionales de gran intensidad, los cuales actuaron probablemente en dos épocas distintas, una registrada durante el Triásico Tardío-Jurásico Medio, y otra durante el Terciario, desde el Eoceno hasta el Oligoceno, afectando notoriamente la secuencia estratigráfica expuesta.

La primera época deformante está muy acentuada en la Formación Zacatecas, la cual expresa foliación muy intensa, al grado de enmascarar el plegamiento.

La segunda época se caracteriza por estructuras resultantes de la tectónica compresiva, representada por el plegamiento regional y las fallas de cabalgadura. La deformación se generó por la convergencia de la Placa del Pacífico que subdujo a la Placa de Norteamérica, a finales del Cretácico e inicio del Terciario, con una dirección de esfuerzos este-oeste, inferido de la orientación perpendicular que presenta el anticlinorio que constituye a la Sierra de Catorce.

Lámina XI. Rasgos Estructurales.



Figura A. Décollement. La discordancia tectónica se presenta como un contacto entre la secuencia continental del Jurásico Temprano y la secuencia marina posoxfordiana.



Figura B. Al sur de Real de Catorce se observa una falla de desplazamiento vertical (tipo normal). La Formación Zuloaga (Jz) ocupa el alto estructural y la Formación Real de Catorce (Jir) ocupa el bajo estructural.

En contraste con las estructuras producidas por la tectónica compresiva, las fallas que limitan el pilar tectónico Sierra de Catorce, el Bloque Principal, el Cerro El Fraile y otras fallas normales existentes, son respuesta de una tectónica extensional ocurrida durante el Eoceno Medio-Oligoceno Temprano, la cual se ha interpretado como un sistema de fallas de desplazamiento vertical con orientación preferencial N-S.

5.4.B. Secuencia y Edad de Eventos Tectónicos

Los eventos tectónicos de la región, se asocian en estilo y orden cronológico con los sucesos ocurridos en las regiones central y centro oriental de México.

El proceso de deformación de los sedimentos triásicos, se relaciona con la subducción de la Placa Kula que subdujo a la Placa de Norteamérica, hacia el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, caracterizado por compresión. Continúa un período de volcanismo félsico-intermedio, producto de la generación del arco magmático mesozoico, relacionado con el origen de la Formación Nazas (Bartolini, 1998), del cual se exhiben afloramientos en los estados de Durango, Coahuila, Zacatecas y San Luis Potosí. En el área de estudio la actividad volcánica se registró con la unidad "toba Cañón General". Posteriormente, el mayor evento tectónico se relaciona con la fase compresiva de la Orogenia Larámide durante el Eoceno Temprano-Medio, la cual imprime deformación a la secuencia marina posoxfordiana. Finalmente, en el intervalo Eoceno Medio-Oligoceno Temprano, ocurre una tectónica extensional caracterizada por fallamiento en bloques y fallas normales, finalizando con el emplazamiento magmático regional, al cual se asocia la mineralización económica. De Cserna (1956), denominó esta etapa como una segunda fase de la Orogenia Larámide.

5.4.C. Significación Regional

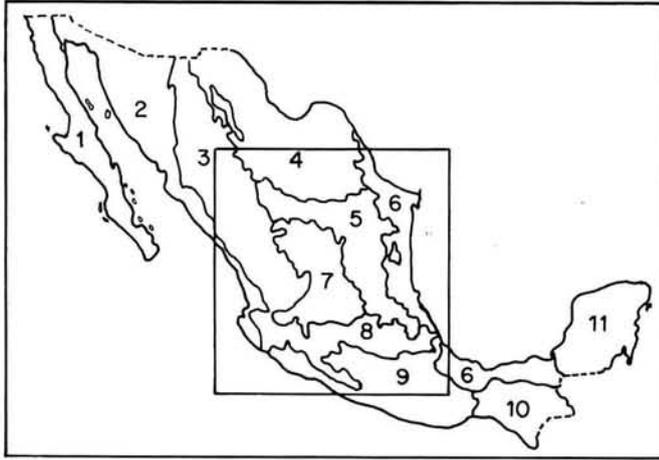
La estructura general que constituye la Sierra de Catorce, forma parte de la Provincia Geológica Zacatecana que limita al norte-oriental con la Provincia Geológica del Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas, en su porción occidental; a la vez se considera que por su ubicación geográfica y sus rasgos morfológico-estructurales, queda incluida en el límite occidental de la Subprovincia Morfotectónica "*Widely Spaced Ridges*" de la Sierra Madre Oriental (Fig. 10; Ferrusquía-Villafranca, 1993).

La estructura principal del área presenta una orientación norte-sur, la cual contrasta con la dirección predominante oriente-poniente, con desviación hacia el noroeste del conjunto estructural de la Subprovincia de Sierras Atravesadas de la Sierra Madre Oriental, entre Monterrey y Torreón. Sin embargo, parece formar parte del patrón estructural hacia el sur de la provincia, donde la orientación preferencial de las estructuras es norte-sur con ligero cambio hacia el noroeste, entre las localidades de Matehuala, S.L.P. y Ciudad. Victoria, Tamps. El autor analizó el comportamiento estructural en la Sierra de Catorce, donde se establece una correlación en estilo y forma con las estructuras de la Sierra Madre Oriental, estudiadas por De Cserna (1956).

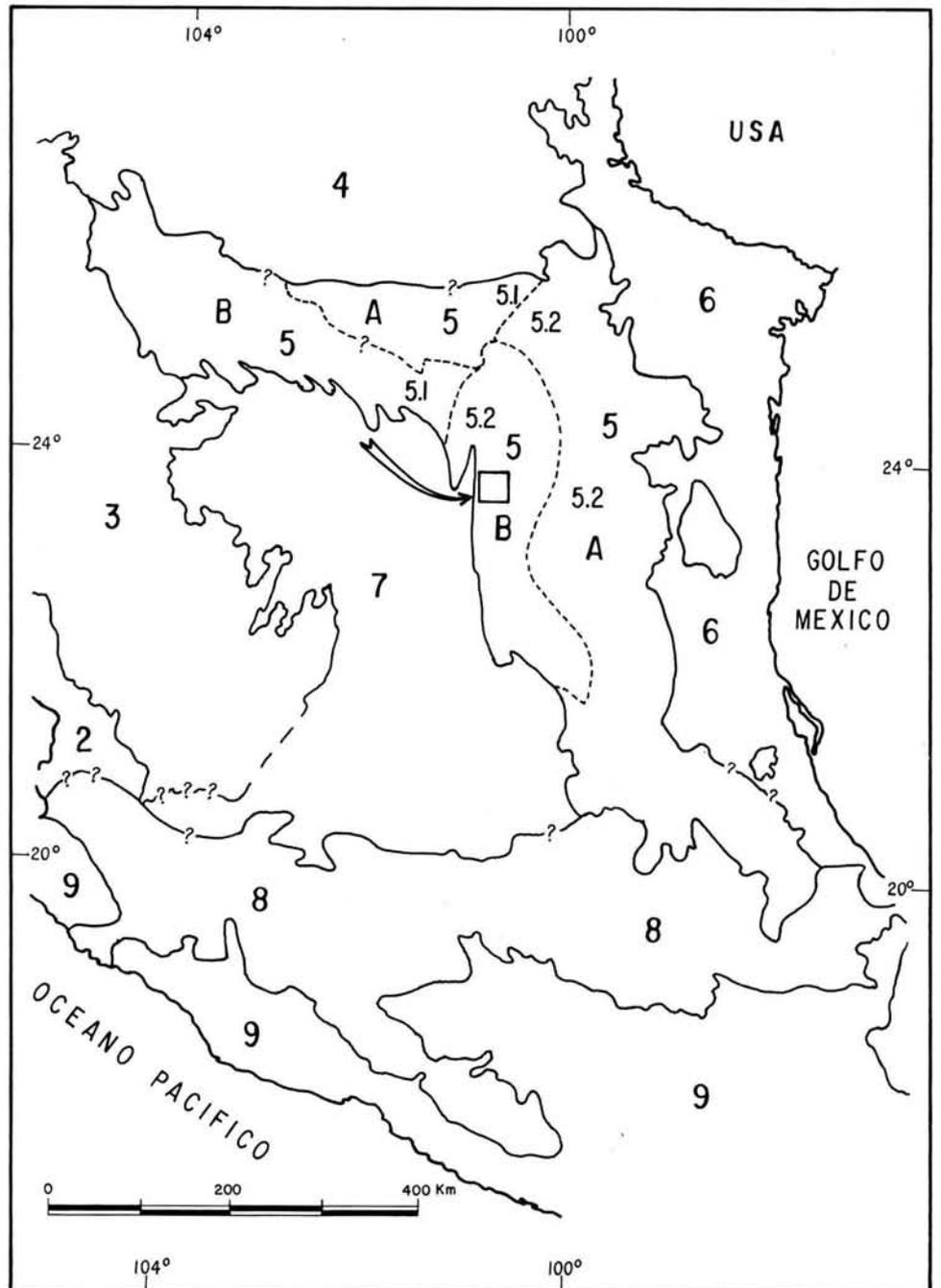
La morfología de montaña de la Sierra de Catorce, contrasta con las extensas planicies aluviales que la rodean; los cambios topográficos abruptos expresados en el paisaje, manifiestan alineaciones rectilíneas de altos estructurales, que delimitan las depresiones topográficas de bloques hundidos. Por lo tanto, el contraste morfológico es similar al que expresa la Subprovincia "*Widely Spaced Ridges*" (Ferrusquía-Villafranca, 1993).

PROVINCIAS MORFOTECTONICAS

1. Península de Baja California.
2. Sierras y Llanuras del Noroeste.
3. Sierra Madre Occidental.
4. Cordilleras y Mesetas Chihuahua-Coahuila.
5. Sierra Madre Oriental.
6. Llanura Costera del Golfo.
7. Meseta Central.
8. Faja Volcánica Trans-Mexicana.
9. Sierra Madre del Sur.
10. Sierra Madre de Chiapas.
11. Plataforma de Yucatan.



- 5 . SIERRA MADRE ORIENTAL
- 5.1. Sector Transversal
- 5.2. Sector Oriental
- A. Subprovincia de Cordilleras Estrechas
- B. Subprovincia de Cordilleras Espaciadas



Tomado de:
Ferrusquía-Villafranca, I., 1993

Figura 10. Mapa de Provincias Morfotéctonicas de México

CAPÍTULO 6

HISTORIA GEOLÓGICA LOCAL Y SUS IMPLICACIONES REGIONALES

Historia local

Triásico Tardío-Jurásico Medio.- Durante el Cárnico-Nórico Tardío, el territorio que actualmente ocupa el área Sierra de Catorce, estaba cubierto por un mar somero, en cuyo fondo se depositaron en condiciones de alta energía abundantes sedimentos terrígenos arcillo-arenosos que constituyen a la Formación Zacatecas. Hacia el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, se produce una regresión marina que persiste hasta el Calloviano Tardío. Durante el intervalo Pliensbaquiano-Toarciano, tuvo lugar actividad volcánica silícica explosiva, mediante la cual se emplazó la “toba Cañón General”. Hacia el Jurásico Medio, se desarrolló un sistema de pilares y fosas tectónicas, donde se acumularon los depósitos de sedimentos fluviales que constituyen la Formación Real de Catorce.

Jurásico Tardío-Cretácico.- Durante el Oxfordiano Temprano tuvo lugar una trasgresión, que generó un ambiente marino somero, en cuyo fondo se depositaron los sedimentos argilo-calcáreos interestratificados por capas de yeso, que ocupan la base de la Caliza Zuloaga. Después durante el Oxfordiano Tardío-Kimmeridgiano?, se depositó el potente espesor de carbonatos en condiciones de oxigenación y penetración de luz solar, que permitió el desarrollo de la comunidad orgánica donde destacan: *Nerineas* sp., *Vaugonia* sp., *Cucullea*, y *Cucullea catorcencis* entre otras, en la Caliza Zuloaga. En el Kimmeridgiano Tardío-Berriasiano Temprano, se depositaron los

sedimentos arcillosos-carbonatados de la Formación La Caja, en un ambiente de gran productividad orgánica, como lo evidencia el abundante contenido fósil de esta unidad.

Durante el Berriasiano Medio-Valanginiano, se produce un hundimiento progresivo de la plataforma jurásica, que llega a una profundidad batial, donde se depositan los sedimentos siliciclásticos arcillosos de la Formación Taraises. En el Hauteriviano Temprano-Aptiano Tardío, bajo condiciones reductoras, se depositaron los sedimentos calcáreos (y ocasionalmente arcillosos) de la Formación Tamaulipas. Durante el Albiano-Cenomaniano, en condiciones de estabilidad tectónica y ambiental, se depositó la potente secuencia carbonática de la Formación Cuesta del Cura. Durante el Turoniano se depositaron los sedimentos calcáreo-arcillosos de Formación Agua Nueva. En el Coniaciano-Campaniano, bajo condiciones similares, se depositó la Formación San Felipe, compuesta por clastos calcáreos finos. Durante el Campaniano Tardío-Maastrichtiano, se depositaron los sedimentos calcáreo-arcillosos que constituyen la Formación Méndez.

Terciario.- No se encuentra registro litoestratigráfico paleocénico en el área. Sin embargo, la información geológica regional disponible, indica que ocurrió una extensa regresión, y que durante el Eoceno Temprano-Oligoceno Temprano, tuvo lugar la intensa actividad tectónica conocida como Orogenia Larámide, durante la cual ocurrió el plegamiento de la cubierta posoxfordiana, levantamiento regional y extenso fallamiento en bloques, que originaron los rasgos estructurales que tiene el área Sierra del Catorce.

En el Eoceno Temprano se emplazaron diques de cuarzomonzonita en la Sierra de Catorce. Posteriormente, en el Oligoceno Temprano intrusionaron troncos de granodiorita en los cerros Dolores y El Fraile; a esta etapa magmática se asocian los yacimientos minerales del área. Durante el Plioceno ocurrió actividad volcánica, evidenciada por el emplazamiento de derrames basálticos con xenolitos del manto.

Cuaternario.- Durante este periodo, la actividad fluvial es intensa, originándose así espesores potentes de aluvión, acumulados en extensas planicies, depósitos de piedemonte y numerosos conos de eyección, ubicados en la desembocadura de las principales corrientes.

Correspondencia regional

La historia geológica de la porción centro-septentrional de México (CSMex en lo sucesivo), se conoce bien en lo general, pero en algunas partes, la falta de información detallada publicada, hace que dicha historia sea especulativa. Con objeto de reducir esta deficiencia, la versión que se presenta aquí, se basa en visitas de campo, y en el análisis de la información disponible correspondiente a sitios aledaños a la Sierra de Catorce.

Triásico Tardío-Jurásico Medio.- Hacia el Triásico Tardío, el territorio de la CSMex presentaba pilares y fosas tectónicas, probablemente originados durante la etapa post-orogénica apalachiana; en los primeros se depositó una molasa continental (constituida por el Grupo Huizachal y sus equivalentes), ahora parcialmente expuesta en el Valle de Huizachal, Cañón de la Peregrina, Miquihuana y Aramberri (Figura 11).

Coetáneamente, hacia el occidente, ocurrió sedimentación marina de ambiente nerítico y naturaleza argilo-arenosa que generó a la Formación Zacatecas y equivalentes, al presente expuesta en diversos pilares y núcleos de anticlinales de la Altiplanicie Mexicana.

Durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, ocurre en la porción occidental, una regresión marina, tal vez relacionada con la disgregación de Pangea. La condición de emersión persistió hasta el Calloviano Tardío. En el Jurásico Temprano, tuvo lugar también actividad volcánica de arco (relacionada a la subducción de la Placa Kula bajo la Placa de Norteamérica), generándose así la Formación Nazas del centro y noreste de México (Bartolini, 1998) y en el área Sierra de Catorce, la unidad informal toba Cañón General (del Pliensbaquiano-Toarciano); es posible que durante ese tiempo se produjo la deformación compresiva que generó la foliación en la Formación Zacatecas. Posteriormente, hacia el Jurásico Medio, ocurrió actividad tectónica extensional que produjo un sistema de pilares y fosas tectónicas; en éstas se acumularon sedimentos fluviales que formaron las capas rojas jurásicas, que afloran ampliamente en la CSMex.

Jurásico Tardío-Cretácico.- En el Oxfordiano Temprano, se produce una transgresión que generó un mar somero de circulación restringida e intensa evaporación, en cuyo fondo se depositaron sedimentos arcillosos-calcáreos y yeso (base de la Formación Zuloaga). Los estratos potentes de caliza dolomitizada kimmerdigiana que forman la cima de esta unidad, indican cierta estabilidad tectónica y deposicional regional.

Durante el Kimmeridgiano Tardío-Berriasiano Temprano, también en condiciones someras, se depositaron sedimentos calcáreos, seguidos por calcáreo-arcillosos (Formación La Caja, base y cima, respectivamente), que portan abundantes fósiles, lo cual indica una gran productividad orgánica. En cambio, hacia el norte y oriente (islas de Coahuila y Valles-San Luis Potosí), prevalecieron condiciones continentales.

Durante el Neocomiano aumentó el hundimiento regional, hasta alcanzar una profundidad batial, originándose así el elemento paleogeográfico llamado Cuenca Mesozoica del Centro de México (CMCM en lo sucesivo, Carrillo-Bravo, 1982), en cuyo fondo se acumularon los sedimentos arcillosos-carbonatados de la Formación Taraises. La transgresión continuó avanzando, de modo que los elementos positivos existentes quedaron sumergidos, posibilitándose así el desarrollo de arrecifes en los bordes de tales elementos: Plataforma de Coahuila, Plataforma de Mahoma y Plataforma Valles-San Luis Potosí (PVSLP); en este último ocurrió inicialmente sedimentación evaporítica en zonas lagunares (Formación Guaxcamá). Hacia el Hauteriviano Temprano-Aptiano Tardío, los sedimentos calcáreos se depositaron en condiciones de estabilidad tectónica y en menor medida sedimentos arcillosos de la Formación Tamaulipas.

Durante el Albiano-Cenomaniano, la CMCM, alcanza su mayor profundidad, depositándose en condiciones de baja temperatura, escasa oxigenación y circulación restringida, los sedimentos calcáreos, arcillas y pedernal de la Formación Cuesta del Cura. Al mismo tiempo hacia el norte y el oriente, las Plataformas de Coahuila y Valles-San Luis Potosí, alcanzan su máxima estabilidad ambiental, con el desarrollo de potentes arrecifes (Formaciones Aurora y El Abra). Es peculiar el crecimiento arrecifal

que ocurre en PVSLP, puesto que éste se desarrolla progresivamente en su porción occidental hasta el Maastrichtiano; simultáneamente en el talud de los arrecifes, se depositaron los bioclastos de la Formación Tamabra.

Al inicio del Turoniano y hasta finales del Cretácico Tardío, en condiciones de aparente tranquilidad tectónica y ambiental regional, se depositaron sedimentos argilo-calcáreos (Formación Indidura) y posteriormente argilo-arenosos (Formación Caracol del Coniaciano-Maastrichtiano). Por otro lado, en la porción centro-oriental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, afectada por un marcado hundimiento que se extendió hasta rodearla por completo, ocurrió sedimentación calcáreo-arcillosa (Formación Agua Nueva), y de clásticos calcáreos finos (Formación San Felipe del Coniaciano-Campaniano). Durante el Campaniano Tardío-Maastrichtiano, se depositaron los sedimentos calcáreo-arcillosos que constituyen a la Formación Méndez. Por otra parte, hacia la porción centro-occidental de la plataforma, persiste el desarrollo arrecifal durante el Turoniano-Santoniano (Formación Tamasopo), hasta alcanzar su máximo espesor en el Maastrichtiano (Formación Cárdenas).

Terciario.- La falta de registro sedimentario marino poscretácico en CSMex, se interpreta como efecto de una extensa regresión regional, y de concomitante erosión del territorio expuesto. Durante el Eoceno-Oligoceno Temprano ocurrió la Orogenia Larámide, el proceso tectónico cenozoico de mayor importancia en la República Mexicana, el cual incluye dos etapas sucesivas: una primera compresiva en el Eoceno Temprano-Medio, que afectó a la secuencia posoxfordiana, produciendo plegamiento y el despegue de la cobertura carbonatada sobre las unidades preoxfordianas.

La segunda ocurrió en el Eoceno Medio-Oligoceno Temprano, fue extensional con fallamiento normal, produciéndose así pilares y fosas tectónicas; de los primeros destacan los correspondientes a las sierras de Zacatecas, de San Luis Potosí (Salinas, Charcas y Real de Catorce) y de otras partes de CSMex (Alto de Miquihuana-Bustamante, anticlinorios Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla). Posteriormente, durante el Oligoceno Temprano, tuvo lugar gran actividad magmática, emplazándose cuerpos intrusivos félsicos diversos, asociados a los cuales se originaron importantes yacimientos minerales en los estados de Zacatecas y de San Luis Potosí (sierras de Salinas, Charcas, Real de Catorce, La Paz en Matehuala, El Realejo en Guadalcázar y Cerro de San Pedro). Hacia el occidente, casi coetáneamente ocurrió el extenso volcanismo félsico que dio origen a la Sierra Madre Occidental.

En el Plioceno se registró actividad volcánica [tal vez relacionada a la reactivación de fracturas hacia el oriente de la Altiplanicie Mexicana (= Meseta Central) o a la generación de un nuevo sistema de fallas], generándose así derrames basálticos alcalinos portadores de xenolitos del manto y cráteres de explosión, los cuales conforman tres campos volcánicos importantes; de éstos, sólo el de Los Encinos, ubicado al occidente de Sierra de Catorce, es pliocénico, mientras que los otros dos (Ventura-Espíritu Santo y Santo Domingo, localizados, respectivamente, al noroeste y noreste de la ciudad de San Luis Potosí) son cuaternarios.

Cuaternario.- Durante el Cuaternario, se formaron extensas planicies aluviales, gruesos depósitos de pie de monte y numerosos conos de eyección (ubicados en la desembocadura de las corrientes principales); estos cuerpos estratigráficos tienen una

posición estructural horizontal y descansan discordantemente sobre las unidades precedentes.

SUMARIO Y CONCLUSIONES

- Como resultado de las actividades desarrolladas en este estudio, se realizó la cartografía geológica detallada de la Sierra de Catorce, S. L. P. y zonas aledañas, generándose el reporte y el mapa respectivos, los cuales constituyen un antecedente confiable para estudios geológicos posteriores.
- Se estableció la secuencia litoestratigráfica del área, distinguiéndose 14 unidades mesozoicas y cenozoicas; nueve de ellas fueron reconocidas inequívocamente fuera de sus localidades tipo, tres fueron redescritas; también se propusieron cinco unidades informales nuevas. Se considera entonces que la secuencia litoestratigráfica del área de la Sierra de Catorce queda integrada por estas unidades: **Triásico**: Formación Zacatecas. **Jurásico**: unidad informal toba Cañón General y formaciones Real de Catorce, Zuloaga y La Caja. **Cretácico**: formaciones Taraises, Tamaulipas, Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe y Méndez. **Terciario**: unidades informales “tronco La Paz”, “metamórfica El Fraile” y “basalto La Descubridora”.
- Se precisó el ambiente deposicional y/o las condiciones de emplazamiento de las unidades identificadas, encontrándose que la Formación Zacatecas se formó en un ambiente sublitoral de alta energía; la unidad informal toba Cañón General es un producto de actividad volcánica de arco; la Formación Real de Catorce corresponde a un depósito continental-fluvial; las formaciones Zuloaga y La Caja, representan el depósito de la transgresión marina jurásica tardía, variando de una zona de alta evaporación hasta una plataforma estable; las formaciones Taraises, Tamaulipas, Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe y Méndez manifiestan la sucesión

estratigráfica de una cuenca batial y su transición a condiciones de plataforma. Las unidades informales cenozoicas “tronco La Paz”, y “metamórfica El Fraile”, se formaron durante un episodio de actividad magmática poslaramídica; finalmente, la unidad informal “basalto La Descubridora”, se originó por actividad volcánica máfica, asociada a la reactivación de fracturas extensionales.

- La Formación Zacatecas del Triásico Tardío, es la unidad más antigua que aflora en la Sierra de Catorce; regionalmente se le encuentra en pilares tectónicos, así como en anticlinales; con frecuencia está asociada a intrusiones, como ocurre en las sierras de Charcas y Salinas, S. L. P. y desde luego en la Sierra de Zacatecas, que es su localidad tipo.

La edad triásica tardía de esta formación queda confirmada porque porta invertebrados marinos de esa edad, los cuales se han descrito tanto en la localidad tipo como en la Sierra de Charcas por lo que se descarta la asignación geocronológica paleozoica de Bacon (1978), para esta unidad.

- La unidad informal toba Cañón General (Jurásico Temprano) y la Formación Real de Catorce (Jurásico Medio), constituidas por litologías contrastantes, registran dos procesos geológicos próximos en tiempo, pero muy diferentes entre sí: la toba se asocia genéticamente con la actividad volcánica generada por la convergencia de las Placas Kula y de Norteamérica durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, la cual ha quedado regionalmente registrada por la Formación Nazas. La Formación Real de Catorce representa erosión y acúmulo fluvial (capas rojas) posorogénico precaloviano,

correlacionable parcialmente con la Formación La Joya, que aflora en el área Huizachal-Peregrina de Tamaulipas.

- El estudio de las unidades litoestratigráficas preoxfordianas expuestas en el área, permite establecer lo siguiente:

(1).- En el Triásico Tardío en la región central de México ('zona central'), existió un ambiente sublitoral de alta energía, donde se depositó la Formación Zacatecas, mientras que en otras partes ('zonas septentrional y nororiental') estaba emergida, depositándose en sus bajos topográficos las capas rojas del Grupo Huizachal.

(2).- En el Jurásico Temprano, bajo condiciones continentales, se produce el emplazamiento de la unidad informal toba Cañón General, cuya significación regional ya fue mencionada.

(3).- Durante el Jurásico Temprano-Medio, también bajo condiciones continentales, se depositaron los sedimentos fluviales (capas rojas) de la Formación Real de Catorce. En el área y zonas aledañas, las capas rojas cubren discordantemente a las unidades volcánicas y arcillo-arenosas preexistentes.

- El estudio geológico estructural evidenció estos rasgos mayores:

(1).-La Sierra de Catorce es un anticlinorio que forma un pilar tectónico, delimitado por fallas normales con orientación N-S.

(2).- En el área existe un sistema de pliegues abiertos, cuya orientación varía de N 10° E a N 20° E, con inclinaciones suaves de 20° a 30°.

(3).- Las coberturas pre y posoxfordiana están separadas por una superficie de *décollement* y planos de cabalgadura.

(4).- Otras estructuras documentadas importantes son: El pilar Bloque Principal (de orientación N-S), ubicado en la parte centro-oriental y el hundimiento El Potrero, es una estructura tipo pull apart (de orientación N 20° E), situado en la parte norte-central.

- Las estructuras de la secuencia posoxfordiana, se relacionan con las dos fases de la Orogenia Larámide. Por una parte, los pliegues, fallas de cabalgadura y la superficie de *décollement*, se originaron en la primera (de tipo compresivo). Por otra parte, las fallas normales, pilares y fosas, se desarrollaron en la segunda fase (de tipo extensional). El patrón estructural que tiene la Sierra de Catorce, corresponde regionalmente al mismo patrón que se aprecia en otras partes de la Altiplanicie Mexicana y en la Sierra Madre Oriental, como es de esperarse en estructuras generadas por los mismos procesos.

- La interpretación del registro geológico preoxfordiano del área y zonas aledañas, denota una estrecha relación con la evolución tectónica de Norteamérica, particularmente en lo referente a la disgregación de Pangea. Es así que durante el Triásico Tardío, en una parte de Norteamérica meridional ocurre sedimentación marina preorogénica, en condiciones de turbiedad, mientras que en otra (occidente y centro-noreste de México), ocurre sedimentación continental (capas rojas). En el Triásico

Tardío-Jurásico Temprano, se inicia la subducción de la Placa Kula bajo la de Norteamérica, generando actividad volcánica de arco, la cual se extiende ampliamente en la porción media de México, con dirección noroeste. Durante el Jurásico Temprano-Medio, se produce la tectónica extensional, que origina un sistema de estructuras en pilares y fosas, actuando las depresiones como receptoras de sedimentación posorogénica. Al inicio del Jurásico Tardío, en condiciones extensionales, se registró una transgresión marina sobre el continente, con aguas marinas del Pacífico, para iniciar la apertura del Golfo de México, y la formación de la cobertura marina posoxfordiana del centro y noreste de México.

- El estudio permite adscribir el área Sierra de Catorce a la Provincia Geológica Zacatecana, debido a las similitudes estratigráficas, estructurales y magmáticas que muestra. Cabe destacar que la estratigrafía cretácica, refleja la influencia de la sedimentación marina de la Cuenca Mesozoica del Centro de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranda-Gómez, J.J.**, 1989, Libroto Guía de la Excursión Geológica a los Volcanes Cuaternarios La Joya Honda y La Joyuela, S.L.P.: Una Visita a los Maares Portadores de Xenolitos del Manto y de la Base de la Corteza: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología 34 p.
- Bacon, R.W.**, 1978, Geology of northern Sierra de Catorce, San Luis Potosi, Mexico: M.S. Thesis, University of Texas at Arlington, 124 p.
- Baker, C.L.**, 1922, General geology of the Catorce mining district: Amer. Inst. Min. Met. Eng., v. 66, pp.42-48.
- Barboza-Gudiño, J.R.**, 1989, Geologische Kartierung (1:10,000) des Gebietes "Cañón General", Sierra de Catorce, San Luis Potosi / Mexiko: Diplomkartierung und Diplomarbeit, Inst. Geologie und Palaontologie tu Clausthal, 107 p.
- Barboza-Gudiño, J.R., Tristán-González, M. y Torres-Hernández, J.R.**, 1998, The Late Triassic-Early Jurassic active continental margin of western North America in northeastern Mexico: Geofísica Internacional, v. 37, Núm. 4, pp. 283-292.
- 1999, Tectonic setting of pre-Oxfordian units from central and northeastern Mexico: A review: Geol. Soc. of America Special Paper 340, pp. 197-210.
- Bartolini, C.**, 1998, Stratigraphy, Geochronology, Geochemistry and Tectonic Setting of the Mesozoic Nazas Formation, North-Central Mexico: Dissertation D.G.S., The University of Texas at El Paso, 557 p.
- Bartolini, C., Lang, H. and Stinnesbeck, W.**, 1999, Volcanic rock outcrops in Nuevo Leon, Tamaulipas and San Luis Potosi, Mexico: Remnants of the Permian-Early Triassic magmatic arc?: Geol. Soc. America Special Paper 340, pp. 347-356.
- Belcher, R.C.**, 1979, Depositional Environments, Paleomagnetism, and Tectonic Significance of Huizachal Red Beds (Lower Mesozoic), Northeastern México: Ph.D. Thesis, Austin Texas, Univ. of Texas, 276 p.
- Blauser, W.H.**, 1979, Geology of the Southern Sierra de Catorce and Stratigraphy of Taraises Formation in North-Central Mexico: M.S. Thesis, Univ. of Texas at Arlington, 80 p.
- Blickwede, J.F.**, 1981, Stratigraphy and Petrology of Triassic (?) "Nazas Formation", Sierra de San Julian, Zac. Mexico: Thesis M.S., University of New Orleans, 100 p.

- Burckhardt, C.**, 1905, La Faune Marine du Trias Supérieur de Zacatecas: Bol. Inst. Geol. México, Núm. 21, 44 p.
- 1906, Géologie de la Sierra de Mazapil et Santa Rosa (Mexico), 10th Intern. Geol. Cong., Mexico, Guidebook. XXVI, 40 p.
- 1921, Faunas jurásicas de Symon, Zacatecas y faunas cretácicas de Zumpango del Río, Guerrero: Bol.Inst. Geol. México, Núm. 33, 137 p.
- 1930, Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain, Soc. Paléont. Suisse, Mém., v. XL, 280 p.
- Burckhardt, C. y Scalia, S.**, 1906, Sobre el descubrimiento del Triásico Marino en Zacatecas: Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 2, pp. 43-45.
- Cantú-Chapa, A.**, 1969, Una Nueva Localidad del Triásico Tardío Marino en México: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Revista, v. 1, pp. 71-72.
- Carrillo-Bravo, J.**, 1961, Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al noroeste de Ciudad Victoria, Tamps.: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. XIII, Núms. 1 y 2, 100 p.
- 1968, Reconocimiento geológico preliminar de la porción central del Altiplano Mexicano: Petróleos Mexicanos, Inédito.
- 1971, La Plataforma de Valles-San Luis Potosí: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. XXIII, Núms. 1-6, pp. 1-102.
- 1982, Exploración Petrolera de la Cuenca Mesozoica del Centro de México: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol.: v. 34, Núm. 1, pp. 21-46.
- Centeno-García, E. and Silva Romo, G.**, 1997, Petrogenesis and tectonic evolution of central Mexico during Triassic-Jurassic time: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 14, Núm. 2, pp.244-260.
- Clark, J.M. and Hopson, J.A.**, 1986, Distinctive mammal-like reptile from Mexico and its bearing on the phylogeny of the Tritylodontidae: Nature, 315, pp. 398-400.
- Clemons, Russell, E., y Mcleroy, Donald F.**, 1965a, Hoja Pedriceñas 13R-I(4); con Resumen de la geología de la Hoja Pedriceñas, estados de Coahuila y Durango: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología, Serie de 1:100,000.
- 1965b, Hoja Torreón 13R-I(1); con Resumen de la geología de la Hoja Torreón, estados de Coah. y Dgo.: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología, Serie de 1:100,000.

- Coney, P.J.**, 1983, Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe. *Rev. Inst. Mex. Petrol*, v. XV, No. 1, pp. 6-15.
- Córdoba-Méndez, D.A.**, 1965, Hoja Apizolaya 13R-I(9); con Resumen de la geología de la Hoja Apizolaya, estados de Zacatecas y Durango: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología, Serie de 1:100,000.
- De Cserna, Z.**, 1956, Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey: *Cont. Inst. Nac. Inv. Rec. Min. México.*, XX Congr. Geol. Int. 87 p.
- Del Castillo, A., y Aguilera, J.G.**, 1895, Fauna Fósil de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí: *Boletín Comisión Geológica de México*, Núm. 1, 55 p., Láms. I-XXIV.
- Eguiluz de Antuñano, S.**, 1985, Posibilidades Petrolíferas en el Mar Mexicano: *Rev. Ing. Pet.*, v. XXV, Núm. 8, pp. 39-62.
- Enciso de la Vega, S.**, 1963, Hoja Nazas 13R-k(6); con Resumen de la geología de la Hoja Nazas, Edo. de Durango: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología, Serie de 1:100:000.
- Enos, P.**, 1974, Reefs, platforms and basins of middle Cretaceous in northeast Mexico: *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 58. pp. 800-809.
- Erben, H. K.**, 1956, El Jurásico Temprano de México y sus Amonitas: XX Congr. Geol. Inter., México, pp. 31-34 y 47.
- Ferrusquía-Villafranca, I.**, 1993, Geology of Mexico: –A Synopsis, in Ramamoorthy, T. P.; Bye, R. A.; Loct, A. y Fa, J., Edits., *Biological Diversity of Mexico- Origins and Distribution*: Nueva York, Oxford University Press, Chapt. 1, pp. 3-107.
- Folk, R.**, 1968, *Petrology of Sedimentary Rocks*: Ed. Hemphill's, Austin, 170 p.
- Franco-Rubio, M.**, 1999, Geology of the basement below the decollement surface, Sierra de Catorce, San Luis Potosi, Mexico. In Bartolini, C., Wilson, J. L. and Lawton, T. F. Edits., *Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico*: Boulder, Colorado, Geol. Soc. America Special Paper 340, pp. 211-227.
- Gallo-Padilla, I., Gómez-Luna, M.E., Contreras y Montero, B. y Cedillo-Pardo, E.**, 1993, Hallazgos Paleontológicos del Triásico Marino en la Región Central de México: *Rev. Soc. Mex. Paleontol.* v. 6, Núm. 1, pp 1-9.
- García, E.**, 1973, Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geografía, 3ª ed., 252 p.

- Gerhard, J.**, 1977, Oral communication: Geologist, Stratigraphic Laboratory, Mobil Research Company, Dallas, Texas.
- Gómez-Anguiano, M.**, 2001, Cartografía Geológica del área de San Juan de Matanzas en la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí y Correlación Estratigráfica y Geoquímica de rocas volcanogénicas precretáceas del noreste de México: Tesis M.C., Univ. Nuevo León, 164 p.
- González-Reyna, J.**, 1956, Riqueza Minera y Yacimientos Minerales de México: XX Congr. Geol. Inter., México, pp. 203-213.
- Guel-Díaz de León, A.**, 1985, Monografía: Mesa Central y Plataforma de Valles-San Luis Potosí, PEMEX, inédito.
- Gutiérrez-Amador, M.**, 1908, Las capas cárnicas de Zacatecas: Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 4, pp. 29-35.
- Guzmán, E.J., and de Cserna, Z.**, 1963, Tectonic History of Mexico: Am. Assoc. Petrol. Geol., Mem. 2, p. 113-129.
- Heim, A.**, 1940, The front ranges of Sierra Madre Oriental, Mexico, from Ciudad Victoria to Tamazunchale: Eclogae Geol. Helvetiae, v. 33, pp 314-362.
- Hermoso de la Torre, C.**, 1969, reconocimiento geológico de la porción central y SW de la Cuenca Sedimentaria Salinas-Ramos: PEMEX, inédito.
- Herrán-Martínez, S.**, 1968, Estudio Geológico de la Sierra Santa Rita, La Centella, y El Barroso, Municipios de Concepción del Oro, Mazapil, Estado de Zacatecas: Tesis Profesional, Univ. Autón. S.L.P., Escuela Ingeniería, 39 p.
- Humphrey, W.E.**, 1956, Notes on the geology of northeast Mexico: Supplement to Corpus Christie (Texas), Geol. Soc. Ann. Field Trip. 41 p.
- Humphrey, W.E. and Díaz, T.**, 1956, Jurassic and Lower Cretaceous stratigraphy and tectonics of northeastern Mexico: unpublished manuscript.
- Ice, R.G.**, 1979, Geology of the Northernmost Sierra de Catorce and stratigraphy and biostratigraphy of the Cuesta del Cura Formation in Northeastern and Northcentral Mexico, unpublished M.S. Thesis, 162 p.
- Imlay, R.W.**, 1936, Geology of the western part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico: Bull. Geol. Soc. America, v. 47, pp. 1091-1152.
- 1937, Geology of the middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico: Bull. Geol. Soc. America, v. 48, pp. 587-630.

- 1938, Studies of the Mexican Geosyncline: Bull. Geol. Soc. America, v. 49, pp. 1651-1694.
- 1943, "Jurassic Formations of the Gulf Region", Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 27, pp. 1407-1533.
- 1953, Las Formaciones Jurásicas de México: Bol. Soc. Geol. Mexicana., v. 16, pp. 1-65.
- 1980, Jurassic Paleobiogeography of The Conterminous United States in its Continental Setting: U.S. Geol. Survey., Prof. Paper. 1062, 134 p.

Imlay, R.W., Cepeda, E., Alvarez, M. and Díaz, T., 1948, "Stratigraphic Relations of Certain Jurassic Formations in Eastern Mexico": Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 32, pp. 1750-1761.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Hoja Cedral F-14-A-14: Carta Topográfica, Esc. 1:50,000.

- Hoja Real de Catorce F-14-A-24: Carta Topográfica, Esc.1:50,000.
- Hoja Matehuala F14-1: Carta Geológica, Esc.1:250,000.
- Hoja Matehuala F14-1: Carta de Efectos Climáticos, Regionales, mayo-octubre, Esc. 1:250,000.
- Hoja Matehuala F14-1: Carta de Efectos Climáticos, Regionales, noviembre-abril, Esc. 1:250,000.
- Hoja Cedral F14-A-14: Carta Edafológica, Esc. 1:50,000.
- Hoja Real de Catorce F-14-A-24: Carta Edafológica, Esc. 1:50,000.
- Hoja Villa de Guadalupe F-14-A-34: Carta Edafológica, Esc. 1:50,000.

Jiménez-Camargo, D.I., Porres-Luna, R.P. y Rivero-Carranco, E., 1982, Geología de la región de Charcas-Venado, San Luis Potosí: Tesis Profesional, Univ. Nac. Aut. México, Facultad de Ingeniería, 163 p. inédita

Jones, N.W., McKee, J.W., Anderson T.H. and Silver L.T., 1995, Jurassic volcanic rocks in northeastern Mexico: A possible remnant of a Cordilleran magmatic arc: In; Jaques-Ayala, A., González-León, C.M. and Roldán-Quintana, J., eds., Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas. Boulder , Colorado, Geol. Soc. America, Special Paper 301, pp 179-189.

Kellum, L.B., 1936, Geology of the mountains west of the Laguna District: Bull. Geol. Soc. America, v. 47, pp. 1039-1090.

- Köppen, W.**, 1948, Climatología: Fondo de Cultura Económica, México, 47 p.
- Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., y Aguilón-Robles, A.**, 1982, Estudio Geológico Minero del Área Peñón Blanco, Estados de San Luis Potosí y Zacatecas: Inst. Geología, Univ. Autón. San Luis Potosí, Folleto Tec., Núm. 76, 63 p.
- Larson, R.L.**, 1972, Bathymetry, magnetic anomalies, and plate tectonic history of the mouth of the Gulf of California: Bull. Geol. Soc. America, v. 83, pp. 3345-3360.
- Lee, K.**, 1963, Geology of San Juan de Guadalupe quadrangle (east half), Durango and Coahuila, Mexico: M.A. Thesis, Louisiana State Univ., inédita.
- López-Infanzón, M.**, 1986, Estudio petrogenético de las rocas ígneas en las formaciones Huizachal y Nazas: Soc. Geol. Mex. Bol., 47, No. 2, pp. 1-42.
- Maldonado-Koerdell, M.**, 1948, Nuevos datos geológicos y paleontológicos sobre el Triásico de Zacatecas: Anales, Esc. Nac. Ciencias Biológicas, v. 5, Núms. 3-4, pp. 292-294.
- Martínez-Pérez, J.**, 1972, Exploración Geológica del área; El Estribo-San Francisco, San Luis Potosí (Hojas K-8 y K-9): Bol. Asoc. Mex. Geól. Petrol., v. 24, pp.325-402.
- Mayer-Rúl, F.A.**, 1967, Hoja Viesca 13R-1(5), con Resumen de la geología de la Hoja Viesca, estados de Coahuila y Durango: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Carta Geológica de México, serie de 1:100,000.
- McGehee, R.V.**, 1976, Las rocas metamórficas del Arroyo La Pimienta, zacatecas, México: Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. XXXVII, pp. 1-10.
- Méndez, M.F.**, 1960, Exploración Geológica en el Estado de Zacatecas: PEMEX, inédito.
- Michalzik, D.**, 1986, Stratigraphy and paleogeography of the north-eastern Sierra Madre Oriental, Mexico (Triassic-Lowermost Cretaceous): Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 1981(9/10), pp. 1161-1169.
- 1988, Trias Bis Tiefste Unter-Kreide Der Nordöstlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko –Fazielle Entwicklung Eines Passiven Kontinentalrandes: Inaugural-Dissertation dem Fachbereich Geowissenschaften und Geographie der Technischen Hochschule Darmstadt, 247 p.
- Mixon, R.B.**, 1958, "The Jurassic Formations of the Ciudad Victoria Region, Tamaulipas, Mexico": M.S. Thesis, Louisiana State University.

- Mixon, R.B., Murray, G.E., and Díaz, G.T.**, 1959, Age and Correlations of Huizachal Group (Mesozoic) State of Tamaulipas, Mexico: Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. v. 43, pp. 757-771.
- Montejano y Aguiñaga, R.**, 1975, 1993, El Real de Minas de la Purísima Concepción de los Catorce, S.L.P.: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Regiones.
- Mujica-Mondragón, R. y Albarrán, J.J.**, 1983, Estudio Petrográfico de las rocas ígneas y metamórficas del Altiplano Mexicano: Inst. Mex. Petróleo, Proyecto C-1156, 62 p.
- Muir, J.M.**, 1936, Geology of the Tampico Region, Mexico: Am. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, memoir, 280 p.
- Müllerried, F.K.G.**, 1946, "Geología del Estado de Nuevo León": Inst. Inv. Científica Univ. Nuevo León, Anales, Tomo 1, Núm. 1, 167 p.
- NACSN, North American Comisión on Stratigraphic Nomenclature**, 1983, North American Stratigraphic Code: Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 67, Núm. 5, pp. 841-875, 11 figs., 2 Tbs.
- Olóriz, F., Villaseñor, A.B., González-Arreola, C. and Westermann, G.E.G.**, 1999, Ammonite Biostratigraphy and correlations in the Upper Jurassic-Lowermost Cretaceous La Caja Formation of North-Central Mexico (Sierra de Catorce, San Luis Potosí): Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, pp. 463-492.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J., Morán-Zenteno, D., Alaníz-Álvarez, S.A., y Nieto-Samaniego, A.F.**, 1992, Carta Geológica de la República Mexicana: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología y Sec. Energía y Minas e Ind. Paraestatal, Consejo de Rec. Min., quinta edición, Esc. 1:2'000,000, y texto explicativo, 74 p.
- Ortiz-Solorio, C.A. y Cuanalo-de la Cerda, H.**, 1978, 1984, Metodología del Levantamiento Fisiográfico (Un sistema de clasificación de tierras): Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 2ª ed., 86 p.
- Pantoja-Alor, J.**, 1963, Hoja San Pedro del Gallo 13R-k(3); con Resumen de la geología de la Hoja de San Pedro del Gallo, Estado de Durango: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología, Serie de 1:100,000.
- 1972, Datos Geológicos-Estratigráficos de la Formación Nazas: Abs. Memoria, II Convención Nacional, Soc. Geol. Mexicana, México, pp. 25-32.
- Pessagno, E.A., Jr.**, 1969, Upper Cretaceous stratigraphy of the western Gulf coast area of Mexico, Texas and Arkansas: Geol. Soc. America, Mem. 111, 139 p.

- Pindell, J.L.**, 1985, Alleghenian reconstruction and subsequent evolution of the Gulf of Mexico, Bahamas, and Proto-Caribbean: *Tectonics*, v. 4, Núm. 1, pp. 1-39.
- Reynoso-Rosales, V.H.**, 1992, Descripción de los esfenodontes (Sphenodontia, Reptilia) de la fauna del Cañón del Huizachal (Jurásico Temprano-Medio), Tamaulipas, México: Tesis M.C., Univ. Nac. Autón. México, Facultad de Ciencias, 86 p.
- Ross, M.A.**, 1979, Stratigraphy of the Tamaulipas Limestone Northeastern Mexico: M.S. Thesis, Univ. of Texas at Arlington, 96 p.
- Rueda-Gaxiola, J., Dueñas, M.A., Rodríguez, J.L., Minero, M. y Uribe, G.**, 1993, Los anticlinorios Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla: dos Partes de la fosa de Huayacocotla-El Alamar: *Bol. Asoc. Mex. Geól. Petrol.*, XLIII, Núm. 2, pp. 1-29.
- Rueda-Gaxiola, J., López-Ocampo, E., Dueñas, M.A., y Rodríguez-Benítez, J.L.**, 1991, Las Fosas de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla: dos Partes de un Graben Relacionado con el Origen del Golfo de México: Memoria Convención Sobre la Evolución Geológica de México, 1° Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hgo., Resumen, pp. 189-192.
- Rueda-Gaxiola, J., López-Ocampo, E., Dueñas, M.A., Rodríguez-Benítez, J.L. And Torres-Rivero, A.**, 1999, The palynostratigraphical method: Basis for defining stratigraphy and age of the Los San Pedros Allogroup, Huizachal-Peregrina anticlinorium, Mexico: *Geol. Soc. of America Special Paper 340*, pp. 229-269.
- Salvador, A.**, 1987, Late Triassic-Jurassic Paleogeography and Origin of Gulf of Mexico: *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 71, pp. 419-451.
- Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F. and Speed, R.C.**, 1993, Tectonostratigraphic Terranes and tectonic evolution of Mexico: *Geol. Soc. of America, Special Paper 278*, 153 p.
- Seemes, D.R.**, 1921, "Petroliferous Formations of the Tampico Embayment, Mexico": *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 5 Núm. 1, 101 p.
- Serrano-Marín, C.A.**, 1991, Estudio Tectónico-Estratigráfico de la Sierra de Salinas, Estados de San Luis Potosí y Zacatecas: Trabajo Recepcional, Univ. Autón. San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, 72 p.
- Seibertz, E.**, 1988, El desarrollo cretácico del archipiélago de Tamaulipas; pte. I, Litogénesis, paleogeografía y datación bioestratigráfica de la Formación San Felipe por medio de inocerámidos en el Estado de Nuevo León (Turoniano, NE de México): Univ. Autón. Nuevo León, Fac. Ciencias de la Tierra, Actas 3, pp. 9-29.

- Seibertz, E. y Buitrón-Sánchez, B. E.**, 1988, La localidad tipo de la Formación Xilitla, San Luis Potosí (Cretácico Superior basal): Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 7, pp. 116-118.
- Silva-Machorro, C.**, 1978, Unidades de Suelo: Edit. CECOSA, 63 p.
- Silva-Pineda, A.**, 1979, La Fauna Triásica de México: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología, Rev., v. 3, Núm. 2, pp. 138-145.
- 1981, Asterotheca y Plantas Asociadas de la Formación Huizachal (Triásico Tardío) del Edo. de Hidalgo: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología, Rev., v. 5, Núm. 1, pp. 47-54.
- Silva-Pineda, A. y Buitrón-Sánchez, B.E.**, 1999, Mesozoic red bed floras in east-central Mexico and their stratigraphic relationships with marine beds: Geol. Soc. of America Special Paper 340, pp.151-160.
- Silva-Romo, G.**, 1993, Estudio de la Estratigrafía y Estructuras tectónicas de la Sierra de Salinas, Edos. de S.L.P. y Zac.: Tesis M.C., Univ. Nac. Autón. México, Facultad de Ciencias, 139 p.
- Soto, F.**, 1981, Zonificación microfaunística del Cañón de la Borrega, Tamaulipas: Rev. Inst. Mex. Petróleo, v. 13, pp. 7-17.
- Stanley, G.D. Jr., González-León, C.M., Sandy, M.R., Senowbari-Daryan, B., Doyle, P., Tamura, M. and Erwin, D.E.**, 1994, Upper Triassic invertebrates from the Antimonio Formation, Sonora, México: Paleontological Soc. Mem. 36, 33 p.
- Suter, M.**, 1990, Hoja Tamazunchale 14Q-e(5); con Geología de la Hoja Tamazunchale, Edos. de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología, Serie de 1:100,000.
- Tardy, M., Longoria, J.F., Martínez-Reyes, J., Mitre, L.M., Patiño, M., Padilla, R., y Ramírez, C.**, 1975, Observaciones Generales Sobre la Estructura de la Sierra Madre Oriental: La Aloctonía del Conjunto Cadena Alta Altiplano Central, entre Torreón, Coahuila y San Luis Potosí, México: Univ. Nac. Autón. México, Inst. Geología, Rev., Núm. 1, pp. 1-11.
- Torres-Aguilera, J.M.**, 2001, Comunicación escrita de los análisis petrográficos: Univ. Autón. San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, México.
- Torres-Hernández, J. R., Tristán-González, M. y Guel-Díaz de León, A.**, 1991, Análisis Tectónico de la Parte Centro-Oriental del Altiplano Mexicano: Memoria, Convención Sobre la Evolución Geológica de México, 1^{er} Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hgo., Resumen, pp. 238-240.

- Tristán-González, M., y Torres-Hernández, J.R.,** 1992, Cartografía Geológica 1:50,000 de la Hoja Charcas, Estado de San Luis Potosí: Inst. Geología, Univ. Autón. San Luis Potosí, Folleto Técnico, Núm. 115, 94 p.
- Turner, P.,** 1980, Continental Red Beds: Elsevier Pub. Co., New York, Developments in Sedimentology Series, pp. 1-65.
- Tuta, Z.H., Sutter, J.F., Kesler, S.E., and Ruiz, J.,** 1988, Geochronology of Mercury, Tin and Fluorine Mineralization in Northern Mexico: Economic Geology, v. 83, Núm. 8 pp. 1931-1942.
- Verma, H.M., and Westermann, G.E.G.,** 1973, The Tithonian (Jurassic) Ammonite Fauna and Stratigraphy of Sierra Catorce, San Luis Potosi, Mexico: Bull. Am. Paleontology, v. 63, Núm. 277, 320 p.
- Vernon, R.C.,** 1971, Possible future petroleum potential of pre-Jurassic, western Gulf Basin, -in Cram, I.H., Ed., Future petroleum provinces of the United States-Their geology and potential, v. 2: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 15, pp. 954-979.
- Villaseñor-Martínez, A.B., Olóriz-Sáez, F., y González-Arreola, C.,** 1991, Las Plataformas Marinas del Jurásico Tardío en el Área de Sierra de Catorce, Estado de San Luis Potosí; una Aproximación a la Interpretación Ecoestratigráfica: Memoria, Convención Sobre la Evolución Geológica de México 1° Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hgo., Resumen, pp. 238-240.
- Wiedmann, S.P.,** 1979, Geology of Sierra El Fraile and vicinity San Luis Potosi, Mexico: M.S. Thesis, Univ. of Texas at Arlington, 102 p.
- Woods, R.D. and Addington, J.W.,** 1973, Pre-Jurassic geologic framework, northern Gulf Basin: Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans., v. 23, pp. 92-108.
- Zavala-Monsivais, A.,** 2000, Petrografía de rocas volcánicas pre-cretáceas en la parte occidental del Estado de San Luis Potosí: Trabajo Recepcional, Univ. Autón. San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, 112 p.

APÉNDICE

REPORTE. 1. Secciones Medidas en Formación Real de Catorce

Las secciones medidas en las capas rojas de la Formación Real de Catorce, son mediciones parciales realizadas en sitios diferentes, corresponden a cambios litológicos de limolitas y conglomerados, puesto que la secuencia completa de la unidad varía en su litología, debido a las condiciones locales del depósito. A continuación se hace una descripción de las secciones medidas de la base a la cima.

1.1. Formación Real de Catorce (secuencia de arcosas de grano medio a fino)

Localidad. Panteón de Real de Catorce

Descripción		Espesor
Consta de arcosas de grano fino, muy homogéneas de color café-rojizo a violeta, presenta interestratificación cruzada, son muy deleznable, son muy comunes los planos de crucero, ellos destacan por un color ocre, debido a una alteración por hidratación.	⇒	118 m
Total expuesto		118 m

1.2. Formación Real de Catorce (secuencia conglomerática)

Localidad. Al oriente de Poblazón (Arroyo la Cañada)

Descripción		Espesor
Consiste de un conglomerado polimíctico mal clasificado, con clastos de 3 a 5 cm, angulosos y arredondados en una matriz de granos gruesos de 3 mm; la composición de los clastos varía de rocas volcánicas máficas a clastos de cuarcita y filita. Las rocas se caracterizan por un color café-rojizo a violáceo, con variación a un ocre.	⇒	60 m
Aumento en el tamaño de los clastos gruesos hasta 18 cm con una disminución notoria a granos finos en la matriz; el color es café-rojizo a violáceo con variación a ocre.	⇒	30 m
Disminución general en el tamaño de los clastos gruesos, hasta comportarse como una arcosa de grano grueso a grano fino, de color café-rojizo a violáceo con variación a ocre.	⇒	26 m
Total expuesto		116 m

REPORTE. 2. Descripciones Petrográficas

2.1. Muestra: C-3 (Lám. XII, Figs. A y B, Lám. XIII, Figs. A y B, Lám. XIV, Fig. A)

Descripción Petrográfica y/o Minerográfica

Descripción Megascópica

Roca de coloración: Grisáceo con tonalidades rojizas.

Estructura: Compacta, con estratificación delgada.

Dureza: Baja, poco dura, la navaja penetra rayando la roca.

Textura: Clástica de grano fino, con alineación preferencial de los componentes, formando laminación y estratificación.

Mineralogía: Probablemente contiene minerales de la arcilla, quizá fragmentos de cuarzo y feldespato en tamaño limo, así como algo de óxidos de fierro y carbonatos.

Otras características: Efervesce débilmente a la acción del ácido clorhídrico diluido.

Clasificación probable: Roca sedimentaria, arcosa de grano fino, con base en la clasificación Folk. (1968).

Descripción Microscópica

Textura

De roca sedimentaria clástica, contiene fragmentos de tamaño variando entre 0.046, 0.051 (limo) a 0.065 mm (arena fina), predominando los intermedios (limo). Tiene calibrado moderado a malo. Son de formas subredondeadas, con orientación paralela referida con respecto a ellos mismos y al cementante, con porosidad y permeabilidad baja; cementante principalmente clástico y algo de precipitación química separando las láminas.

Mineralogía (esenciales, secundarios y clasificación)

Roca que contiene: Fragmentos de cristales de cuarzo, feldespatos, algunos minerales máficos, minerales de la arcilla, calcita, óxidos de fierro y minerales metálicos.

Cuarzo

Se encuentra en fragmentos del tamaño del limo y de la arena fina; son de formas subredondeadas en su mayoría, están limpios en su superficie, sin alteración, alineados en forma paralela a subparalela a los demás componentes de la roca.

En cantidad constituyen aproximadamente el 25% del contenido mineral total de la muestra.

Feldespato

Al igual que el cuarzo, se encuentra en fragmentos de formas subredondeadas, de tamaño limo predominantemente y escasamente contiene algunos tamaños de arena fina. En general los cristales de feldespato, principalmente alcalino, tienen alteración moderada a fuerte hacia minerales de la arcilla, por lo que se observan con superficie turbia y en ocasiones están casi totalmente alterados.

Los minerales presentan alineación paralela a subparalela con respecto a los demás componentes; en cantidad hacen entre el 7 al 10% del contenido mineral en la muestra.

Carbonato

Se encuentra como fragmentos de cristales de formas subredondeadas, así como en crecimientos o rellenos irregulares entre las láminas de los siliciclásticos y escasamente entre el cementante de ellos mismos. En cantidad hacen aproximadamente el 15% del contenido mineral en la muestra.

En mayor cantidad el carbonato (calcita), se encuentra relleno de espacios de separación entre la estratificación de la roca; se observan agregados de cristales de tamaño limo y arcilla, generalmente, con espacios irregulares, pero en ocasiones se ven como microvetillas. En ocasiones se mezclan con minerales de la arcilla y dan apariencia de formas fibrosas y fibrosas radiales. En cantidad hace aproximadamente el 8%.

Los fragmentos de cristales de carbonato, son de formas subredondeadas, de tamaño limo, corroídos de las periferias hacia el centro; en cantidad hacen quizá el 2% del contenido mineral en la muestra.

El carbonato mezclado con las arcillas del cementante, quizá representa un 5% del contenido mineral en la muestra.

Minerales máficos

Son escasos, quizá hacen el 1% del contenido mineral en la muestra; son fragmentos tamaño limo diseminados y alineados entre los demás fragmentos componentes de la roca, al parecer son algunas micas y quizá algo de piroxenos. Además, se encuentran algunos fragmentos (5%) de clorita, los cuales provienen de alteración de los minerales máficos, de los cuales se llegan a observar todavía las formas.

Metálicos

Contiene minerales metálicos y óxidos de hierro, los cuales le dan coloración parda rojiza a la roca, se observan en fragmentos de cristales individuales y en agregados asociados a los minerales del cementante. Aproximadamente forman el 20% del contenido mineral de la muestra.

Los cristales individuales son del tamaño del limo, están diseminados entre los demás componentes, normalmente están convertidos a óxidos de hierro; constituyen aproximadamente el 5% del contenido mineral de la muestra. Los que están asociados a los demás componentes del cementante, son de tamaños de la arcilla y están fuertemente oxidados.

Cementante

Está compuesto por minerales de la arcilla, óxidos de hierro, carbonatos, clorita y fragmentos tamaño de arcilla en los fragmentos ya descritos. En cantidad el cementante hace el resto del porcentaje mineralógico (aprox. el 25% del contenido mineral). Predomina la mezcla de arcillas-óxidos de hierro, algunos minerales de la arcilla presentan recristalización incipiente, hacia illita y hacia algo de sericita.

Además, se observan algunos minerales pesados de formas euhedrales. Se atacó con ácido clorhídrico diluido una zona de la muestra, para verificar los contenidos de carbonatos y óxidos de hierro; al parecer los óxidos de hierro en algunas partes de la roca son más abundantes de lo estimado y disminuyen los minerales de la arcilla-carbonatos.

Petrogénesis (origen, minerales metamórficos, deutéricos, hidrotermales)

Roca sedimentaria clástica con fragmentos predominantes del tamaño limo, por lo que se clasifica como "arcosa de grano fino", con incipiente recristalización de los minerales de la arcilla.

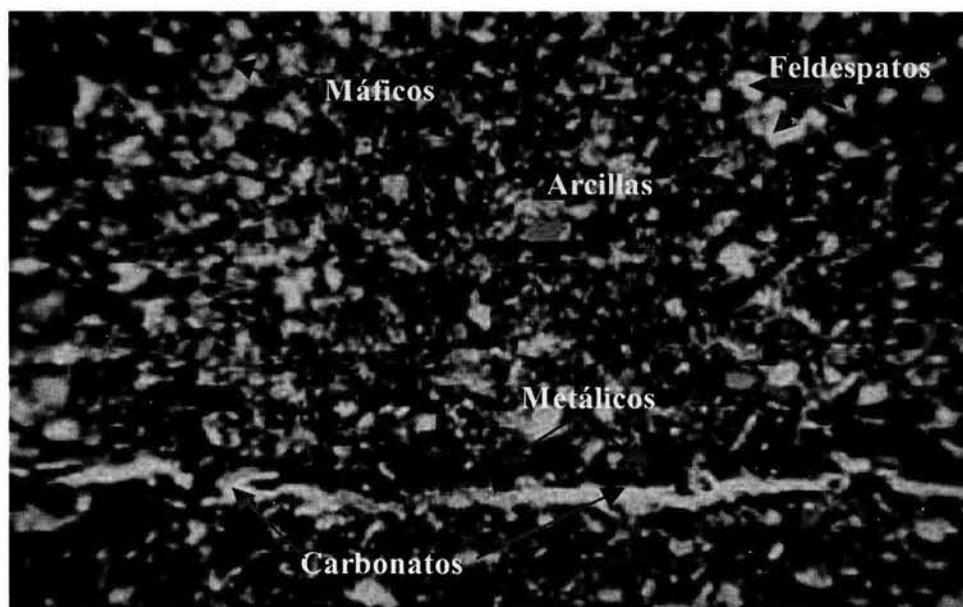


Figura A. Fotomicrografía de la muestra C-3. Vista general en donde se observan los componentes de la muestra, tiene fragmentos de cuarzo, feldspatos, minerales máficos y como cementante minerales de arcilla, carbonatos y minerales oxidados. 100 X, L. P.

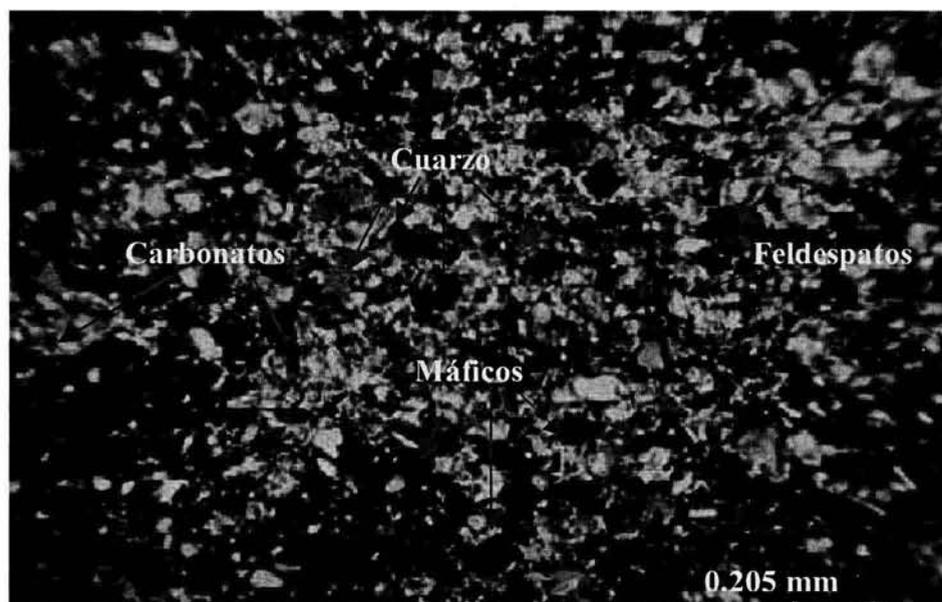


Figura B. Fotomicrografía de la muestra C-3. Otra vista en donde se observan los componentes de la roca y un poco más abundantes los carbonatos. 100 X, L. P.

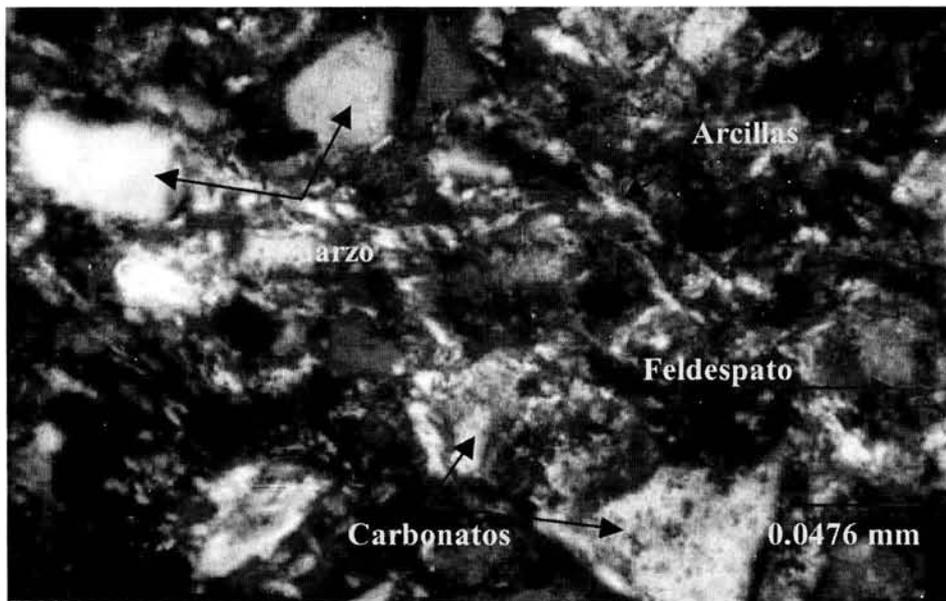


Figura A. Fotomicrografía de la muestra C-3. Otra vista de la roca, en donde se ven fragmentos de cuarzo, feldespatos, carbonatos y matriz arcillosa en zonas recristalizadas. 100 X, L. P.

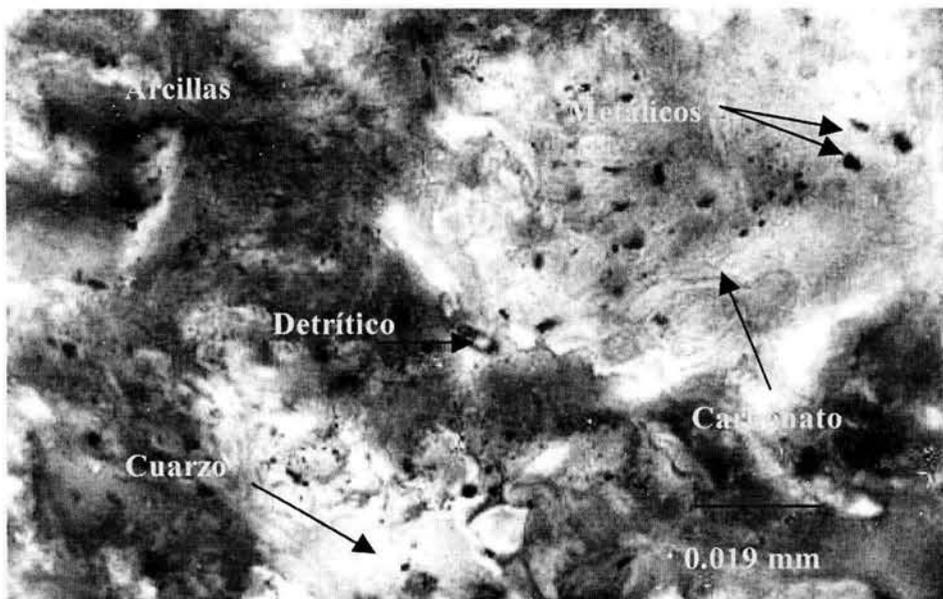


Figura B. Fotomicrografía de la muestra C-3. Acercamiento a la muestra, en donde se observan los minerales de arcilla-carbonatos y metálicos de cementante, así como fragmentos de cuarzo y un mineral euهدral de los detríticos pesados. 1000X, L.P. Inmersión en aceite.

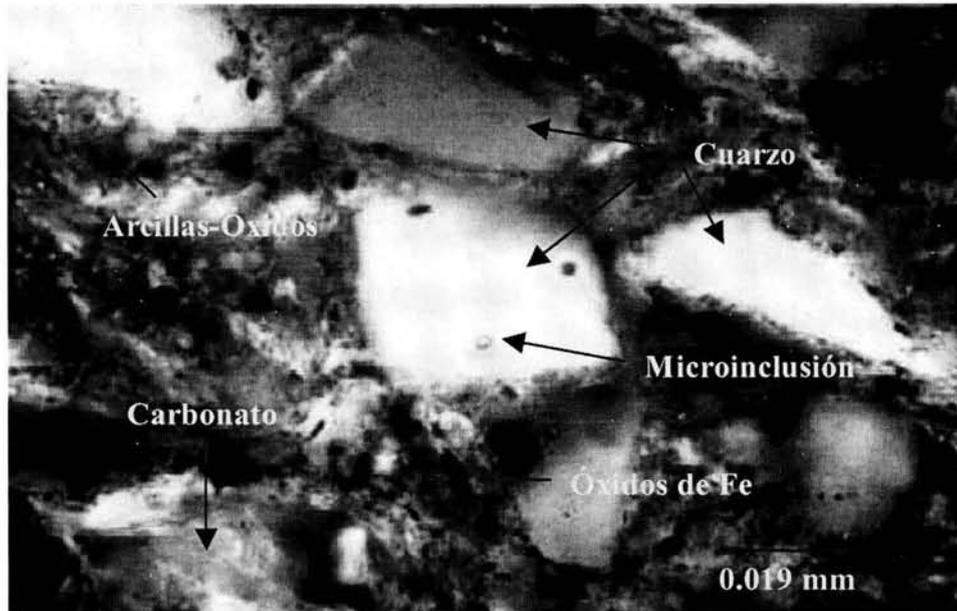


Figura A. Fotomicrografía de la muestra C-3. Otra vista en acercamiento, en donde se ven los fragmentos de cuarzo alineados en posición paralela, uno tiene microinclusiones fluidas, lo cual indica su origen ígneo; están en cementante de arcillas, carbonatos y minerales metálicos-óxido de hierro. 1000 X, L.P. Inmersión en aceite.

2.2. Muestra: C-1 (Lám. XV, Figs. A y B, Lám. XVI, Figs. A y B, Lám. XVII, Figs. A y B, Lám. XVIII, Fig. A)

Descripción Petrográfica y/o Mineragráfica

Descripción Megascópica

Roca de coloración pardusca-amarillenta, con zonas rojizas por contenido de óxidos de hierro.

Estructura: Compacta, con algunos fragmentos de roca de colores claros, con huecos o espacios parcialmente rellenos de óxidos de hierro.

Dureza: Baja, la navaja penetra rayando uniformemente la muestra.

Textura: Afanítica, aunque en zonas de apariencia brechoide. Con alineación paralela preferencial.

Mineralogía: Contiene minerales de la arcilla y óxidos de hierro.

Otras características: Tiene alineación preferencial de los componentes quizá por metamorfismo regional; se llegan a notar algunos rellenos irregulares al parecer de segregación, en ocasiones están atravesando a los minerales de la arcilla.

Clasificación probable: Se trata de una toba riolítica muy compacta; por su naturaleza en campo se puede confundir con una lava riolítica. Está fuertemente alterada hacia minerales de la arcilla y óxidos de hierro.

Descripción Microscópica

Textura

Blastoporfirítica?, con fantasmas de probables fenocristales de feldespatos, en matriz de grano fino. Se observan algunos fragmentos, por lo que se pudiera decir que es brechoide; contiene además segregación de cuarzo y con minerales metálicos, que forman textura augen e incipiente bandeamiento. Los minerales de la matriz tienen orientación preferencial y en ocasiones se observan estructuras "S".

Mineralogía (esenciales, secundarios y clasificación)

Roca que contiene: Minerales de la arcilla, minerales metálicos (pirita), óxidos de hierro, algunos minerales máficos, cuarzo y feldespato.

Cuarzo

Se encuentran algunos cristales o fragmentos de éstos, de tamaños de la arena fina, asociados únicamente con los minerales arcillosos provenientes de los minerales que formaban la matriz.

La mayor cantidad del cuarzo se ha reagrupado por efectos de presión, dando segregación de diversas formas, en ocasiones se encuentran formando estructuras augen y bandas. En general, estos cristales y fragmentos tienen extinciones anómalas; en cantidad hacen en la muestra aproximadamente el 15% del contenido mineral.

En algunos agregados se observan señales de rotación por presión y cuando menos dos etapas diferentes de metamorfismo regional, señalado por las estructuras "S".

Feldespatos

Se observan escasos fenocristales de feldespato alcalino, los cuales se encuentran únicamente asociados a los minerales arcillosos provenientes de los originales que conforman la matriz. Quizá contenía algunos fenocristales de plagioclasas, los cuales fueron alterados totalmente hacia minerales de la arcilla, quedando únicamente los fantasmas de los mismos. No se puede calcular la cantidad de los feldespatos, debido a la fuerte alteración que presenta la roca; los cristales que se observan relativamente sanos, hacen quizá el 3% del contenido minerales en la muestra.

Minerales máficos

Están en escasa cantidad, se observan algunos fenocristales de probables micas, alteradas hacia óxidos de hierro, quizá algunos piroxenos igualmente alterados; en cantidad los fenocristales de máficos hacen quizá el 5% del contenido mineral en la roca.

En general, los fenocristales presentan crenulación interna y fuerte alteración debido al metamorfismo.

Contienen estructuras augen e incipiente bandeado de segregación, el cual se forma del agrupamiento de minerales como cuarzo-feldespatos y escasamente algunos minerales máficos. Además se llega a observar algunas estructuras augen de minerales metálicos microcristalinos, los cuales sustituyen a los minerales originales, dando apariencia de ser una textura mosqueada.

Los óxidos de hierro que contiene la roca, se deben a alteración meteórica sobre minerales componentes de la roca que contienen algo de hierro, entre los cuales se puede nombrar a la pirita y a los minerales máficos.

El grueso o sostén de la roca lo constituyen los minerales de la arcilla, los cuales conforman el resto del porcentaje mineralógico y lo que se pudiera llamar como matriz; éstos se encuentran recristalizados hacia illita y en parte hacia algo de sericita, por efectos principalmente de metamorfismo regional y quizá también por la circulación de algunos fluidos. Estas arcillas se asocian a minerales metálicos microcristalinos oxidados, tienen orientación preferencial (foliación), la cual está muy marcada por la recristalización de las mismas y se observan señales de cuando menos dos etapas diferentes de foliación, las cuales presentan ángulos diferentes, inclusive cruzándose entre sí.

La roca presenta algo de porosidad, se observan espacios vacíos de diferentes formas, sin conexión entre sí.

Petrogénesis (origen, minerales metamórficos, deutéricos, hidrotermales)

Roca de origen tobáceo, muy compacta de composición riolítica, con fuerte alteración hacia minerales de la arcilla de la mayoría de los componentes, con metamorfismo probablemente regional, en la facies de la albita-epidota? Quizá con la interacción de algunos fluidos, con marcada foliación y crenulación de los componentes.

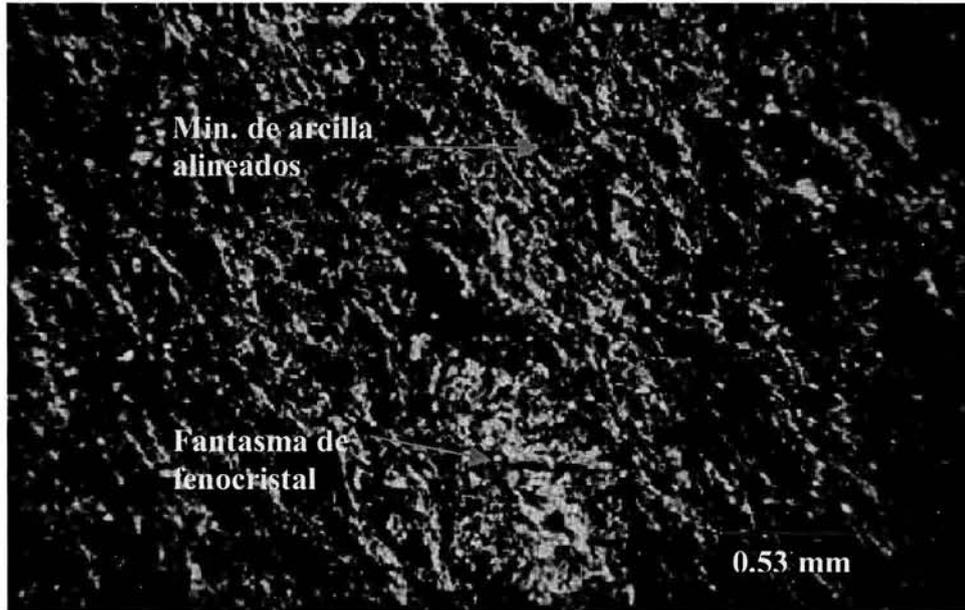


Figura A. Fotomicrografía de la muestra C-1. Vista general de la muestra; se observan minerales de arcilla recristalizados, con alineación preferencial y algunos fantasmas de fenocristales originales, así como espacios vacíos sin conexión entre sí. 40 X, L. P.



Figura B. Fotomicrografía de la muestra C-3. Acercamiento; se observa formación de textura augen de alguno de sus componentes, así como la alineación preferencial de todos los minerales, principalmente de arcilla los recristalizados. 100 X, L. P.

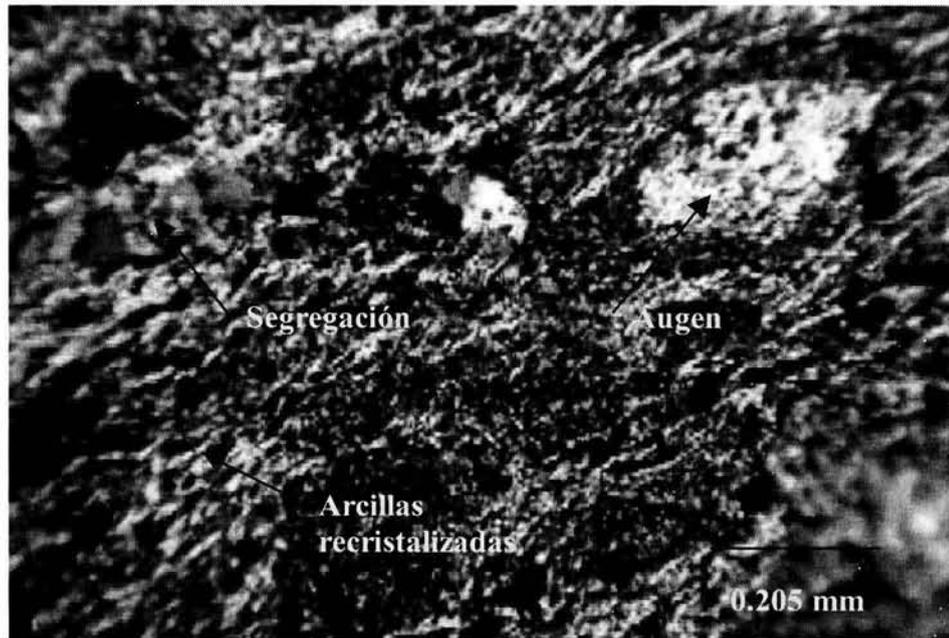


Figura A. Fotomicrografía de la muestra C-1. Otra vista de la textura augen y de la segregación de minerales de cuarzo-feldespato. Además se observan minerales metálicos oxidados. 100 X, L. P.

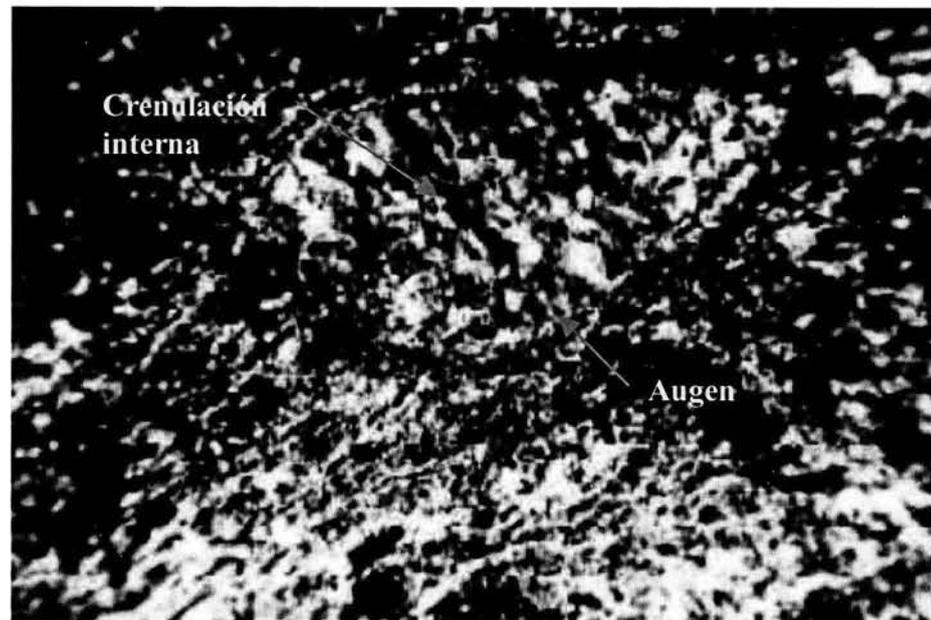


Figura B. Fotomicrografía de la muestra C-1. Se observa la crenulación interna de los componentes, indicando, ¿quizá? Algo de metamorfismo cataclástico. 100 X, L. P.

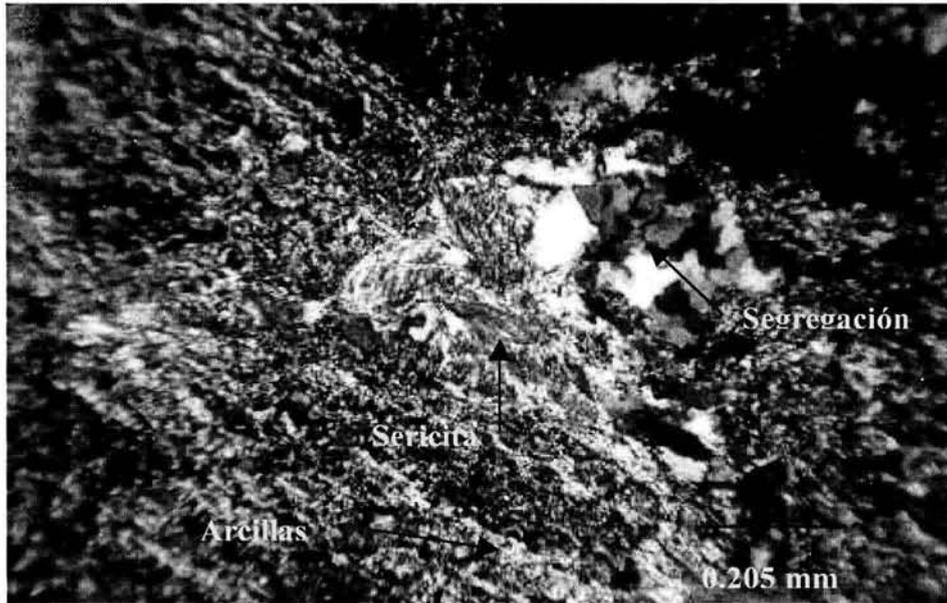


Figura A. Fotomicrografía de la muestra C-1. Recristalización de los minerales de la arcilla hacia sericita. 100 X, L. P.

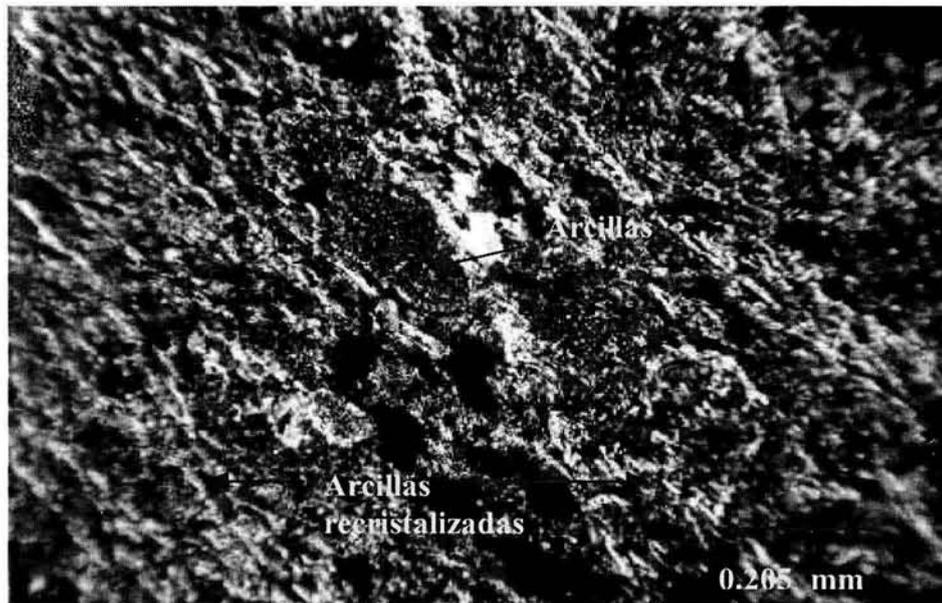


Figura B. Fotomicrografía de la muestra C-1. Cruce de dos foliaciones diferentes. 100 X, L. P.

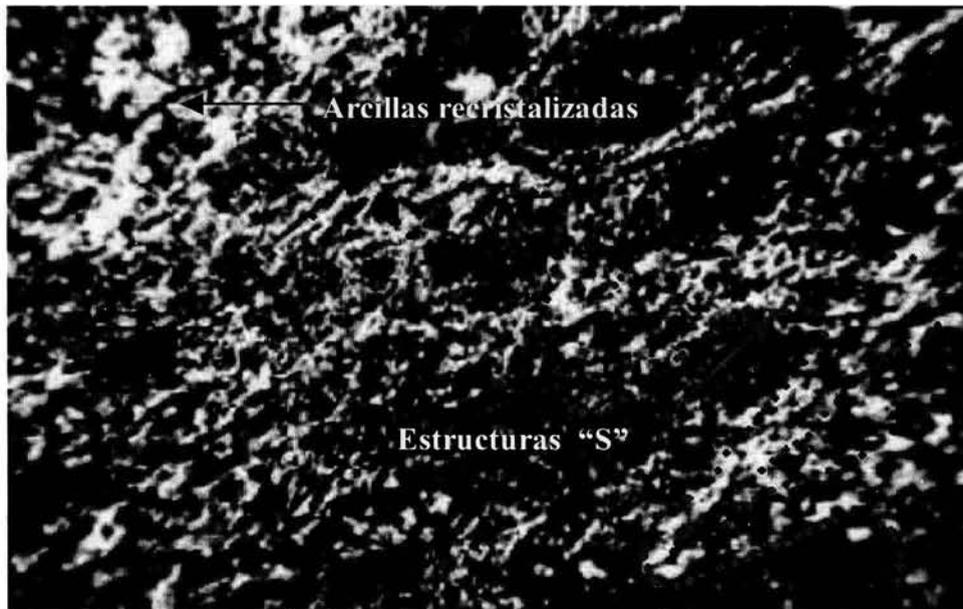


Figura A. Fotomicrografía de la muestra C-1. Incipiente formación de una estructura "S". 100 X, L. P.

2.3. Muestra: C-R (Lám. XIX, Figs. A y B, Lám. XX, Fig. A)

Descripción Petrográfica y/o Mineragráfica

Descripción Megascópica

Roca de coloración: Pardusco alternando con zonas de tonalidades rojizas.

Estructura: Compacta, con estratificación delgada, probable estratificación cruzada.

Dureza: Baja, poco dura, la navaja penetra rayando la roca.

Textura: Clástica de grano fino, con alineación preferencial de los componentes, formando laminación y estratificación.

Mineralogía: Probablemente contiene minerales de la arcilla, quizá fragmentos de cuarzo y feldespato tamaño limo, algo de óxidos de hierro y manganeso.

Otras características: No efervesce a la acción del ácido clorhídrico diluido.

Clasificación probable: Roca sedimentaria, arcosa de grano medio a fino, con base en la clasificación Folk, (1968).

Descripción Microscópica

Textura

De la roca sedimentaria clástica; contiene fragmentos de tamaño variando entre 0.018, 0.0467 a 0.14 mm (tamaños del limo a la arena fina), predominando los del tamaño limo, los del tamaño arena fina son escasos. Tiene calibrado moderado a malo. En general son de formas subredondeadas, con orientación paralela referida con respecto a ellos mismos y al cementante; en ocasiones se encuentran los fragmentos en contacto entre ellos, señalando que es poco el cementante y que la roca se petrificó principalmente por presión. Tiene además porosidad y permeabilidad moderada, los espacios vacíos son de formas irregulares y se llegan a conectar entre sí, el cementante son arcillas con recristalización débil a moderada.

Mineralogía (esenciales, secundarios y clasificación)

Roca que contiene: Fragmentos de cristales de cuarzo, feldespatos, algunos minerales máficos, minerales de la arcilla recristalizados, óxidos de hierro y minerales metálicos.

Cuarzo

Se encuentran principalmente en fragmentos del tamaño del limo y escasamente de la arena fina, son de formas subredondeadas en su mayoría, están limpios en su superficie, sin alteración, alineados en forma paralela y subparalela a los demás componentes de la roca, en algunas zonas se encuentran en contacto entre sí y con los demás componentes de la roca.

Constituyen aproximadamente el 40% del contenido mineral total de la muestra.

Feldespato

Al igual que el cuarzo, se encuentra en fragmentos de formas subredondeadas a rodadas, de tamaño limo predominantemente y escasamente contiene algunos fragmentos tamaño de la arena fina. En general, los cristales son de feldespato alcalino, aunque se llegan a encontrar algunos fragmentos de plagioclasas que conservan todavía su macla

(combinada de albita-carlsbad), tienen alteración moderada hacia minerales de la arcilla, por lo que se llegan a ver con su superficie turbia.

Tienen alineación paralela con respecto a ellos mismos y a los demás componentes de la roca; en cantidad hacen entre el 15 al 20% del contenido mineral en la muestra.

Minerales máficos

Son escasos, hacen aproximadamente el 5% del contenido mineral en la muestra, son fragmentos tamaño limo y escasamente algunos tamaño arena fina, están asociados y alineados entre los demás fragmentos componentes de la roca, al parecer son algunas micas y quizá algo de piroxenos.

En general están de débil a moderadamente alterados hacia óxidos de hierro.

Metálicos

Contiene minerales metálicos moderadamente oxidados y algunos óxidos de hierro terrosos (limolita), los cuales le dan coloración parda rojiza a la roca, al igual que los minerales máficos alterados; los metálicos se observan en fragmentos de cristales individuales y en agregados, diseminados entre los demás componentes de la roca; aproximadamente hacen el 15% del contenido mineral de la muestra.

Cementante

Está compuesto por minerales de la arcilla, mezclados con óxidos de hierro terrosos (limonitas). En cantidad el cementante es escaso, hace el resto del porcentaje mineralógico (aproximadamente entre el 15 al 20% del contenido mineral). En general, los minerales de la arcilla están recristalizados, hacia illita y quizá algo de sericita.

Tiene porosidad y permeabilidad moderada; se encuentran algunos espacios vacíos (no ocupados por sólidos), de formas irregulares, en su mayoría interconectados, dándole a la roca porosidad y permeabilidad moderada.

Petrogénesis (origen, minerales metamórficos, deutéricos, hidrotermales)

Roca sedimentaria clástica con fragmentos predominantes de grano medio a fino, por lo que se clasifica como una "arcosa de grano medio a fino", con recristalización de los minerales de la arcilla del cementante.

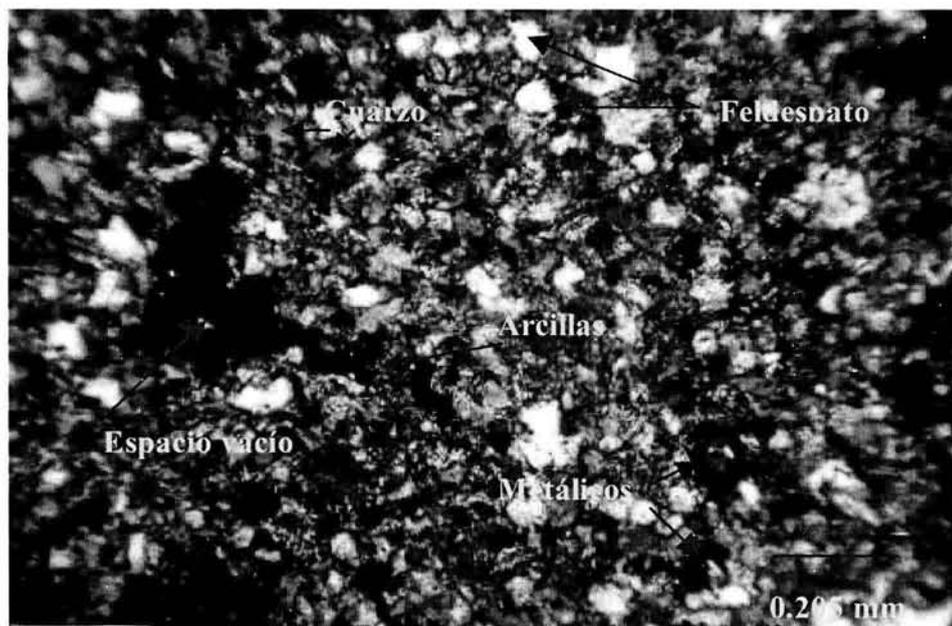


Figura A. Fotomicrografía de la muestra C-R. Vista general donde se observan los componentes de la muestra, tiene fragmentos de cuarzo, feldespatos y minerales máficos y metálicos; como cementante contiene minerales de arcilla, además, se observan algunos espacios vacíos. 100 X, L. P.

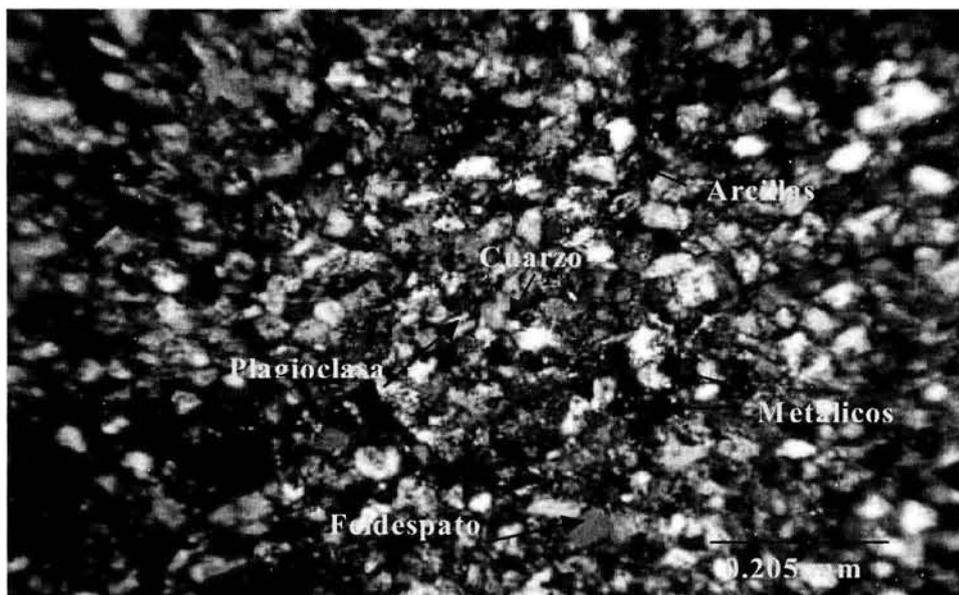


Figura B. Fotomicrografía de la muestra C-R. Otra vista, se observan los componentes de la roca (cuarzo, feldespato, plagioclasas y minerales máficos y metálicos), en cementante de arcillas recristalizadas. 100 X, L.P.

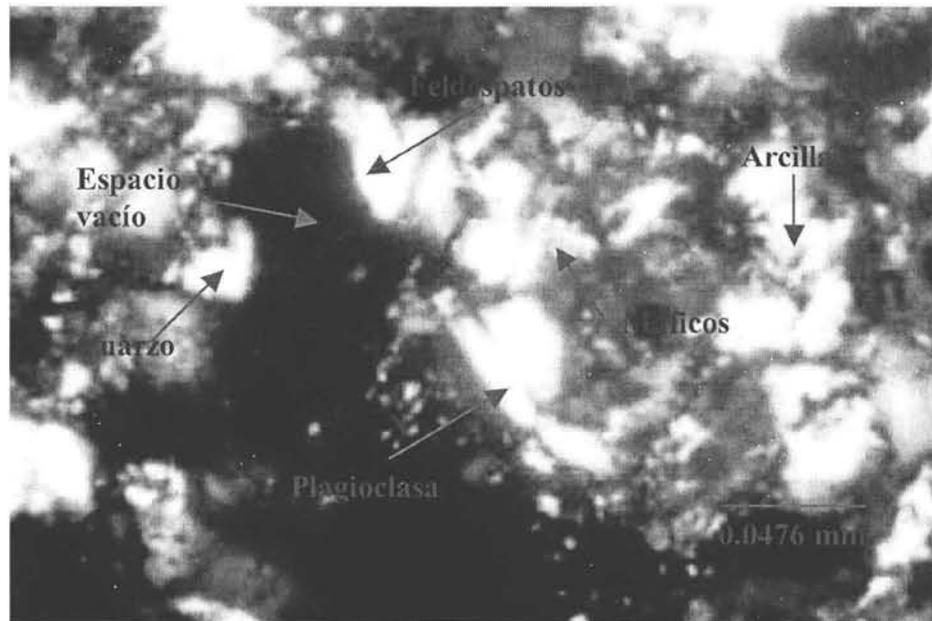
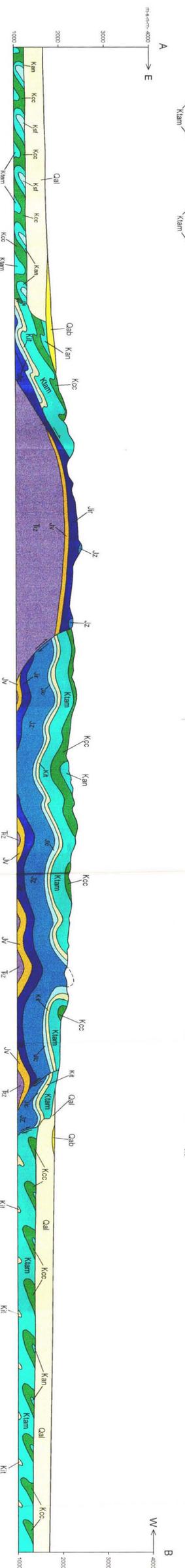
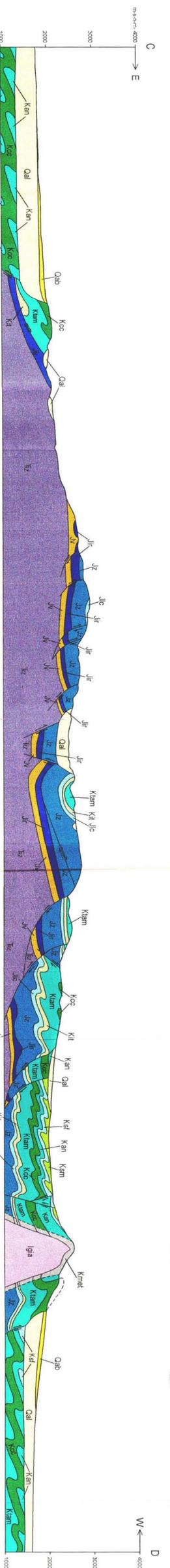
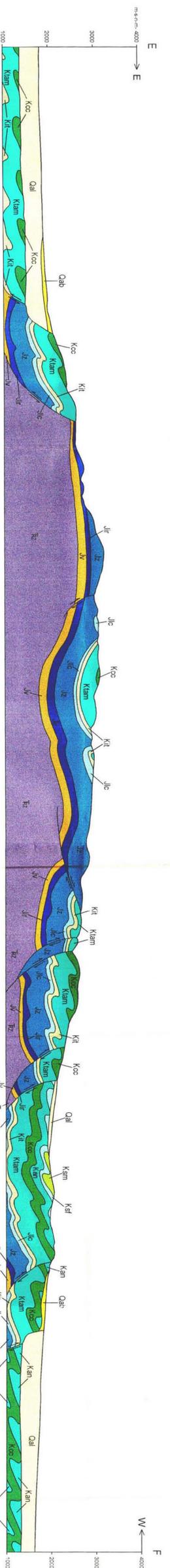
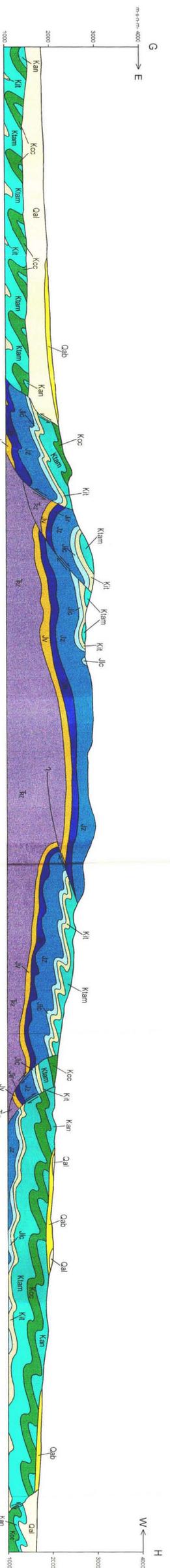
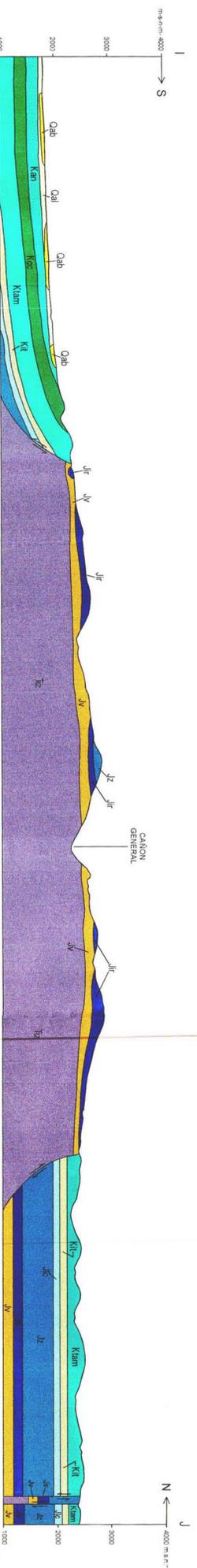
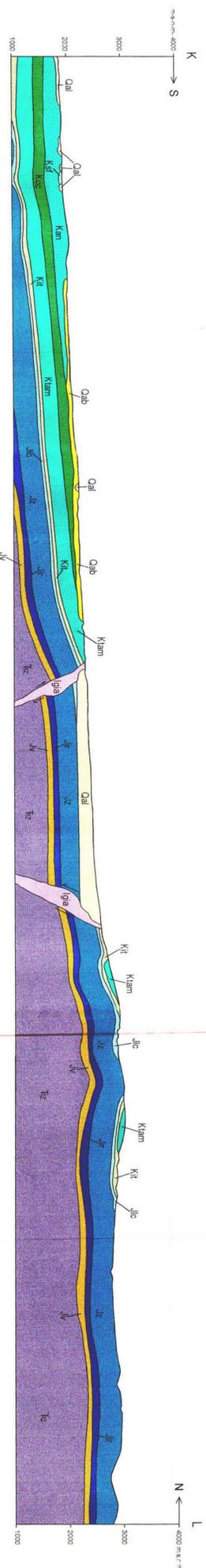
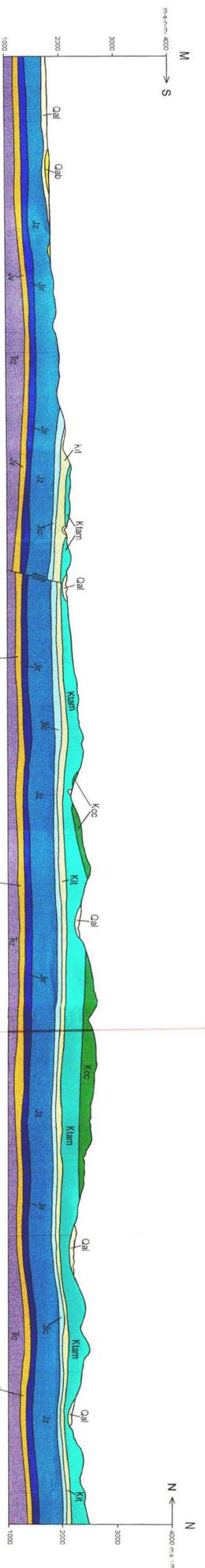


Figura A. Fotomicrografía de la muestra C-R. Otra vista de la roca, en donde se observan fragmentos de cuarzo, feldspatos, plagioclasas macladas, máficos de tamaño de limo, algunos espacios vacíos y cementante arcilloso parcialmente recristalizado. 400 X, L. P.

EXPLICACION

- Qab Abanico aluvial
- Qal Aluvión
- Iglá U. informal tronco La Paz
- Ksm Formación Méndez
- Ksf Formación San Felipe
- Kan Formación Agua Nueva
- Koc Formación Cuesta del Cura
- Klam Formación Tamalipás
- Kit Formación Taraises
- Jlc Formación La Caja
- Jz Formación Zuloaga
- Jfr Formación Real de Calorce
- Jv U. informal Ioba Cañon General
- Tz Formación Zacatecas
- Kmet U. informal metamórfica El Fraile



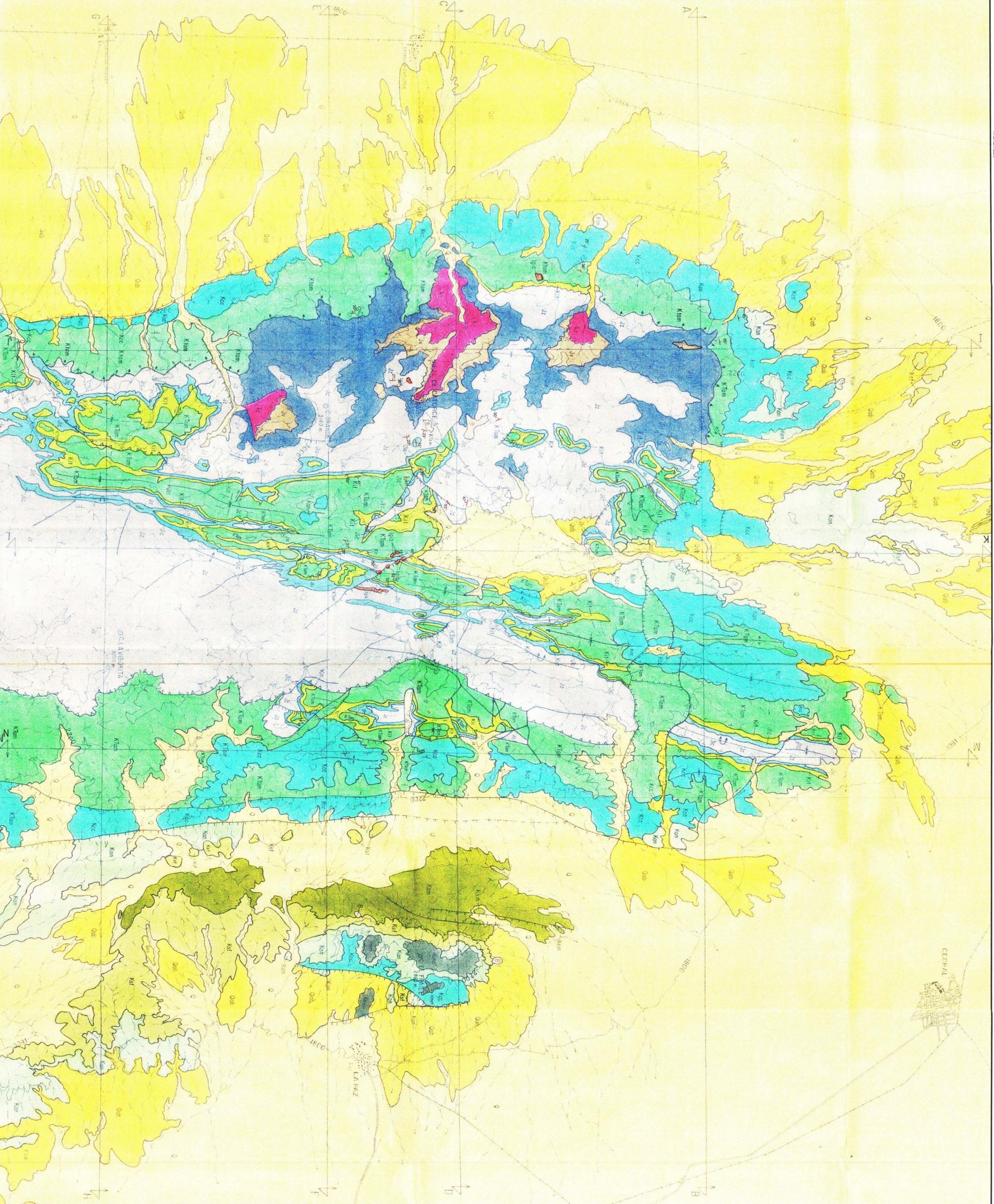
Secciones Estructurales del Área

ESCALA VERTICAL Y HORIZONTAL
1: 50,000



Lámina V

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA
PIROTECA CENTRAL

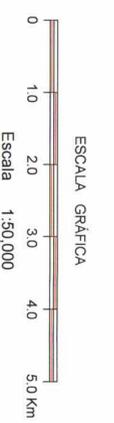
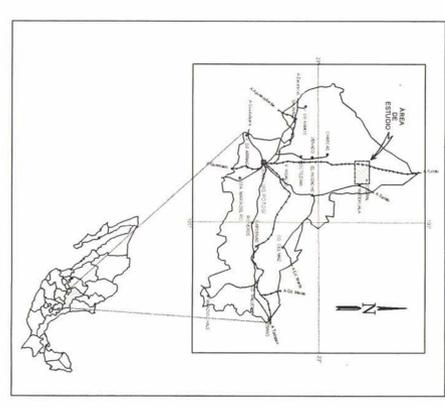


EXPLICACIÓN

CENOZOICO	
RECIENTE	Q ALUVIÓN Qab ABANICOS ALUVIALES
PLOCENO	B U.I. BASALTO LA DESCUBRIDORA
OLOCENO	Tgla U.I. TRONCO LA PAZ Intrusivos de granodiorita.
MESOZOICO	
CRETACEO TARDIO	Ksm Fm. MENDEZ Ksf Fm. SAN FELIPE Lutitas calcáreas de color verde olivo con calizas gris oscuras. Calcareas o calcáritas con interstratificación de limolitas.
CRETACEO MEDIO	Kan Fm. AGUA NUEVA Calizas laminares de color gris claro o café interstratificación de lentas y bandas de pedernal. Kcc Fm. CUESTA DEL CURA Lutitas interstratificadas. Calizas con estrías delgadas y gruesas con nodulos de hematita.
CRETACEO TEMPRANO	Ktam Fm. TAMALULPAS Lutitas calcáreas, calizas arcillosas, bandas y nodulos de pedernal. Ktl Fm. TARAISES Lutitas calcáreas volutas, limolitas negras.
JURASICO TARDIO	Jlc Fm. LA CAJA Lutitas calcáreas conchas.
JURASICO MEDIO	Jz Fm. ZULOGA Calizas escudadas con aspecto de litas calcáreas gris claro, calizas en estrías porosas. Capas rojas, arcosas y
JURASICO TEMPRANO	Jr Fm. REAL DE CATORCE Tolvas rojizas compactas complementadas.)
TRIASICO TARDIO	Jv U.I. TOBA CAÑON GENERAL y litas arcillosas. 7-2 Fm. ZACATECAS Lutitas y areniscas con deformación arcadas.

SIMBOLOGIA

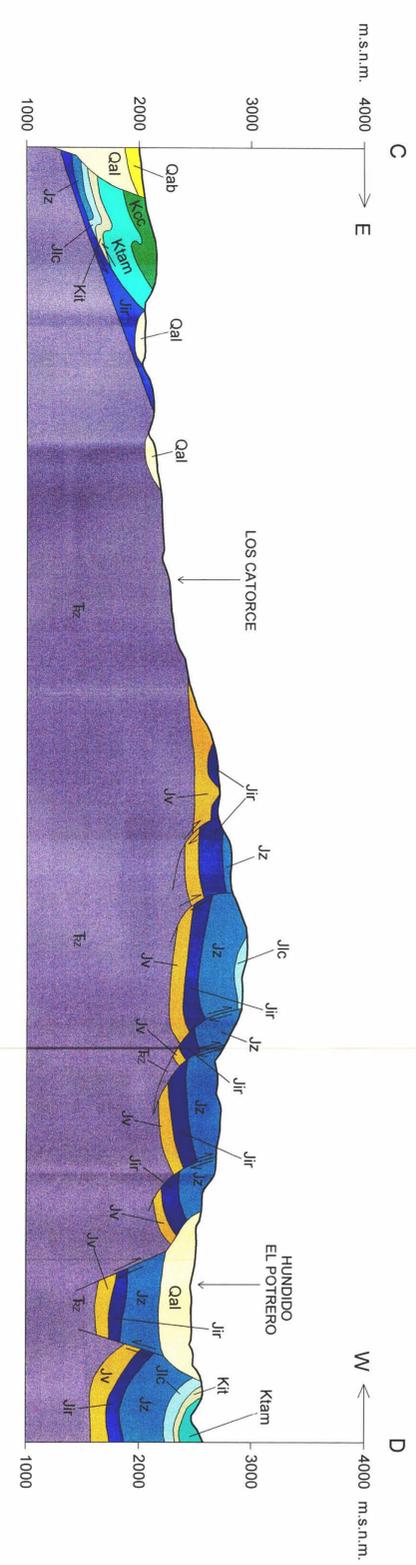
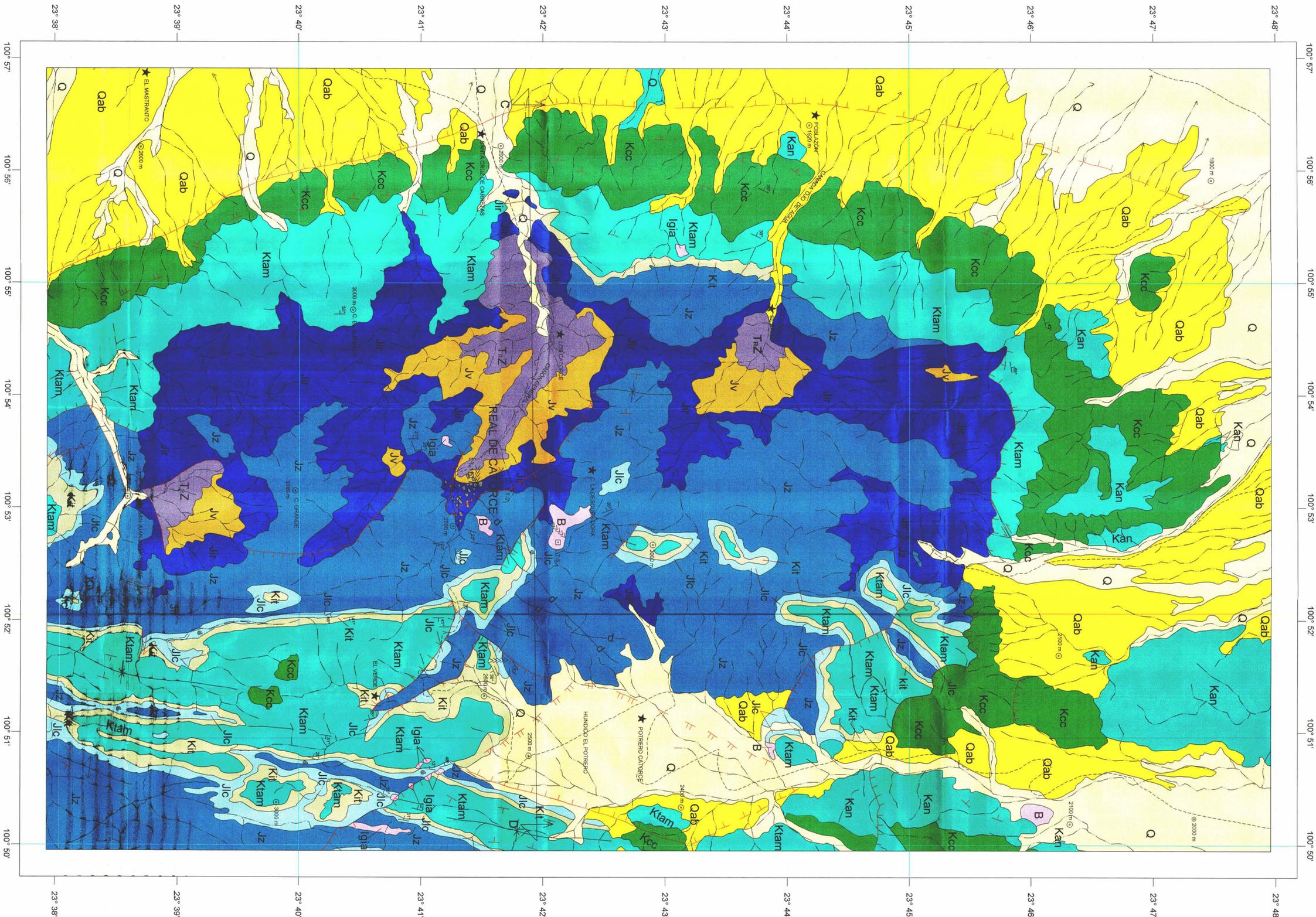
- CONTACTO GEOLOGICO _____
- RINBO E INCLINACION _____
- FALLA LINEAS CORTAS INDICAN BLOQUE HUNDIDO _____
- FALLA DE CABALGADURA TRIANGULOS INDICAN BLOQUE ASCENDENTE _____
- FALLA INFERICA _____
- ANTICLINAL _____
- SINCLINAL _____
- DIQUE _____
- FRACHTURA _____
- ARROYO _____
- CURVAS DE NIVEL CADA 200 METROS _____
- CARETERA _____
- TERRACERA _____
- VIA FERREA _____
- POBLADO _____



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE CIENCIAS

MAPA GEOLOGICO
DE LA
SIERRA DE CATORCE, S.L.P.

FOR: MARTINEZ MACIAS, P.R. 2004 LAMINA III

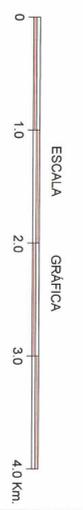
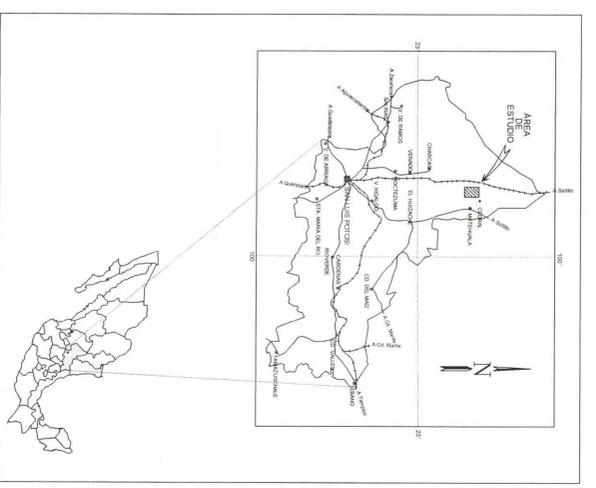


EXPLICACIÓN

CENOZOICO	
RECIENTE	Q ALUVION Gab ABANICOS ALUVIALES
PLEISTOCENO	B U.I. basalto La Descubridora
CUATROCENO	Iglia U.I. tronco La Paz Intrusivos de granodiorita
	Ksm Fm. MENDEZ Lutitas calcáreas de color verde olivo con calizas gris oscuro
	Ksf Fm. SAN FELIPE Calcarenífitas o calcáritas con interestratificación de limolitas
	Kan Fm. AGUA NUEVA Calizas laminares de color gris claro o café interestratificación de limas y bandas de pedernal
	Kcc Fm. CUESTA DEL CURPA Calizas en estratos delgados, lutitas interestratificadas, bandas de pedernal
	Kiam Fm. TAMAULIPAS Calizas con estratos delgados y gruesos con nodulos de hematita, lutitas interestratificadas
	Kit Fm. TARAINSES Lutitas calcáreas, calizas arcillosas, bandas y nodulos de pedernal
	Jic Fm. LA CAJA Lutitas calcáreas violetas, limolitas negras
	Jz Fm. ZULUAGA Calizas calcáreas con aporte de lutitas calcáreas gris claro, calizas en estratos potentes
	Jr Fm. REAL DE CATORCE Capas rojas (Arcosas y conglomerados)
	Jv U. I. toba Cañon General Toba ríolítica compacta y lavas andesíticas
	Tz Fm. ZACATECAS Lutitas y areniscas con deformación avanzada

SIMBOLOGÍA

- CONTACTO GEOLOGICO _____
- RUMBO E INCLINACION _____
- FALLA LINEAS CORTAS INDICAN BLOQUE HUNDIDO _____
- FALLA DE CABALGADURA, TRIANGULOS INDICAN BLOQUE ASCENDENTE _____
- FALLA INFERIDA _____
- ANTICLINAL _____
- SINCLINAL _____
- DIQUE _____
- FRACCTURA _____
- ARROVO _____
- BANCO DE ELEVACION (M.S.N.M.) _____
- CARRETERA _____
- TERRACERIA _____
- VIA FERREA _____
- POBLADO _____
- ZONA DE FOSILES _____
- LOCALIDAD TIPO _____
- SECCION MEDIDA _____



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS

MAPA GEOLÓGICO
DE LA
SIERRA DE CATORCE, S.L.P.

POR: MARTÍNEZ MACÍAS, P.R. 2004 LÁMINA IV