



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

CARTOGRAFÍA MORFOGENÉTICA DEL ÁREA DE
CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

ARTURO GODÍNEZ TAMAY



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. SEPTIEMBRE 2012.



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.

“¡Cuan grandes son tus obras, oh Jehová!

Muy profundos son tus pensamientos”

SALMOS 92:5

HE LLEGADO A ESTE TIEMPO Y LUGAR, PRINCIPALMENTE A DOS GRANDES PERSONAS: MI MADRE MARÍA INÉS Y MI PADRE DANIEL, QUIÉNES ME TRAJERÓN AL MUNDO Y HAN DADO SU APOYO INCONDICIONAL EN TODO MOMENTO DE MI VIDA; POR LO QUE ELLOS TAMBIÉN SON COAUTORES DE ESTE TRABAJO.

MIS HERMANOS EDGAR DANIEL, DAVID Y MI HERMANA ANA DANIELA; HAN SIDO PERSONAJES ESENCIALES DURANTE MI CRECIMIENTO PERSONAL A LOS PRIMEROS POR SU APOYO ECONÓMICO CUANDO MÁS LO NECESITÉ Y A LA ÚLTIMA POR SU AYUDA CON LA COMPUTADORA Y EL SOFTWARE; POR LO QUE PARTE DEL CRÉDITO INTELECTUAL DE LA CARRERA ES DE ELLA.

A MIS PRIM@S POR SER BUENOS COMPAÑEROS DE JUEGOS, A MIS TI@S POR SU FRATERNIDAD Y MIS ABUELITAS, EN ESPECIAL A RAMONITA

A LA UNAM, PUES ELLA ME BRINDÓ LA OPORTUNIDADE DE SER UNIVERSITARIO Y DESARROLLARME COMO PERSONA Y PROFESIONISTA, GRACIAS POR HABERME BRINDADO MAESTROS, COMPAÑEROS Y LAS PRACTICAS DE CAMPO EN LAS QUE APRENDÍ Y CONOCÍ TANTO.

A LOS PROFESORES PROTAGONISTAS DE MI DESARROLLO PROFESIONAL COMO ES EL CASO DE OAXACA, EL DR. ÁLVARO, SANTOYO, EL MAESTRO PANCHITO, RAFAEL COSTERO, ZAPATA, VICTORIA CERÓN, PEDRO MONTES CRUZ, OLIVIA SALMERÓN; Y MÁS RECIENTEMENTE AL DR. JORGE LÓPEZ BLANCO Y AL MTRO. SERGIO YUSSIM GUARNEROS QUIENES CON SU PACIENCIA HAN COMPARTIDO PARTE DE SUS CONOCIMIENTOS, LES AGRADEZCO PROFUNDAMENTE EL TIEMPO QUE HAN INVERTIDO PARA TERMINAR ESTE PROYECTO.

A LOS SINODALES ALBERTO PÉREZ ROJAS, JOSE MANUEL ESPINOZA RODRÍGUEZ, MARÍA DE LOURDES RODRÍGUEZ GAMIÑO Y JOSÉ RAMÓN HERNÁNDEZ SANTANA, QUIENES TUVIERON EL TIEMPO Y DISPOSICIÓN PARA AYUDARME A TERMINAR ESTE TRABAJO.

EN LA ELABORACIÓN DE ESTE PROYECTO, LAS AUTORIDADES DE LA CONANP FUERON DE GRAN APOYO, ESPECIALMENTE A IVO GARCÍA GUTIÉRREZ Y A JESÚS JOEL AGUILAR MOSQUEDA QUIENES SE INTERESARON EN MI PROYECTO; NO OLVIDANDO A JUAN CARLOS, EDER SALDAÑA Y MARTIN, POR SU APOYO EN CUATROCIÉNEGAS.

A TODOS MIS COMPAÑEROS CON LOS QUE HE COMPARTIDO TAN BUENAS EXPERIENCIAS, A TODOS AQUELLOS A QUIENES CONOCÍ EN PREPA 9 Y LOS QUE CONOCÍ EN LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS; NO LOS PODRÍA ENLISTAR O ENUMERAR PORQUE SERÍA INJUSTO PARA TODOS.

ESTA TESIS ORIGINALMENTE FUE ASESORADA POR EL DR. JORGE LÓPEZ BLANCO,
QUIEN ME APOYÓ DURANTE EL INICIO, DESARROLLO Y FINALIZACIÓN DE ESTE
PROYECTO, LAMENTABLEMENTE, POR CIRCUNSTANCIAS AJENAS A MI
VOLUNTAD, ÉL NO QUEDÓ REGISTRADO COMO ASESOR OFICIAL.
SIENDO ESTÁ PÁGINA UN PEQUEÑO RECONOCIMIENTO MORAL
A TODO EL TIEMPO Y PACIENCIA QUE ME BRINDÓ

¡GRACIAS!

CARTOGRAFÍA MORFOGENÉTICA DEL ÁREA DE CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA.

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE	1
I.- CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	4
I.1.a.- Antecedentes	4
I.1.b.- Trabajos previos	5
I.2.a- Planteamiento del problema	6
I.2.b.- Justificación	6
I.2.c.- Hipótesis	8
I.2.d.- Objetivos	9
I.2.d.1.- Objetivo general	9
I.2.d.2.- Objetivos particulares	9
I.2.e.- Estructura del trabajo	10
II.- CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	11
II.1.a.- Conceptos básicos	11
II.1.b.- Geomorfología sistemática	13
II.1.c.- Sistemas geomorfológicos	14
II.2.- Geomorfología regional	16
II.3.- Geomorfología histórica	16
II.4.- Enfoques propuestos por Verstappen.	16
II.4.a- Geomorfología estática	16
II.4.b.- Geomorfología dinámica	16
II.4.c.- Geomorfología genética	17
II.4.d.- Geomorfología ambiental	17

II.5.- Objetivos y paradigmas de la Geomorfología	18
II.6.- Cartografía geomorfológica	20
II.6.a.- Sistema ITC del levantamiento geomorfológico	21
II.6.a.1.- Mapas geomorfológicos analíticos	22
II.6.a.2- Mapas geomorfológicos sintéticos	22
II.6.a.3- Mapas geomorfológicos pragmáticos	23
II.7.- Sistemas de información geográfica	25
II.7.a.- SIG ILWIS	26
III.- CAPÍTULO III. MARCO GEOGRÁFICO-GEOLÓGICO	28
III.1.- Descripción general del área de estudio	28
III.2.- Clima	28
III.3.- Vegetación	30
III.4.- Hidrografía	31
III.5.- Geología	32
III.5.a.- Estratigrafía	32
III.5.a.1.- Paleozoico	33
III.5.a.2.- Jurásico	34
III.5.a.3.- Cretácico	36
III.5.a.4.- Cenozoico	44
III.5.b.- Geología estructural	47
III.5.c.- Geología Histórica	56
III.5.c.1.- Paleozoico	57
III.5.c.2.- Jurásico	60
III.5.c.3.- Cretácico	64
III.5.c.4.- Cenozoico	68

IV.- CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	73
IV.1.- Primera fase: Obtención y recapitulación de la información	73
IV.2.- Segunda fase: Análisis y síntesis de la información	77
IV.3.- Tercera fase: Obtención y caracterización de los mapas, su descripción y análisis	85
V.- CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	92
V.1.- Sistemas morfogénéticos	92
V.2.- Cartografía morfogénica	93
V.3.a.- Relieve endógeno estructural	96
V.3.a.1.- Relieve endógeno estructural plegado-tectónico modelado	96
V.3.a.2.- Relieve endógeno estructural tectónico-plegado modelado	112
V.3.a.3.- Relieve estructural complejo modelado	120
V.3.a.4.- Relieve estructural modelado	124
V.3.b.- Relieve exógeno	125
V.3.b.1.- Relieve exógeno acumulativo aluvial	125
V.3.b.2.- Relieve exógeno acumulativo-erosivo aluvial	130
V.3.b.3.- Relieve exógeno acumulativo fluvio-lacustre	131
V.3.b.4.- Relieve exógeno acumulativo fluvio-aluvial	135
V.3.b.5.- Relieve exógeno acumulativo eólico	135
V.3.b.6.- Relieve exógeno erosivo	137
VI.- CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	138
VI.1.- Conceptuales	138
VI.2.- Metodológicas	142
VI.3.- Operativas	143
BIBLIOGRAFIA	145

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

I.1.a.- Antecedentes del área de estudio

México tiene una complejidad en su Geología, que repercute claramente en la Geomorfología del territorio, además de que al estar en un área intertropical cuenta con una gran variedad de climas, que se ve reflejada en una enorme riqueza en su biodiversidad; estos dos aspectos, al estar intrínsecamente relacionados, dan como resultado una gran variedad de paisajes.

De manera más concreta en materia geomorfológica, la Sierra Madre Oriental (SMO), es una provincia fisiográfica del territorio mexicano, que destaca por la disposición de sus sistemas montañosos, que tienen una distribución importante en el territorio mexicano, además de su notoria orientación, que es de Noroeste al Sureste; su composición litológica está representada por estratos de rocas sedimentarias plegadas del Mesozoico, siendo representativas las calizas del Cretácico (Lugo-Hubp, 1990).

Dentro de los rasgos geomorfológicos más representativos que existen en la Sierra Madre Oriental, se encuentran principalmente los dominios estructurales reflejados en la existencia de pliegues y cabalgaduras con orientación NW-SE principalmente; en segundo término, la presencia de karst reflejado en dolinas y cavernas de desarrollo vertical favorecidas por fracturas, encontrándose en algunos casos en relieves mesiformes (Lugo-Hubp, 1990).

La Sierra Madre Oriental tiene dos divisiones con base en su relieve: una de ellas es la vertiente Oriental que tiene dos características importantes que de forma general son los profundos y escarpados valles, relacionados en parte con los planos de estratificación y los sistemas de fracturamiento que son aprovechados por la actividad fluvial; esto se refleja en los cortes de las rocas calizas que tienen hasta 100 metros de profundidad con escarpes de gran longitud, estos cortes tienen morfologías en “V”; además otros factores que condicionaron esta morfología actual son los escenarios climáticos y la actividad neotectónica del Cuaternario (Lugo-Hubp, 1990). La segunda es el desarrollo de superficies

kársticas que involucran poljés, dolinas y cavernas coherente con altas precipitaciones que tienen una relación notable en la disolución.

La otra división es la vertiente occidental, comenzando por el hecho de que esta vertiente entra en contacto transicional con la Altiplanicie Mexicana, que tiene como característica su clima semidesértico; en esta parte la disección del relieve está representada por el retroceso lateral de las laderas e inserción de los valles fluviales favorecida por estructuras como fracturas, ejes de los pliegues y estratificación de rocas de distinta resistencia, al no tener una precipitación abundante la disolución no es tan representativa como en la vertiente oriental (Lugo-Hubp, 1990).

Esta diferencia de morfologías está dada por efecto de barrera orográfica (barlovento y sotavento), donde la vertiente oriental recibe el efecto de barlovento y por lo tanto más humedad; mientras que la vertiente occidental no tiene esta característica y por ello, no tiene esa incisión (Lugo-Hubp, 1990). Otro aspecto del relieve son los derrames de rocas ígneas, como intrusiones de diques o erupciones fisurales que provocan relieves mesiformes, cubriendo en parte las rocas ya plegadas; siendo la edad de éstas intrusiones de edad Cuaternaria.

I.1.b.- Trabajos previos

Anteriormente, la parte central del Estado de Coahuila ha sido estudiada con un carácter más geológico, como son los trabajos de Morán-Zenteno *et al.* (1976), Farias-Vera (1976), McKee *et al.* (1984, 1988, 1990 y 1999); Charleston (1981), Lehmann *et al.* (1999), Chávez-Cabello *et al.* (2005), Bolaños-Rodríguez (2006); además existen trabajos que abarcan un ámbito mayor, como las características geológicas de la Sierra Madre Oriental (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000, 2001). Estos trabajos han servido como base para el conocimiento del área de estudio y la realización de su cartografía, debido a que sintetizan las principales características de las secuencias sedimentarias y de las estructuras geológicas existentes, además de ofrecer una interpretación de la evolución del lugar.

En un aspecto más geomorfológico, se encuentra la cartografía del país realizada por el Instituto de Geografía de la UNAM, en los años 1994 y 2007; a una escala más detallada se encuentra el trabajo de Geomorfología Kárstica de Huízar y Oropeza (1989), realizado en el Estado de Nuevo León.

I.2.a- Planteamiento del problema

La región de Cuatrociénegas, Coahuila; tiene gran interés por parte de disciplinas como lo son la Geología y Geografía, que en su escala de trabajo han posibilitado un entendimiento más regional, mientras que por parte de disciplinas ambientales se ha aportado un entendimiento un tanto más detallado; este trabajo propone enriquecer y complementar con otro enfoque el conocimiento ya existente, por lo que la elaboración de la cartografía morfogenética a una escala de semidetalle será un valioso apoyo para entender la configuración geomorfológica actual del lugar, además de ofrecer una alternativa para el entendimiento del contexto y condiciones que influyen en la presencia de las pozas y entender en parte los problemas ambientales.

I.2.b.- Justificación

En el estudio del relieve mexicano existen varios trabajos detallados que corresponden a artículos y tesis, enfocados a relieves de origen ígneo del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano principalmente y a relieves fluviales en diferentes partes de la república; conforme a ello es importante seguir enriqueciendo el conocimiento de otras porciones del relieve con otros ambientes geológicos.

Para el caso de la Sierra Madre Oriental, caracterizada por sus montañas de secuencias sedimentarias plegadas en un clima árido; en donde existen dominios estructurales y kársticos variados, por lo que la propuesta de este trabajo complementa el conocimiento de una parte de esta provincia fisiográfica; el área de estudio tiene estas características (mayormente estructurales) y la elaboración de la cartografía contribuirá al conocimiento de estos dominios geomorfológicos que se encuentran juntos, no dejando de lado su modelamiento.

La elaboración de la cartografía geomorfológica del área, podría generar el inicio del estudio de otras áreas de la Sierra Madre Oriental, además de que posteriormente se podría obtener una cartografía orientada a temáticas ambientales, como lo son el agua y vegetación (Verstappen y Van Zuidan,1991), siendo tópicos de interés para el apoyo de la conservación de una parte de la zona de estudio que corresponde al Valle de Cuatrociénegas, que tiene la particularidad de estar decretada como Área Natural Protegida dentro de la categoría de Área Natural de Protección de Flora y Fauna por su importancia en cuanto a biodiversidad.

Particularmente, la situación del agua dentro del Valle de Cuatrociénegas, tiene características muy especiales, comenzando por los cuerpos de agua denominados pozas, cada una de estas pozas con morfologías distintas, su exuberancia yace en que se encuentran en un ambiente árido; estos cuerpos, sin duda, despiertan interés, por lo que el conocimiento de la Geomorfología de esta zona será de apoyo para investigaciones más minuciosas sobre el funcionamiento de estos cuerpos de agua distribuidos cerca de la Sierra San Marcos y Pinos, principalmente. La singularidad de las pozas, las condiciones que dan origen a su presencia y su problemática por sobreexplotación del agua subterránea son aspectos de interés, por lo que el conocimiento del relieve ayudaría a comprender parte de la situación de esta porción del relieve mexicano y su relación con el agua, estando involucrado el conocimiento de las litologías y estructuras.

El Valle de Cuatrociénegas, comprendido dentro de la ecoregión Desierto Chihuahuense (Mesomaya, 2007); es un humedal que se caracteriza por ser un sitio *RAMSAR*, es decir, que su conservación es una prioridad a nivel mundial; otro de sus atributos es la existencia de especies endémicas de gran interés para su estudio, como son los estromatolitos y la tortuga bisagra; sin embargo, la sobreexplotación de las pozas, la ganadería, la deforestación y la minería han deteriorado las características del valle, favoreciendo procesos como la desertificación (Mesomaya, 2007), aunque hoy día se están haciendo esfuerzos por parte de las autoridades del Área de Protección de Flora y Fauna de

Cuatrociénegas para solucionar estos problemas; en temáticas ambientales, la elaboración de este trabajo ofrece otro enfoque para enfrentar las problemáticas ya mencionadas. El área de estudio presenta tres sierras, que aunque comparten características geológicas, presentan configuraciones diferenciadas, por lo que este trabajo permitió cartografiar el relieve resultante de un ambiente y procesos similares, pero con resultados distintos, presentando cada sierra diferentes estilos de plegamiento, fracturamiento, fallamiento y modelado, haciendo relevancia en este último, pues las morfologías dadas por actividad fluvial principalmente, procesos de remoción en masa y disolución a lo largo del tiempo geológico en las tres sierras, tienen una presencia implícita en la evolución del relieve.

I.2.c.- Hipótesis

A partir de los hechos de que:

1. En el área de Cuatrociénegas, Coahuila; existen sistemas montañosos conformados por una secuencia de rocas sedimentarias marinas, constituidas en su mayoría por rocas carbonatadas del Cretácico Inferior con espesores variables.
2. Que durante la orogenia Laramide, estas rocas sufrieron compresión en dirección al NE, dando como resultado estructuras secundarias, como pliegues, fallas y fracturas con una orientación NW-SE principalmente, asimismo la presencia de fracturamiento con una tendencia en dirección NE-SW.
3. Que este sistema litología-estructura, al ser expuesto a los agentes atmosféricos de la región dio como resultado una heterogeneidad en las características morfológicas y morfométricas, a partir de la dinámica de los procesos geomorfológicos que originaron estructuras como abanicos aluviales.

Entonces se plantea la hipótesis de que:

A partir del desarrollo de la cartografía geomorfológica morfogenética se demostrará que la heterogeneidad geomorfológica del área está dada por los rasgos lineales producto de la orogenia Laramide, presentando una tendencia representativa en las orientaciones de las

estructuras secundarias, siendo esto reflejado en los límites de las unidades y clases morfogénicas que se obtengan.

I.2.d.- Objetivos

Tomando en cuenta el planteamiento y justificación del trabajo, asimismo para comprobar la hipótesis propuesta, es importante seguir un camino metodológico que permita entender la génesis y desarrollo del relieve, para ello se plantean los siguientes objetivos.

I.2.d.1.- Objetivo general

Elaborar la cartografía geomorfológico morfogénica a escala de semidetalle (1:75,000), del área de Cuatrociénegas, Coahuila, en la cual se representen, clasifiquen y agrupen las clases morfogénicas del relieve, a partir de sus propiedades topográficas y geológicas considerando los sistemas clasificatorios basados en el levantamiento geomorfológico analítico y en la funcionalidad de los sistemas morfogénicos del área de estudio.

I.2.d.2.- Objetivos particulares

1.- Delimitar las unidades morfogénicas a partir del conocimiento geológico y topográfico existente, que permita su identificación, caracterización, clasificación y agrupación de los sistemas morfogénicos.

2.- Aplicar un sistema clasificatorio del relieve que agrupe a sus unidades en clases morfogénicas, cuya nomenclatura tenga un orden jerárquico, que considere en principio el origen, seguido del tipo de relieve, posteriormente la edad y el tipo de litología, considerando finalmente las propiedades geométricas del relieve.

3.- Desarrollo de la descripción, análisis e interpretación de las unidades y clases morfogénicas, apoyándose en la Geomorfología funcional o sistemática.

4.- Diseñar y elaborar un mapa geomorfológico con ayuda de un sistema de información geográfica, en el que las clases morfogénicas queden representadas con la leyenda y escala adecuadas para su entendimiento.

I.2.e.- Estructura del trabajo

La tesis se desarrolló en seis capítulos, siendo el primero donde se explica la importancia del trabajo, por qué se realizó, su temática y hasta donde abarca. En el segundo capítulo llamado Marco Teórico, se explican las bases conceptuales sobre las que se fundamenta la hipótesis, los objetivos y parte de la metodología. El tercer capítulo expone el contexto geográfico de la región, describiendo sus características existentes como clima, hidrografía, vegetación y la geología; siendo importante para tener claro hacia que estamos destinando nuestro marco teórico. El cuarto capítulo detalla la metodología o la secuencia de pasos empleados para alcanzar los objetivos planteados. El quinto capítulo presenta los resultados obtenidos basados en la investigación. Finalmente, en el sexto capítulo, están las conclusiones durante el diseño, elaboración y término del trabajo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1.a.- Conceptos básicos

La Geomorfología es la ciencia que estudia el relieve terrestre, entendiendo a éste como el producto de la interrelación de los procesos endógenos, como el intercambio de materia del manto superior con la corteza terrestre por volcanismo, los movimientos de ascendencia, subsidencia, deformación y fracturamiento por actividad tectónica; y los procesos exógenos, como el intemperismo y la erosión, siendo principalmente generada por el agua. El relieve terrestre es resultado de la constante actividad de estos procesos, que claramente dejan una expresión morfológica en el paisaje biofísico (Lugo-Hubp, 1986). La Geomorfología trata de entender y explicar cómo estos procesos y fuerzas dan forma al relieve terrestre (Martínez de Pizón, 1985).

Cada una de las figuras y rasgos que integran la superficie terrestre son las formas de relieve, siendo las más simples y llamativas las montañas, aunque son variadas, citando otros ejemplos como los valles, dunas, planicies y costas, estos fragmentos de la corteza permiten apreciarla de forma ordenada y con ello hacer relaciones (Ahnert, 1998; Martínez de Pizón, 1985). Huggett (2007), cita a William Morris Davis, como alguien que comenzó con los estudios sistemáticos del relieve, sobre todo en cuanto a sus cambios en el tiempo; ideando modelos que explicaran estos cambios, con ello el relieve tenía un inicio y un final (Martínez de Pizón, 1985), consideraba al relieve como el producto de tres variables físicas que eran la estructura (factores condicionantes), proceso (agentes modeladores) y el tiempo (estadios), variables que actualmente son tomadas en cuenta en los estudios geomorfológicos.

De Pedraza (1996), Huggett (2007) y Gutiérrez-Elorza (2008), hacen referencia a otros modelos propuestos por King (1953) y Penck (1924, 1956), mismos que trataron de explicar la evolución del relieve, pero no tenían una aplicación universal, toda vez que no tomaban del todo en cuenta la teoría de la Tectónica de Placas (Castillo-Rodríguez, 2006). Es importante considerar que inicialmente la Geomorfología abordaba al relieve

principalmente de una manera descriptiva, posteriormente se enfocó a la génesis e interpretación y explicación.

Actualmente, en Geomorfología se aborda a cada forma específicamente, de tal modo que cada una es única al contar con una ubicación, contorno y área definidas; de igual manera se le ve como un ser vivo, que tiene un inicio, desarrollo y final; relacionando esto a que la transformación de la corteza terrestre es la causa de procesos endógenos, que originan formas estructurales y procesos exógenos que originan formas esculpidas y, con ello, influye en las características mencionadas al inicio del párrafo; esto en primera instancia habla de una clasificación de las formas de relieve, en base a su génesis y proceso (Ahnert, 1998), aunque para esto siempre se deberá tener en cuenta el detalle de la escala en que se analice.

Aunque esta clasificación geomorfológica es de orden sencillo y es de forma generalizada, existen variaciones que proporcionan ideas más específicas y jerarquizadas de cómo es el relieve terrestre, de acuerdo a una génesis más específica y al tamaño de las formas. Partiendo de que algunas pueden ser formas continentales, como cinturones montañosos, mesetas y grandes cañones y otras pueden ser submarinas, como dorsales, plataformas continentales y taludes continentales teniendo como principal particularidad que son fácilmente detectables (Lugo-Hubp, 1986).

Conforme se van haciendo estudios más minuciosos y detallados sobre el relieve terrestre, el origen de las formas se va volviendo más específico, aquí entra la importancia de que en geomorfología se tome en cuenta la escala temporal y espacial, de acuerdo al tamaño de las formas que se estudien, ya que existe una relación con el tamaño de la forma y el tiempo de duración, es decir, una cordillera montañosa tardará más tiempo en erosionarse que los surcos originados por la lluvia, la relación se basa en que a mayor tamaño hay más material que transportar (Ahnert, 1998).

Con el paso del tiempo se desarrolla la Teoría General de Sistemas, propuesta por Ludwing Von Bertalanffy (1968), citado en Castillo-Rodríguez, 2006; que se aplicó a estudios biológicos, pero posteriormente se comenzó a aplicar para el relieve; siendo los sistemas un modelo para la comprensión de la Geomorfología, teniendo exponentes como Anhert (1998), Huggett (2007) y Summerfield (2000).

El relieve ahora es estudiado como un sistema que tiene un desarrollo, que va de la mano con los conocimientos antes mencionados, retomando el contexto espacial y temporal de las formas, que en parte se apoya en los conocimientos geológicos (litología, estructuras) y geográficos (agua y clima), siendo éstos los principales (Lugo-Hubp, 1986), además de que permite su aplicación en planeación, construcción de obras de ingeniería, estudios de riesgo, etc. La Geomorfología tiene una amplia relación con otras ciencias naturales, siendo de carácter multidisciplinario, debido a que muchas variables como la geología, el suelo, la vegetación y el clima están interactuando (Martínez de Pizón, 1985). Existen enfoques geomorfológicos que sirvieron de base en este trabajo, al proporcionar conceptos que permitan el análisis del relieve de forma organizada.

II.1.b.- Geomorfología sistemática

Al analizar el relieve como un sistema, se debe entender como un conjunto de variables que están relacionadas funcionalmente, este enfoque es el de la *Geomorfología sistemática* (Anhert, 1998), que de una manera más específica pasa a ser *Geomorfología funcional* (Huggett, 2007). Existen tres tipos de sistemas: 1) los aislados que no reciben ni aportan energía y materia; 2) los cerrados que reciben energía limitada de afuera y poco a poco la van perdiendo con los procesos internos que van realizando para poder funcionar; 3) los sistemas abiertos se recibe energía y materia de afuera, que posteriormente es emitida, entendiendo que cada sistema abierto es parte de otros, al estar relacionado con flujos de energía. En Geomorfología, los sistemas predominantes son los abiertos, en donde las fuentes de energía son el sol y el calor interno de la Tierra, siendo la clave que la energía y la materia se están intercambiándose constantemente (Ahnert, 1998; Huggett, 2007).

Los sistemas en el relieve o sistemas geomorfológicos tienen variables, es decir, que existen componentes que siempre están presentes, pero que varían en sus características y propiedades, como son la litología, las estructuras, geometría de las formas, extensión, pendientes, altura, etc. A manera de síntesis, la geomorfología sistemática ve la relación de las geometrías del relieve con las variables ya mencionadas. Aunque existen elementos que no son geomorfológicos, que deben ser tomados en cuenta, como el clima y vegetación (Ahnert, 1998), no obstante existe una organización de las variables presentes en Geomorfología, siendo variables endógenas o internas (procesos geológicos) y variables exógenas o externas (Huggett, 2007).

Bajo la idea de un orden sistemático, en la *Geomorfología sistemática* esta la *Morfografía*, que en primera instancia se trata de las descripciones de la geometría y las dimensiones del relieve, de igual manera describe los materiales y procesos que tienen una o varias formas. Las asociaciones que existen entre los elementos mencionados anteriormente se conocen como *relaciones funcionales*, estas relaciones son vistas por la *Geomorfología funcional*, que es un enfoque dentro de la *Geomorfología sistemática*, que en síntesis se caracterizan por las relaciones de las propiedades de una o distintas formas como sus características geométricas y tamaños, las características de sus materiales y de sus procesos, sean iguales o diferentes en cada forma. Es de suma importancia identificar las variables existentes cuando se trabaje en una área además de entender que primero se establecen las relaciones funcionales y después se analizan las causalidades; esto es, se toma en cuenta la causa y después el efecto (Ahnert, 1998).

II.1.c.- Sistemas geomorfológicos

Con base en las relaciones funcionales mencionadas, el relieve se evalúa considerando tres sistemas que son explicados por Ahnert (1998) y Huggett (2007):

Sistemas estáticos o de formas: en donde se toman en cuenta las propiedades de las formas como su tamaño y forma, y las propiedades físicas de sus materiales, además de otras

variables que puedan existir. Sin embargo, no se consideran los procesos ni se identifican y su característica principal es que *el tiempo no se toma en cuenta*.

Sistemas de procesos: En estos *sistemas se toma en cuenta el tiempo*, es identificado un proceso y se analiza de manera detallada, desde su inicio hasta el final. Ejemplificando de la manera más sencilla, la historia del flujo hídrico de un río se inicia en su cabecera cuando nace y comienza a erosionar hasta que llega al mar y deposita sus sedimentos, en síntesis, está involucrando el transporte de materia por la presencia de energía. A estos sistemas también se les denomina como de flujo o de cascada.

Sistemas de procesos en respuesta o de proceso forma: se enlazan los dos sistemas antes mencionados, entendiéndose como uno influye en el otro, su complejidad aumenta y son de mayor utilidad para explicar la evolución del relieve, es decir, cómo se van erosionando y depositando los elementos del relieve.

La evolución geomorfológica está ligada al balance de masa, que es una relación de lo que se erosiona y lo que se deposita, siendo esta de sus ideas principales, que explica la evolución del relieve; relación que concuerda con los sistemas en los que existen relaciones de variables con transferencia de energía y principalmente de materia, por lo que este hecho en Geomorfología no se debe dejar de lado en una visión moderna, siendo el *ciclo de las rocas* un subsistema que va en paralelo con la transformación del relieve, acompañado del *ciclo del agua* que su importancia yace en que es el principal modelador del relieve (Hugget, 2007). Con la idea de la evolución de las formas entra el *tiempo en Geomorfología* (Ahnert, 1998), en donde se establece una relación entre la duración e intensidad del proceso, los materiales erosionados y posteriormente depositados, toma en cuenta las relaciones funcionales, estando en el concepto del tiempo en Geomorfología, aparece la idea de magnitud y frecuencia, siendo los eventos más frecuentes los que tienen menos magnitud y viceversa (Ahnert, 1998; Hugget, 2007).

II.2.- Geomorfología regional

Otro enfoque con el que se aborda al relieve es la *Geomorfología regional*, que a diferencia de la *Sistemática*, se encarga de analizar las particularidades del relieve en un área en específico, entendiendo que analiza los procesos significativos de ese lugar, que dan como resultado formas únicas, este enfoque también utiliza como camino a la Morfografía, la Geomorfología funcional y el tiempo en Geomorfología.

II.3.- Geomorfología histórica

Con este enfoque, se consideran del relieve tres aspectos que son la forma (descripción en campo y representación en mapeo geomorfológico), el proceso (sistemas) e historia (análisis de sedimentos de una ribera, cronosecuencias), sin embargo, en los tres criterios se toman en cuenta las relaciones funcionales y otros aspectos de la Geomorfología sistemática.

II.4.- Enfoques propuestos por Verstappen

Es importante, destacar que existen otras maneras de examinar al relieve, que en cierto modo también son una propuesta sistemática para llegar a un objetivo, dentro los cuales existen cuatro ámbitos, propuestos por Verstappen, en 1983, que a continuación se mencionan.

II.4.a- Geomorfología estática

Con este enfoque lo que se busca es que el relieve sea descrito como un inventario en base a la geometría de las formas, en donde éstas no tienen una clasificación genética, es un enfoque descriptivo que toma en cuenta los parámetros morfométricos como la pendiente, la curvatura y la altimetría.

II.4.b.- Geomorfología dinámica

Se enfoca en lo que sucede con el relieve y siendo más específicos en cómo cambia, pues toma en cuenta una deducción, que aunque puede ser obvia, es importante, pues en el estudio del relieve -las formas no son permanentes-. En este enfoque el tiempo tiene

importancia, toda vez que, los procesos que cambian el relieve son vistos desde una escala humana, esto es a causa de que los procesos geomorfológicos tienen influencia sobre la sociedad, como son ejemplos conocidos, la erosión del suelo en tierras agrícolas, los procesos gravitacionales en laderas montañosas o las inundaciones en las planicies.

La influencia que tienen sobre la sociedad es constante y relativamente inmediata, de ahí que se tome el tiempo humano como magnitud. Esto implica el estudio de procesos principalmente exógenos, donde se busca hacer una cuantificación y cualificación de dichos procesos.

II.4.c.- Geomorfología genética

Al igual que la Geomorfología dinámica tiene como base que el relieve siempre cambia; difiere de la escala temporal, ya que toma en cuenta el tiempo geológico. Como su nombre lo amerita, lo que se busca es el origen del relieve, ver los procesos que en lapsos de tiempo geológico (de miles hasta millones de años) han dado configuración geométrica y espacial de las formas de relieve, en este enfoque se toma más en cuenta a los procesos endógenos como actividad tectónica y volcánica.

II.4.d.- Geomorfología ambiental

El último aspecto propuesto por Verstappen (1983), es una perspectiva interdisciplinaria, pues el relieve es tomado en cuenta para todos los procesos y donde se desenvuelven las relaciones ambientales. Las formas de relieve son relacionadas con unidades de suelo, de vegetación y con la presencia y dinámica del agua. También se toman en cuenta los efectos que tiene la sociedad humana sobre estas relaciones; siendo un enfoque más aplicado y enfocado a lo que actualmente se conoce como ordenamiento territorial o planeación ambiental del territorio. El relieve es abordado de otras formas (Hugget, 2007), como es la Geomorfología estructural que hace un fuerte hincapié en la que el arreglo de las estructuras geológicas explica el relieve; la Geomorfología climática con grandes exponentes como Gutiérrez-Elorza (2008), que propone que el relieve está relacionado con las grandes regiones climáticas del mundo, semejante con la Geomorfología regional de la

que habla Ahnert (1998), y existen otras que son menos difundidas, como la Geomorfología submarina y planetaria (Hugget, 2007).

II.5.- Objetivos y paradigmas de la geomorfología

De los enfoques ya mencionados, tanto los que son propuestos por Ahnert (1998); Hugget (2007) y Verstappen (1983), aunque difieren, tienen en común que implican un cierto orden, además de que permiten lograr ciertos objetivos en la Geomorfología; siendo algunos de ellos propuestos por Lugo-Hubp (1988):

- 1.- El conocimiento del relieve, buscando una clasificación.
- 2.- La clasificación de los procesos que están actuando en el relieve y, con ello, la modificación constante de las formas.
- 3.- La edad de las formas (métodos estratigráficos, radiométricos, etc.).
- 4.- Su desarrollo.
- 5.- Los procesos actuales.

Aclarando que para el objetivo tres se necesitan de otros métodos, como son las dataciones. Es importante mencionar los enfoques que tiene la Geomorfología, desde los cuales visualiza el relieve; implican un orden y los resultados que se obtengan deben ser plasmados en mapas, cartas y mediante otras maneras gráficas.

Actualmente, el uso de sistemas en Geomorfología da una visión moderna, acompañado con los modelos matemáticos, que buscan simular estos sistemas y sus variables, como el caso de Ahnert (1998) y que también son expuestos por Huggett (2007). Lo anterior se complementa según Castillo-Rodríguez (2006), pues hace referencia a los principios en Geomorfología que Brundsen (1990) propuso, apoyados principalmente por la Tectónica de placas y la Teoría de Sistemas, siendo los siguientes:

- 1.- La tectónica determina las formas de relieve en un tiempo y espacio definidos.
- 2.- Los procesos endógenos y exógenos ocurren simultáneamente, reflejando la velocidad y predominancia de los procesos.
- 3.- Las variaciones de nivel del mar, están influenciando las condiciones para el desarrollo de las formas.

- 4.- Para ciertas condiciones ambientales habrá ciertos procesos que con el tiempo darán resultado a formas características.
- 5.- El relieve está sometido a perturbaciones ambientales, siendo eventuales y complejos en todas las escalas, por lo que los cambios en las formas del relieve son episódicos y complejos,
- 6.- La existencia de eventos formativos, en donde un régimen tectónico-climático produce procesos específicos, que generan nuevas formas del relieve.
- 7.- Eventos llamados geocatástrofes, en donde un régimen tectónico-climático, que tiene un comportamiento normal puede tener un cambio, creando un nuevo sistema y, con ello, nuevas formas.
- 8.- Cuando hay una perturbación del sistema que excede su resistencia, reaccionará y relajará hacia un estado estable, que generará una nueva forma.
- 9.- La estabilidad del paisaje, está en función de la distribución temporal y espacial de las fuerzas de resistencia y perturbadoras, que son diversas y complejas.
- 10.- Los cambios del relieve están dados por los controles ambientales, eventos formativos, geocatástrofes y tectónica.

Es importante destacar el hecho, de que las bases teóricas de la Geomorfología siguen cambiando, debido a que está en constante contacto con ciencias, como la Geología, Ecología, Edafología, Hidrología entre otras y se ayuda de principios de estas ciencias para lograr sus objetivos; no dejando de lado que tiene cierta filiación de estas ciencias, además de que el enfoque de sistemas está permitiendo el desarrollo de modelos, que tengan aplicación universal (Castillo-Rodríguez, 2006).

Finalmente, el tema de la escala es algo que se debe considerar, es decir, que tan grande o pequeña será el área de estudio y con qué grado de detalle se analizará, pues considerando los sistemas geomorfológicos, la escala del estudio cambiará y se tendrán variables distintas, como tipos de rocas y estructuras, clima y vegetación (Hugget, 2007), siendo esto algo que se toma en cuenta para la interpretación del relieve; estando eso último limitado porque quizás la información bibliográfica no siempre será la suficiente y que en campo se

podrá acceder por completo al área de estudio y a que por cuestiones de tiempo en el mismo trabajo de campo, no siempre se podrán identificar todas las variables del relieve para llegar a una interpretación completa. Por último, estarán involucradas las habilidades y experiencia que tenga el geomorfólogo.

II.6.- Cartografía geomorfológica

La Geomorfología al tener un carácter geográfico-geológico, se apoya de otras ciencias, siendo una de ellas la Cartografía, que tiene como objetivo la representación de la superficie terrestre, mediante la elaboración de mapas, planos, cartas y croquis, valiéndose de proyecciones, escalas símbolos y colores, por lo que es valorada como un recurso gráfico usado para la comunicación y representación de un lugar, que en este caso son las formas del relieve (Chimal-Monroy, 1998; Silva-Romo, 2001).

Siendo más precisos, con la *Cartografía geomorfológica*, los conceptos y definiciones son variados. Peña-Monné (1997), enlista algunos autores y los conceptos que ellos tienen, siendo para Panizza (1972), que un mapa geomorfológico expresa las formas del relieve, haciendo una relación de los procesos y sus resultados y la forma en como van evolucionando; para Rodolfi (1983), un mapa geomorfológico representa de manera sintética las características del paisaje y su distribución en el territorio, tomando en cuenta la escala; Herrero (1988), lo define como un mapa temático, como un inventario explicativo del relieve.

A manera de síntesis, el mapa geomorfológico puede ser definido, como un documento gráfico que expresa de forma sintética las formas del relieve de un área de estudio, expresándolas de forma individual o grupal; tomando en cuenta, su génesis y evolución (Peña-Monné, 1997). En los mapas Geomorfológicos, es importante tener en cuenta que es aconsejable la representación de ciertas clases de información, como es la Geología, Hidrografía, Morfometría, Morfografía, Génesis y Evolución. Esencialmente un mapa geomorfológico o morfogenético es una composición de la geología y topografía del lugar; es importante destacar que a diferencia de la cartografía geológica, la cartografía

geomorfológica no tiene acuerdos internacionales; solo ciertas recomendaciones que están orientadas a la organización de la información siguiendo el orden de agentes, procesos y formas (Lugo-Hubp, 1988).

En la elaboración de mapas geomorfológicos, es importante entender que de los objetivos mencionados por Lugo-Hubp (1988), que con un mapa no es posible explicar todo, de ahí que existan tipos de mapas, para seguir objetivos planteados. Para la realización del mapa, además de los objetivos, es importante tener claro el tipo de mapa, las necesidades e intereses, por lo cual se está realizando un mapa, la razón del mapa. La elección de la escala, ligada a los fines del mapa, es saber el nivel de detalle se está buscando y está en relación a los objetivos planteados; esto también implica saber la escala que tiene nuestra información cartográfica de partida, como es Geología, Topografía, Uso de Suelo, etc. La metodología aplicada, como se realizó el mapa, los criterios usados, que, de acuerdo a cada mapa puede variar. La determinación de la leyenda es primordial, pues permite una perspectiva organizada del relieve, mejorando su comprensión (Peña-Monné, 1997).

Haciendo una primera clasificación de los tipos de mapas, existe una división sencilla en donde están los mapas *generales*, *parciales* y *especiales*, con los primeros mapas solamente están enfocados a la investigación, mientras que con los segundos, se busca una aplicación o solución de algún problema, en tanto que los mapas especiales están enfocados a expresar información para ciencias no forzosamente geomorfológicas. De estos mapas se pueden desprender mapas derivados, que son todavía más específicos (Peña-Monné, 1997).

II.6.a.- El sistema ITC del levantamiento geomorfológico

Otra clasificación es la propuesta por Verstappen y Van Zuidan. Es el sistema ITC para levantamientos geomorfológicos (*Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences*, cuya traducción corresponde a “Instituto Internacional para Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra”) Verstappen y Van Zuidan, 1991, adaptado por Tapia-Varela y López-Blanco, 2002), fue el que se usó para esta tesis. Este sistema retoma ideas, como la representación precisa y organizada de las formas del relieve, en donde el mapa resultante

es una síntesis del relieve desde diversos puntos de vista (génesis, morfoestructuras, morfocronología, etc.). Este levantamiento hace tres divisiones o tipos de levantamientos.

II.6.a.1.- Mapas geomorfológicos analíticos

En estos mapas se busca el origen de las formas de relieve y la edad de las mismas, la delimitación de estas unidades de relieve estará ligada intrínsecamente a sus condiciones geológicas, siendo las principales la litología y los rasgos estructurales. Estos tipo de mapas están direccionados hacia el conocimiento básico del relieve, por citar algunos ejemplos, tenemos los mapas morfogenéticos, que implican una clasificación de las formas o unidades geomorfológicas, de acuerdo con ambientes y procesos imperantes, como serían las formas tectónicas, volcánicas, kársticas, fluviales o antropogénicas, por mencionar algunas. Otro tipo mapa analítico es el morfométrico, que incluye una clasificación cuantitativa del relieve como la altimetría, las pendientes, energía del relieve, mapas de morfoalineamientos, mapas de profundidad y densidad de la disección, etc.

Los mapas morfodinámicos también encajan dentro de esta clasificación, pues las formas actuales, en algunos casos se formaron bajo condiciones probablemente distintas a las que actúan hoy día; estos mapas permiten saber qué es lo que está ocurriendo actualmente en el relieve, sean procesos endógenos (morfodinámica endógena) o exógenos (morfodinámica exógena, siguiendo la idea se puede llegar a una cuantificación de los procesos como bien pueden ser la erosión y la presencia de inundaciones. Normalmente, la elaboración de estos mapas va acompañada de cuantificaciones de la magnitud e intensidad de los procesos (Lugo-Hubp, 1988).

II.6.a.2- Mapas geomorfológicos sintéticos

Para estos mapas, una vez delimitadas las unidades de relieve, se hace una correlación con otra clase de información, sobre todo de carácter ambiental, siendo los principales, suelo, vegetación, hidrología, etc. Consiguiendo una sinopsis del relieve con los factores físicos, que se desenvuelven en el mismo, así como sus relaciones y causalidades. Se busca un inventario de los recursos, que existan y su relación con el relieve. Estos mapas consideran

jerarquías anidadas de niveles de, provincias de terreno, sistemas de terreno, unidades de terreno y componentes del terreno.

Mencionando en primera instancia los componentes del terreno, que son las unidades con menor jerarquía anidada y mayor detalle de análisis temporal y espacial además de ser pequeñas en extensión y homogéneas respecto a relieve, litología, suelo y vegetación. Las unidades de terreno coinciden en jerarquía con las unidades geomorfológicas morfogenéticas semidetalladas (escalas entre 1:50,000 a 1:100,000),, tienen una característica única que las diferencia de las otras unidades que las rodean. Posteriormente tenemos los sistemas de terreno, que se refieren a una unidad del paisaje, se toma en cuenta un contexto ecológico o climático. Finalmente, están las provincias del terreno, que son las más grandes en extensión geográfica y mayor jerarquía anidada, sintetizadas en donde se enlazan las características de los sistemas y las unidades de terreno.

II.6.a.3- Mapas geomorfológicos pragmáticos

Finalmente, están los *mapas geomorfológicos pragmáticos*, resultado de los primeros dos; que están enfocados en cubrir una necesidad o para resolver una problemática específica, como pueden ser los mapas de riesgos volcánicos y sísmicos, de inundaciones, de sequías, de deslizamientos, de contaminación o para la regionalización dentro del ordenamiento territorial. Dicho con otras palabras, se persigue un fin directamente para la sociedad, su fundamento se basa en una zonificación de los procesos que puedan influir en asentamientos o actividades humanas.

Sobre el sistema ITC, cabe aclarar algunos aspectos, como son sus bases metodológicas:

Primero, de debe tener una visión general del área de estudio y un contexto acorde a la observación de las fotografías aéreas, ortofotos e imágenes satelitales, ya sea de diferentes escalas y resoluciones, complementando esto con la información bibliográfica y la cartografía temática ya existente; siendo esta información de apoyo para la ubicación en campo y localización de lugares de interés.

Posteriormente, viene una interpretación de las imágenes, siendo de ayuda para la delimitación de las unidades a una escala general, o bien, detallada; aunque dependiendo de las fuentes de información, algunos límites de unidades pueden ser descriptivos; por lo que los resultados que se obtengan de esta etapa son provisionales.

El trabajo de campo o levantamiento de terreno ofrece la oportunidad de obtener datos, que en la interpretación de las imágenes y el análisis de la información bibliográfica, no se lograron obtener, además que permite corroborar el mapa o los mapas provisionales; aunque esta revisión dependerá de los recursos disponibles y de las condiciones de trabajo. Finalmente, se obtiene la cartografía, que se presenta con una leyenda organizada y jerarquizada, aunado a ello colores y símbolos adecuados para la representación de las unidades. Es importante aclarar las dudas o problemas no solucionados y que estas bases metodológicas son flexibles, de acuerdo con los objetivos del trabajo, orientación de la investigación, recursos disponibles, condiciones del terreno y la escala que se use.

Por último, es importante tener claro las características que distinguen el sistema ITC

- 1.- Las unidades morfogénéticas son la base del sistema, que sirven para los trabajos multidisciplinarios.
- 2.- Las unidades morfogénéticas de los mapas analíticos coinciden con los mapas sintéticos y pragmáticos.
- 3.- La simplificación del mapa puede ir acompañada de símbolos lineales con el menor número de colores visibles.
- 4.- Se puede aplicar a varias escalas, aunque con las grandes se tendrá más detalle; mientras que en medianas y pequeñas, habrá generalizaciones.

Tapia-Varela y López-Blanco (2002), adaptaron este sistema para la Cartografía morfogénética de la porción central de la Cuenca de México; en su trabajo proponen una clasificación del relieve, que incluye más características del relieve, como son la edad (de las rocas, estructuras y formas) y la litología del relieve y sus características geométricas,

como son el intervalo de altitud y pendiente dominante; así como de la altura relativa de las estructuras; por lo que se incluye más información pero sintetizada; su clasificación se basa en origen de relieve, tipo de relieve (en cuatro tipos fundamentales: ladera de montaña, ladera de lomerío, piedemontes y planicies), material y edad; y por último, las características geométricas.

Este sistema es una propuesta que permite soluciones para distintos problemas de representación del relieve, comenzando por el hecho de que para cada mapa habrá un tipo de relieve, cada mapa tendrá distintas escalas (lo que influye en el uso de colores y símbolos; mientras más heterogeneidad del relieve, más colores y símbolos), además de que cada mapa tiene distintos objetivos y orientaciones.

II.7.- Sistemas de información geográfica

Actualmente, la elaboración de los mapas está de la mano con los *Sistemas de Información Geográfica (SIG)*, la Cartografía Geomorfológica no es la excepción en el uso de estas herramientas. Según López-Blanco (2005), los SIG son definidos como una tecnología computacional orientada a asuntos geográficos, aunque este autor cita definiciones más concretas, siendo para Aronoff (1989), un conjunto de procedimientos manuales o basados en una computadora que son utilizados para guardar y manejar los datos geográficamente referenciados; para Parker (1988), es una tecnología de información que permite guardar, analizar y desplegar datos espaciales y no espaciales; aunque para Cowen (1988), son un sistema que da soporte para la toma de decisiones, involucrando la integración de datos georeferenciados en la solución de problemas del medio ambiente y para Ozenoy, Smitch, Sicherman (1981), los SIG son un conjunto de funciones que ofrece a los profesionistas capacidades avanzadas para el guardado, manejo y despliegue de datos localizados geográficamente.

Teniendo una idea de las funciones de un SIG, deben tener por los menos las siguientes exigencias, de acuerdo con Smith *et al* (1986), citado en López-Blanco (2005):

- 1.- Poder manejar grandes bases de datos, heterogéneos y de varias clases, que tengan una expresión geográfica.
- 2.- Capacidad de indagar sobre dichas grandes bases de datos y sobre sus propiedades.
- 3.- Eficiencia en el manejo de los datos, permitiendo hacer relaciones de interactividad.
- 4.- Que pueda ser manejado por usuarios de diferentes disciplinas, tendiendo variedad amplia en sus aplicaciones, además de que los datos trabajados puedan ser procesados por otros SIG.
- 5.- Permita la toma de decisiones.

II.7.a.- SIG ILWIS

Resumiendo que un SIG es una tecnología geoespacial, que permite analizar, manejar y expresar nuestra información cartográficamente; para el caso del sistema ITC se desarrolló un SIG denominado con el acrónimo ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*, cuya traducción al español es “Sistema de Información Integrada de Tierra y Agua”); este software maneja archivos vectoriales, archivos *raster* y cuadros o tabulados, estando primordialmente diseñado para manejar los datos que se obtengan mediante la fotointerpretación y otros métodos de la percepción remota.

La Cartografía al ser un lenguaje que ayuda a las Ciencias de la Tierra, pasa a ser de igual forma una herramienta para la toma de decisiones, en especial, la cartografía geomorfológica tiene la ventaja de expresar los rasgos más importantes del relieve del área de estudio, pues permite llegar a la solución de un problema o generación de conocimiento, se puede enlistar el estudio de riesgos, sean volcánicos, por procesos gravitacionales o por inundaciones; la exploración de recursos como yacimientos hidrotermales o petrolíferos; ordenamiento territorial e incluso la recreación. Tomando en cuenta que la toma de decisiones en Geomorfología depende de un mapa que señale los agentes, procesos (origen) y formas (tipos de relieve) (Lugo-Hubp, 1988).

Sin embargo, el conocimiento geomorfológico, además de tener la aplicación para la mitigación de riesgos y resolver problemas ambientales, que es a lo que están muy

enfocados algunos trabajos, tiene una amplia gama de aplicaciones, que en cierto modo, parten de las temáticas antes mencionadas: como son el ordenamiento de asentamientos humanos (riesgos que puedan afectar dichos asentamientos y alteraciones que se pudieran originar en el ambiente), estudios agrícolas (proteger el suelo de la erosión); construcción de obras de ingeniería, pues la construcción de presas, carreteras y puentes, implica el conocimiento de los procesos que ocurren, debido a que no pudieran ser favorables o implicarían riesgos, sintetizando los pros y contras de la construcción, pues implica una relación de los costos y beneficios (Lugo-Hubp, 1988). Finalizando esta parte, algo que siempre se debe tomar en cuenta en el quehacer geomorfológico, es la escala (espacial y temporal) con la que se trabaje, debido a que se debe tomar en cuenta el contexto geográfico del área de estudio, además del trabajo de gabinete y de campo.

CAPÍTULO III

MARCO GEOGRÁFICO-GEOLÓGICO

III.1.- Descripción general del área de estudio

Se encuentra en la parte central del Estado de Coahuila, sus coordenadas extremas van de 26°38'10'' a 27°09'60'' de latitud Norte y de 101°51'40'' a 102°40'00'' de longitud Oeste, cubre una extensión de 299,733.2 hectáreas (**Figura III.1**). Entre sus características principales es que está compuesta de tres conjuntos montañosos, que son la Sierra La Madera, Sierra La Fragua y Sierra San Marcos y Pinos, y de una planicie que corresponde al Valle de Cuatrociénegas, esos conjuntos estructurales corresponden fisiográficamente a la Sierra Madre Oriental, y geológicamente pertenecen a la Cuenca de Sabinas (**Figura III.2**).

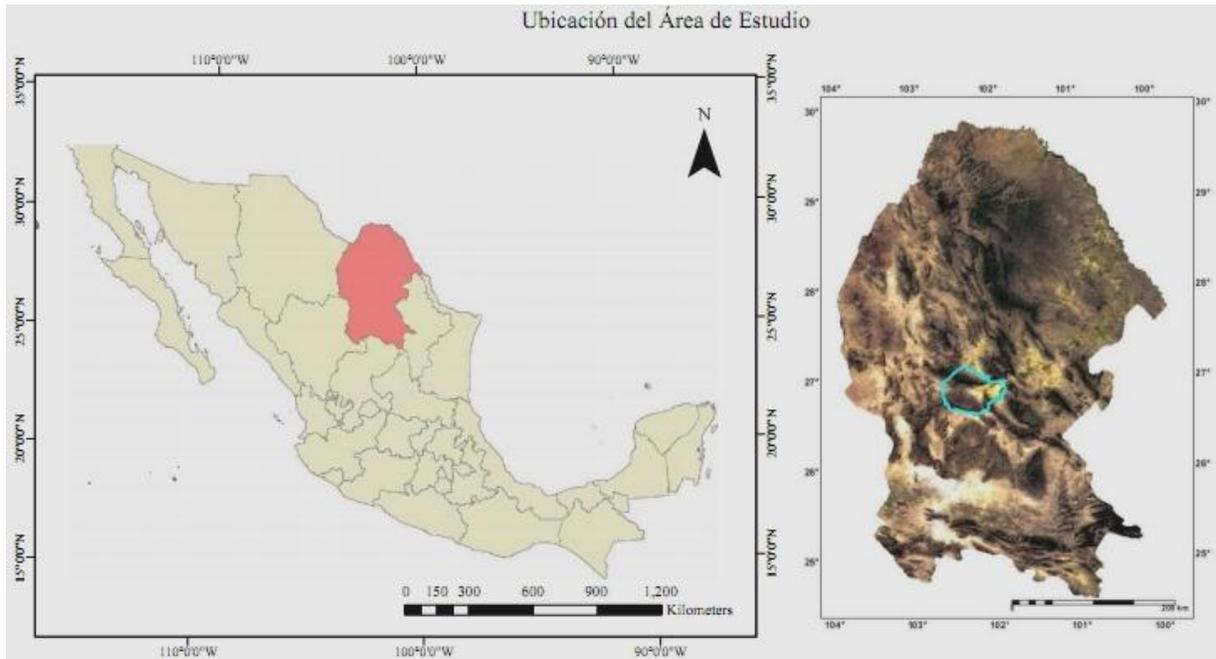


Figura III.1.-En el mapa de la izquierda se muestra el contexto nacional y en la derecha se aprecia el entorno regional, su ubicación y contorno del área de estudio, situada en la parte central del estado de Coahuila.

III.2.- Clima

Dentro de las tres sierras, que se encuentran dentro del área de estudio, los climas varían con la altitud. Se presenta un clima BSkw, en intervalos de altitud de 1,400 a 1,800 m.s.n.m aproximadamente, es un subtipo seco templado con lluvias de verano, con una temperatura media anual menor a 18°C, con un verano cálido, para estas áreas la presencia de

vegetación xerófila es más abundante. Las partes altas de la Sierra la Madera y Sierra la Fragua, correspondientes a un rango aproximado de altitud de 1800 hasta los 2200 m.s.n.m (**Figura IV.2**); tienen un clima BS1kw, que corresponde al subtipo semiseco templado con lluvia de verano con una temperatura menor a 18°C, con verano cálido, por lo que estas condiciones favorecen la presencia de bosques en estas áreas.

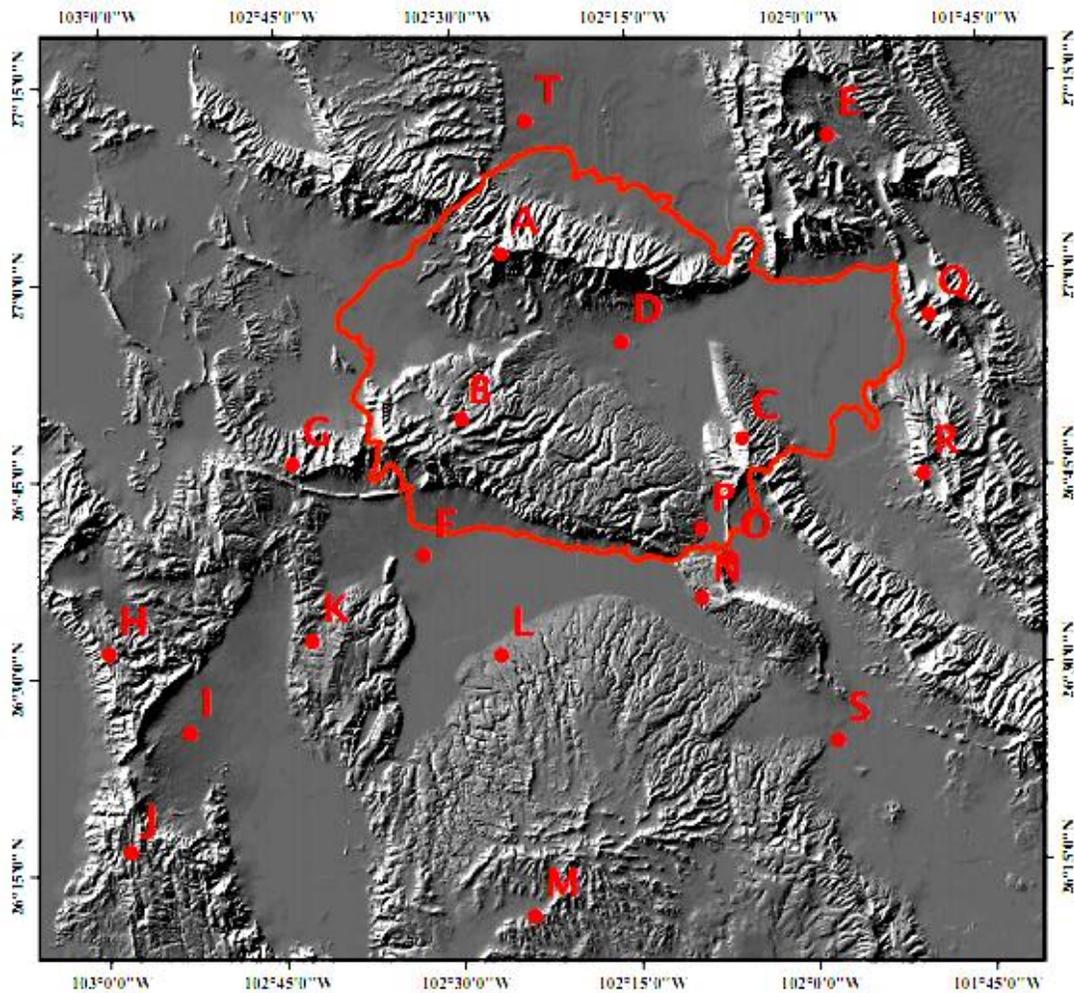


Figura III.2.- Se muestran las principales Sierras y Valles para tener una noción del contexto geográfico del área. A) Sierra La Madera, B) Sierra La Fragua, C) Sierra San Marcos y Pinos, D) Valle de Cuatrociénegas, E) Sierra Potrero de Menchaca, F) Valle EL Hundido, G) Sierra La Margarita, en esa porción se encuentra una “depresión intramontana” denominada Potrero Colorado, H) Sierra Los Remedios, I) Valle El Sobaco, J) Sierra Las Delicias, K) Sierra El Venado, L) Sierra Australia, M) Sierra Los Alamitos; N) Sierra Granizo, O) Valle El Jabalí, P) Valle El Tablero, Q) Sierra San Vicente, R) Sierra La Purísima, S) Valle de San Marcos. , T) Valle de las Calaveras (Modificado de Bolaños-Rodríguez, 2006).

En cuanto al Valle de Cuatrociénegas, el triángulo invertido Oeste o parte occidental del valle tiene un clima BWhw, subtipo muy seco semicálido, lluvias de verano, con una temperatura media anual mayor a los 18°C, con invierno fresco (SPP, 1983). La parte externa de la zona Este del Valle de Cuatrociénegas o el triángulo Este invertido tiene un clima BW(h)hw, subtipo muy seco semicálido, lluvias escasas todo el año, con una temperatura media mayor de 18°C del mes más frío, con invierno fresco. La parte interna de la zona Este del valle tiene un clima BW(h)hw, subtipo muy seco, muy cálidos y cálidos, lluvias de verano, con una temperatura media mensual mayor a los 18°C del mes más cálido (SPP, 1983).

La precipitación media anual en las partes altas de la Sierra la Madera y Sierra La Fragua es de 400 a 500 mm, pero la Sierra La Madera al ser la más alta de los tres sistemas montañosos, tiene una zona en la que se presentan de 500 a 600 mm a los casi 3000 m.s.n.m. Las partes bajas o piedemonte tienen valores de 200 a 400 mm, aunque para toda la Sierra de San Marcos y Pinos se presentan estos valores de precipitación, incluyendo sus partes bajas y piedemonte (SPP, 1983).

Las temperaturas medias anuales en todo el valle son de 20°C a 22°C, las partes bajas de las sierras y piedemontes tienen temperaturas de 16°C a 18°C (aproximadamente de 1000 a los 1400 m.s.n.m.) después de 14°C a 16°C (aproximadamente de 1400 hasta los 2200 m.s.n.m.); sin embargo, la Sierra La Madera destaca porque en sus partes más altas (cerca de los 3000 m.s.n.m.) tiene valores de temperatura de 12°C a 14°C, otro hecho que favorece las condiciones ambientales para la existencia de bosques (SPP, 1983).

III.3.- Vegetación

La vegetación del Valle de Cuatrociénegas es abundante respecto a su entorno, además de estar corroborada y estudiada, aunque se encuentra en un ambiente árido, las condiciones del agua favorecen su presencia y riqueza; de acuerdo con Mesomaya (2007), la presencia de vegetación halófila es la más abundante en el valle, son comunidades arbustivas o herbáceas que necesitan desarrollarse en suelos con alto contenido en sales.

Seguido del pastizal halófilo, en las áreas cercanas que corresponden al río Mezquites o a zonas cercanas a las pozas, la vegetación corresponde con Gramíneas o Zacates; estas comunidades también necesitan suelos con alto contenido en sales. Existen también Mezquiales Xerófilos con vegetación secundaria arbustiva, en la parte más Oriental del valle, concordando con la zona más baja altimétricamente y donde existe posible acumulación de agua de los flujos subterráneos; siendo comunidades de *Prosopis* (Mezquites), que se caracterizan por ser arbustos bajos espinosos, además se encuentran mezcladas con *Acacia* (Huizaches), *Olneya tesota* (Palo Fierro) y *Cercidium* (Palo Verde) (Mesomaya, 2007).

En los piedemontes existen matorrales desérticos micrófilos principalmente, como son arbustos que tienen ramificación desde su base y con alturas inferiores a los 4 m, siendo representativa la *Larrea tridentata* (Gobernadora), *Mimosa* (Uña de Gato) y *Yucca filifera* (Palma China), pero en los piedemontes del sur de Sierra La Madera existe una abundancia de matorrales desérticos rosetófilos que pueden o no presentar espinas y un tallo desarrollado siendo representativas *Agave lechuguilla* (Lechuguilla), *Euphorbia antisiphilitica* (Candelilla), *Parthenium argentatum* (Guayule), *Yucca carnerosana* (Palma Samandoca) (Mesomaya, 2007).

Las partes correspondientes a los depósitos de Yeso no muestran una vegetación abundante, tienen una ausencia aparente de cubierta vegetal, en parte por los procesos eólicos que dificultan condiciones de estabilidad.

III.4.- Hidrografía

La situación del agua se presenta en dos direcciones temáticas, que son el agua subterránea y la superficial, en donde el agua superficial está representada principalmente por la presencia de cuerpos de agua, conocidos localmente como pozas; que son de varios tamaños y formas, además del río Mezquites; de acuerdo con la Hidrología Superficial de INEGI, gran parte del área de estudio está adentro de la región hidrológica RH24

denominada “Bravo Conchos”, con un coeficiente de escurrimiento en milímetros de 10 a 24. Mientras que la parte Oeste de Sierra La Madera, Sur y suroeste de Sierra La Fragua y Sur de La Sierra San Marcos y Pinos, se encuentran en la región hidrológica RH35 o “Mapimi” (INEGI, 1981; SPP, 1983).

En cuanto al agua subterránea, el Valle de Cuatrociénegas se caracteriza por tener materiales consolidados con posibilidades altas, algunos piedemontes próximos al valle presentan estas condiciones que permiten una buena infiltración; otros piedemontes, principalmente los de la parte meridional de Sierra La Madera y Sierra La Fragua y de la parte centro-occidente de Sierra San Marcos y Pinos son de material no consolidado con posibilidades bajas para la infiltración; finalmente las sierras son de material consolidado con posibilidades bajas (INEGI, 1981; SPP, 1983).

III.5.- Geología

En esta parte del capítulo, se explica el contexto geológico en el que se desarrolló el área de estudio, dando una descripción de las litologías existentes, presentando sus características en orden cronológico; posteriormente, se describen las estructuras secundarias presentes, como su orientación y el echado; finalmente con las características litológicas y estructurales, se da una interpretación de parte de la configuración actual del área.

III.5.a.- Estratigrafía

La parte central de Coahuila está compuesta principalmente por rocas sedimentarias mayoritariamente del Cretácico Inferior, siendo la roca caliza la que más predomina; existen varias unidades estratigráficas que son el resultado de distintos ambientes, que influyeron en la sedimentación, esto se ve reflejado en cuanto a su facies, grosor, estratificación, composición litológica y contenido fósil (Garza, 1973). Asimismo, la estratigrafía del área no es homogénea y tiene cambios, tanto en su orden ascendente como en su continuidad lateral (Morán-Zenteno *et al.*, 1976; Lehmann *et al.*, 1999; McKee *et al.*, 1990).

III.5.a.1.- Paleozoico

La parte final de esta secuencia es la que tiene importancia para el contexto geológico sobre el cual se desarrollo el área, siendo un episodio fundamental para entender otros eventos posteriores a su deposición.

III.5.a.1.a.- Secuencia volcanoclástica de Las Delicias (Paleozoico Tardío)

Producto del arco volcánico Las Delicias en el paleozoico (McKee *et al.*, 1988, 1999), esta secuencia es la fuente de materiales, que pasarían a ser las formaciones del Jurásico y parte del Cretácico, la Formación Las Delicias está compuesta de estratos poco definidos de calizas y de fragmentos de rocas ígneas, como andesitas y dacitas, con tamaños que van de arena hasta grandes bloques, que tienen un grado bajo de metamorfismo por la presencia de foliación, acompañados de finos depósitos de siliclastos; contemporánea a esta actividad ígnea hubo influencia del mar y con ello depósitos de caliza y la influencia de procesos de remoción en masa, pliegues intraformacionales y la presencia de turbiditas, esta secuencia tiene un grosor de 300 m con una longitud de 10 km, parte de esta secuencia se encuentra expuesta en el área de Acatita, en Sierra Las Delicias y Tlahualillo y en el área de los Valles de Acatita y Sobaco principalmente (McKee *et al.*, 1988, 1999).

La Formación Las Delicias se divide en once litosomas caóticos, siete no tienen estratificación; siendo el más antiguo de la época Misisipiense, al Norte del Valle de Acatita los clastos de caliza tienen contenido fosilífero, correspondiente al Pensilvánico tardío, también en el Valle del Sobaco se encuentran estos bloques del Pensilvánico tardío. En el Valle El Sobaco también existen litosomas caóticos correspondientes al Pérmico Temprano con 300 m de grosor y 10 km de longitud; el emplazamiento de estos litosomas caóticos concuerda con un ambiente de agua somera, que interactuó con el arco volcánico, manteniéndose como un alto estructural, esta actividad continuó hasta el Pérmico con un magma que iba evolucionando (McKee *et al.*, 1988, 1990, 1999). La Formación Las Delicias fue plegada en el Triásico por la Orogenia Ouachita, debido a la colisión del Bloque de Coahuila con la parte sur de Norteamérica, siendo esta última la que descendió,

y en este mismo periodo y como consecuencia fue intrusionada por plutones, dentro de los que se encuentran El Coyote y la Isla de La Mula al Norte del Bloque de Coahuila (Sedlock *et al.*, 1993). La Isla de la Mula posteriormente funcionaría como alto estructural y tendría influencia en los estilos de deformación de las rocas sedimentarias (Padilla y Sánchez, 1986).

III.5.a.2.- Jurásico

En este período, las formaciones comienzan a tener una relación más estrecha con la configuración estructural actual; pues el proceso de fallamiento que dio origen a la secuencia resultante estuvo posteriormente presente.

III.5.a.2.a- Capa Las Palomas (Pre-Oxfordiano)

Esta capa está compuesta de dos clases de conglomerados. Su génesis está relacionada con flujos de detritos, son conglomerados con matriz de grano fino de arenisca, cuarcita, pizarra, filita, lutita, andesita y esquisto, de tamaños que van de guijarros hasta adoquines; es del pre-Oxfordiano, se localiza en el Valle El Jabalí, teniendo un grosor de 500 m; sus estructuras primarias no tienen orientación clara por su origen; sus granos también tuvieron transporte aéreo y son de origen volcánico, pues consisten en rocas andesíticas, dacíticas y granitos, de igual modo fragmentos pequeños de cuarzo y esquisto; acompañados con secuencias turbidíticas de arenisca del tamaño de guijarros y adoquines. Una característica de su estratificación es que los granos decrecen de tamaño hacia el Noreste, en cambio crecen hacia el Suroeste. Conforme se asciende tiene un contacto concordante con la Sierra El Granizo (Bolaños-Rodríguez, 2006; McKee *et al.*, 1990).

III.5.a.2.b.- Formación La Gloria (Pre-Oxfordiano)

La Capa Las Palomas, al norte se convierte en Formación La Gloria, definida por Imlay (1936), es caliza y arenisca oscura, con finas capas de pedernal y areniscas amarillentas, con granos de cuarzo, pedernal y rocas ígneas, depositados en un ambiente litoral somero, pues presenta contenido fósil variado de conchas, amonitas y gasterópodos (Imlay, 1953).

III.5.a.2.c.- Capa Sierra Granizo (Oxfordiano - Kimmeridgiano)

Su origen está relacionado con flujos de detritos de material volcánico, el tamaño de los granos decrece hacia arriba, estos granos se encuentran variando de tamaño fino a arenoso, predominando la arenisca sobre el conglomerado, tiene poca filita y más redondez a comparación de la capa Las Palomas, cerca de Sierra Granizo. Entre sus propiedades destaca que tiene de 500 a 1,000 m de grosor, en las partes bajas de la Sierra el Granizo, presenta arenisca y lutita de tonalidad verdosa, con horizontes de conglomerados de hasta un metro de grosor (McKee *et al.*, 1990).

III.5.a.2.d.- Formación Olvido (Oxfordiano - Kimmeridgiano)

Su contacto superior es concordante con la Formación La Casita (Carrillo-Bravo, 1961; Padilla y Sánchez, 1978; López-Ramos, 1979; Huízar-Álvarez y Oropeza-Orozco, 1989). El ambiente de depósito de la parte inferior (evaporítica) está relacionado con un margen marino restringido con influencia transgresiva, su parte superior (calcárea) está asociado a un ambiente marino de plataforma.

III.5.a.2.e.- Capa Taque Cuatro Palmas (Tithoniano)

Son granos finos de lutita calcárea verdosa de 0.5 m de diámetro, la capa tiene un grosor de 100 m, presenta contenido fósil que son amonitas del Tithoniano. En su afloramiento de la loma El Cuvado, esta capa tiene un contacto transicional con la formación San Marcos del Cretácico. Es de importancia saber que estas capas se encuentran aflorando en el Valle del Jabalí, pues se encuentran unidas estratigráficamente, de manera lateral, producto del ascenso que tuvieron en el evento Laramide con la reactivación de la Falla de San Marcos (McKee *et al.*, 1990). El ambiente en el que se depositaron fue marino, favorecido por un evento tectónico y el inicio de la influencia de aguas marinas, siendo la única capa jurásica que tiene indicadores fósiles, este evento tectónico está relacionado a la apertura del Golfo de México. El grosor total de estos conglomerados es de alrededor de 1,750 m, 500 m, de su parte inferior son clastos tabulares de 2 cm, los siguientes 500 m hacia arriba son flujos de derrubios, 250 m corresponden a adoquines; después 1,000 m de sección marina con

mucho conglomerado, siendo la parte alta más fina pues cuenta con limolita y lutita. (McKee *et al.*, 1984).

III.5.a.2.f.- Formación La Casita (Tithoniano)

Esta formación fue definida por Imlay (1936; citado en SGM, 2010). Su composición consiste en lutitas carbonatadas de color negro que se encuentran interestratificadas con caliza, arenisca de color gris oscuro y arenisca conglomerática de color gris oscuro, junto con margas. Su edad es del Kimmerridgiano al Tithoniano. Su espesor es variable, pues tiene valores que van de los 300 hasta los 1,000 m, está en contacto lateral al Norte de Tanque Cuatro Palmas (López-Ramos, 1979; Morán-Zenteno *et al.*, 1976).

III.5.a.2.g.- Capa Colorada-Potrero colorado (Tithoniano)

Es de eolianita, cuya composición litológica es de margas con láminas de cuarzoarenisca de color rojo oscuro, presenta *ripples*, grietas de desecación que son rastros de actividad fluvial y, en su parte inferior, se encuentran depósitos con influencia marina, por la litología, y que pertenece a conglomerados de arenisca, margas pizarra, tiene un grosor de 440 m. Debido a procesos exógenos, posteriormente tuvo roturas, que con el tiempo fueron rellenadas por la Formación San Marcos. Se encuentran aflorando en Potrero Colorado, al extremo SW de la Sierra La Fragua; es una secuencia jurásica correlacionable con la de Tanque Cuatro Palmas con una edad del Tithoniano. Estuvo desarrollada en dos ambientes, pues en su parte superior, se encuentran depósitos con influencia eólica (Chávez-Cabello *et al.*, 2005; McKee *et al.*, 1984). Su afloramiento se encuentra al SW de Sierra la Fragua

III.5.a.3.- Cretácico

Las formaciones de este periodo cambian lateralmente, por lo que son correlacionables verticalmente. Aunque el inicio de esta secuencia comenzó con formaciones clásticas, la otra parte son carbonatadas, este cambio de litología refleja los cambios de ambiente en el que se depositó la secuencia. Esto se deduce de las columnas estratigráficas propuestas por Bolaños-Rodríguez (2006), Eguiluz de Antuñano *et al.* (2001), así como, Lehmann *et al.* (1999).

III.5.a.3.a.- Formación San Marcos (Berriasiano-Barremiano)

Definida por Imlay (1940; mencionado en SGM, 2010), abarca inicios del Cretácico, ocupa casi todo el Neocomiano, abarcando desde del Berriasiano hasta el Barremiano aproximadamente (McKee *et al.*, 1990). Su composición, es a base de conglomerado arcósico de color rojo, contiene arenas que varían en composición, se pueden encontrar clastos de 10 a 15 cm, bien redondeados de areniscas, calizas, cuarzos, lutitas, basaltos, granitos, gneiss y esquistos, acompañado de horizontes arenosos de arcosa y subarcosa de grano, que va de tamaño fino a medio, tiene una expresión muy importante en la parte suroeste de la Sierra de San Marcos y Pinos (Bolaños-Rodríguez, 2006). Una característica de esta formación es el color rojo, pues la hematita está actuando como cementante, además presenta cuerpos lenticulares, canales de relleno, marcas de desecación y estratificación cruzada (McKee *et al.*, 1990). Como se mencionó anteriormente en Potrero Colorado, la Formación San Marcos relleno los espacios que tiene la Formación Colorado en Potrero Colorado, aunque difiere en algunos aspectos, pues presenta intercalaciones en los depósitos de arenisca y conglomerado, con un espesor de 1,000 m, en esta parte también su morfología concuerda con los abanicos aluviales, tanto en el Valle el Jabalí en el Núcleo de la Sierra San Marcos y Pinos, como en Potrero Colorado San Marcos presenta una geometría de cuña, que al norte se va adelgazando y progradando. Un argumento que favorece esto, es que el espesor al noreste es de 800 m, mientras que al suroeste es de 1,000 m (Bolaños-Rodríguez, 2006; McKee *et al.*, 1990).

Los materiales de San Marcos vienen principalmente de Las Delicias y se depositaron hacia el Norte hasta bordear parcialmente la parte sur de la Isla de la Mula. Tanto las capas jurásicas como la formación San Marcos son prueba de la actividad de la Falla de San Marcos, el ascenso del Arco y Cuenca Las Delicias originó un escarpe erosivo, del cual se derivan estas formaciones, además de la morfología en cuña progradante hacia el Norte apoyan el argumento y, por último, la composición de estas unidades es correspondiente al Arco Las Delicias; su origen está relacionado a un abanico aluvial producto de la falla (McKee *et al.*, 1990).

III.5.a.3.b.- Formación Taraises (Berriasiano - Hauteriviano)

Definida por Imlay (1936; referido en SGM, 2010), consiste en capas de caliza de textura *mudstone*, intercaladas con lutitas nodulares y margas, con espesores medios a gruesos de 10 a 30 cm, el espesor aproximado de la formación es de 300 m. Tiene abundante y variable contenido fósil sobre todo de amonitas. Esta formación es correlacionable con el inicio del depósito de San Marcos, solo que esta formación se encuentra más hacia el Norte. El ambiente en el que se depositó fue definido por López-Ramos (1979), como infranerítico a batial, es decir, que tiene un origen marino con profundidades aproximadas a los 1,000 m.

III.5.a.3.c.- Formación Menchaca (Berriasiano - Valanginiano)

Su litología corresponde a calizas de textura *wackstone* y limolitas calcáreas de color gris oscuro, con margas nodulares oscuras; tiene estratificación gruesa; teniendo un espesor de 250 m, parte de esta formación aflora en el Potrero de Menchaca, al NE del poblado de Cuatrociénegas; el contenido fósil correspondiente *Calpionella Alpina*, *Ramaniella Cadischiana*. Su origen se relaciona con las formaciones Taraises y San Marcos, encontrándose entre estas dos formaciones en contacto lateral. Su ambiente de formación corresponde a sedimentos transicionales con influencia marina (López-Ramos, 1979).

III.5.a.3.d.- Formación Barril Viejo (Valanginiano - Hauteriviano)

Su litología es de lutitas pardas amarillas, margas nodulares que se encuentran intercaladas con limolitas, arcosas, calizas oolíticas negras con fragmentos de conchas y margas laminares, su contenido fósil es de pelecípodos, gasterópodos, anélidos y corales solitarios. Aflora al sureste de Cuatrociénegas, aunque también aflora en Potrero de Menchaca, tiene un espesor aproximado de 140 a 300 m. Es correlacionable con las formaciones San Marcos y Taraises, encontrándose entre estas dos, pero sobreyaciendo a la Formación Menchaca. Su origen está relacionado con un ambiente marino de condiciones marginales, el contenido fósil apoya el hecho de que se formó en condiciones con influencia marina (López-Ramos, 1979; Morán-Zenteno *et al.*, 1976).

III.5.a.3.e.- Formación Padilla (Hauteriviano)

Consiste en arcosa de rocas graníticas, los detritos están intemperizados y tienen un tamaño de 40 a 70 cm, que se encuentran pobremente estratificados, aunque en su parte superior tiene una capa de 3 m, con sedimentos finos con dolomía y caliza en estratos masivos, asociados a brechas, con contenido de cuarzo y arcilla, la parte superior tiene estratos de dolomita y lutita de 5 a 15 cm. Es de color café y es una unidad poco resistente. Tiene ligero contenido fósil de foraminíferos bentónicos. Aflora en Potrero de la Mula con un espesor aproximadamente menor a los 100 m. Es correlacionable con la Formación San Marcos, su ambiente de formación está relacionado al intemperismo y erosión del basamento Isla de La Mula, cuando por estos procesos este basamento quedó descubierto (Jones *et al.*, 1984).

III.5.a.3.f.- Formación La Mula (Hauteriviano – Barremiano)

Definida por Imlay (1944, señalado en SGM, 2010), su litología es a base de limolita subarcósica con arena conglomerática, esta unidad se divide en tres niveles, siendo la inferior la más fina, al NE tiene hierro, limolita, lutita y lutita verde, con canales rellenos de arcosa, la unidad central es masiva con un espesor de aproximadamente 25 m, con conglomerado de clastos de cuarzo y ortoclasa de 5 cm de grosor; la unidad superior tiene estratos de arenisca de 8 a 30 cm de grosor separados por estratos de limolita y lutita de color rojo, cuyo grosor se va incrementando hacia arriba, aparentemente es progradante hacia el Norte y en su parte superior, está cubierta por sedimentos fluviales y de playa, que marcan el inicio de un ambiente de depósitos marinos, aflora al suroeste de Potrero de la Mula, tiene un espesor aproximado de 110 m. Se le relaciona con la Formación San Marcos y tiene una composición litológica similar a ella. Su ambiente de depósito está relacionado con el ascenso del Bloque de Coahuila, provocado por la Falla de San Marcos; cuyos detritos que progradaron hacia el Norte cubrieron la Formación Padilla (Jones *et al.*, 1984).

III.5.a.3.g.- Formación La Virgen (Barremiano - Bedouliano)

Nombrada por Humphrey y Díaz (1954, 1956; citados en SGM, 2010). Su parte baja es de yeso, hacia arriba se encuentra interrumpida por caliza de textura *wackstone* y *packstone*

interestratificada con caliza cristalina, lutita y arcilla calcárea en estratos, que tienen un grosor de 15 a 30 cm, es resistente a la erosión y en su parte superior hay otra capa de yeso, aflora en Potrero de La Mula y tiene un espesor estimado de 500 m. Tiene abundante contenido fósil de *Milliolidos*, *Ostrácodos* y *Gastrópodos*. Su depósito se relaciona con la etapa final de la Formación San Marcos, siendo la última formación correlacionable con esta. Su ambiente de depósito es de ambiente lagunar sobre la Isla de la Mula, con restricción de agua, pero con aporte de sedimentos terrígenos, siendo las capas de yeso evidencia de ese ambiente (Jones *et al.*, 1984).

III.5.a.3.h.- Formación Cupido (Barremiano - Aptiano)

Sobreyace a las formaciones San Marcos y La Virgen; fue definida por Imlay (1937; citado en SGM, 2010), su base tiene una litología similar a la Virgen, aunque también contiene dolomita, pero la mayoría es Caliza de color café a negro (McKee *et al.*, 1990), tiene estratificación gruesa de hasta 5 m en las calizas con estiolitas, nódulos de hierro, granos de arena, láminas planas intramareales de 0.1 a 0.5 m con una matriz de granos dolomitizados, láminas de lutita con fósiles, capas con calcarenita, brechas intraclásticas subangulares de mudstones; el color de la caliza va de café a negro (Jones *et al.*, 1984, McKee *et al.*, 1990), El contenido fósil es abundante con rudistas y corales (Jones *et al.*, 1984; Lehmann *et al.*, 1999; Morán-Zenteno *et al.*, 1976). La composición oolítica y de caliza de textura grainstone es lo más común con espesores de 100 a 200 m, aunque en algunas zonas como al sur tiene espesores de hasta 660 m. Esta formación tiene mucha expresión en la Sierra de San Marcos y Pinos, se caracteriza por tener varios escarpes (Jones *et al.*, 1984; Lehmann *et al.*, 1999; Morán-Zenteno *et al.*, 1976). Es correlacionable con las formaciones Padilla, La Mula, La Virgen y con Cupidito al final de su depósito.

Su origen es complejo, ya que desde finales del Jurásico comenzó la apertura del Golfo de México, a inicios del Cretácico, el área donde se depositaron las formaciones ya descritas, tuvieron subsidencia y, con ello, el depósito de más de 2,000 m de carbonatos, posteriormente en el Aptiano-Albiano ocurre otro evento de subsidencia, que tuvo una influencia sobre el Bloque de Coahuila, se depositaron carbonatos que bordearon al Bloque

de Coahuila, por lo que la Formación de Cupido se depositó en la Cuenca de Sabinas y en los márgenes del Bloque de Coahuila en una margen arrecifal de rudistas (Lehmann *et al.*, 1999), esta caliza bioclástica tiene estratos gruesos a masivos con montículos y capas arrecifales. En el Albiano medio ocurre una transgresión marina, que deposita las facies Cupidito, cubriendo más territorio del Bloque de Coahuila, en la última etapa de Cupido (Lehmann *et al.*, 1999).

III.5.a.3.i- Formación La Peña (Gargasiano)

Definida por Imlay (1936; referido en SGM, 2010). Son lutitas ricas en arcillas, clastos de fosforita, margas con estratificación delgada, de 15 hasta 30 cm, interestratificada con caliza y *mudstone*; es rica en organismos como amonitas. Su grosor es de 10 a 30 m en promedio, es oscura de color ocre. Sobreyace a la Formación Cupido, en un contacto que no es bien definido, pues hubo una regresión que expuso a Cupido, posteriormente se depositó La Peña, dando como resultado un contacto disconforme, su ambiente de formación corresponde a una retrogradación, en donde las litofacies submareales prueban un ascenso gradual, que fue alimentando a las lutitas. En la Cuenca de Sabinas, tiene un afloramiento en la parte Sur de La Sierra San Marcos y Pinos (Jones *et al.*, 1984; Lehmann *et al.*, 1999).

III.5.a.3.j.- Formación Las Uvas (Gargasiano)

Areniscas ricas en carbonatos, con estratificación cruzada en ángulos bajos, abundante contenido en fósiles. Su ambiente de depósito pertenece a una línea de costa transgresiva durante el inicio de la segunda transgresión, en la que el Bloque de Coahuila fue anegado, es de la misma edad que la Formación La Peña, su origen está relacionado con el ascenso del mar (Lehmann *et al.*, 1999; Padilla y Sánchez, 1986).

III.5.a.3.k.- Formación Aurora (Albiano-Cenomaniano)

Definida por Burrows (1910; citado en SGM, 2010), consiste en caliza de texturas *packstone*, *grainstone* y *wackstone* bioturbada con contenido fósil, tiene concreciones de pedernal y horizontes de marga y caliza arrecifal, acomodadas en estratos masivos, con

estratificación cruzada en ángulo bajo, tiene en espesor estimado de 260 m (Bolaños-Rodríguez, 2006; Lehmann *et al.*, 1999). Se depositó con la segunda transgresión al Bloque de Coahuila, se depositó en un ambiente submareal somero. El depósito de Aurora fue en la Cuenca de Sabinas y en los bordes del Bloque de Coahuila (Lehmann *et al.*, 1999).

Varias de las formaciones del Cretácico quedan expuestas en las sierra de San Marcos y Pinos, principalmente en las laderas que apuntan hacia el Sur y Suroeste, siendo esto resultado de la Falla de San Marcos, que tuvo influencia en ese desnivel altitudinal, causando ese modelamiento (**Figura III.3**).

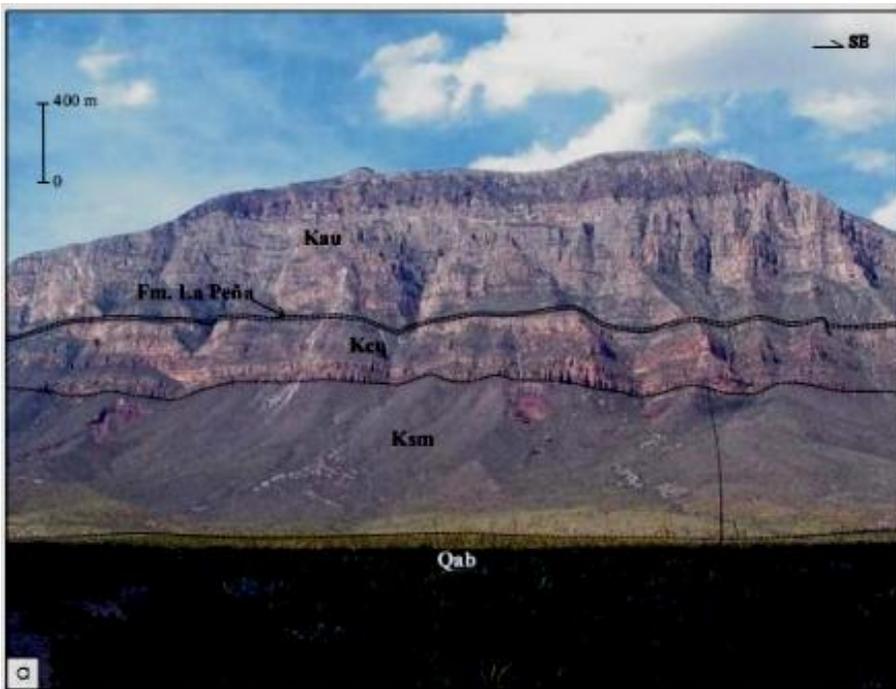


Figura III.3.- Se muestra la ladera Sur de la Sierra de San Marcos y Pinos, donde se aprecia la secuencia sedimentaria del Cretácico Inferior, mostrando los límites de diferentes Formaciones: Ksm (Formación San Marcos); Kcu (Formación Cupido); La Peña; Kau (Formación Aurora) (Tomado de Bolaños, 2006).

III.5.a.3.1.- Formación Acatita (Albiano)

Nombrada por Humphrey y Díaz (1956; citados en SGM, 2010). Corresponde con grandes estratos de yeso interestratificados con caliza de textura *packstone* y *grainstone*, dolomías y gravas en ángulo bajo con laminación cruzada, tiene un espesor de 500 metros. Su origen está relacionado con la segunda transgresión al Bloque de Coahuila, que además de depositar a la Formación Aurora, provocó un ambiente interior de aguas restrictivas, lo que originó una laguna hipersalina con un banco marginal que migraba. En este ambiente se

depositó la Formación Acatita. Para finales del Albiano, la formación Acatita volvió a ser cubierta por carbonatos, conocidos como Cupidito-Viesca; los afloramientos de Acatita se encuentran en Sierra Acatita, Los Alamos y La Paila (Lehmann *et al.*, 1999).

III.5.a.3.m.- Formación Kiamichi (Albiano)

Formada por Calizas y arcillas de estratificación mediana y textura de calcarenita interestratificada, con lutitas calcáreas interestratificadas con calizas en capas delgadas (Bolaños-Rodríguez, 2006). Su edad es contemporánea con las Formaciones Aurora y Acatita.

III.5.a.3.n.- Grupo Washita (Albiano – Cenomaniano)

Abarca a las formaciones Kiamichi, George Town, Del Río y Buda George Town, Del Río y Buda, siendo depositadas en un ambiente de playa. La George Town está hecha de caliza bioclástica en estratos delgados a medianos con granos finos (Morán-Zenteno *et al.*, 1976). Le sigue la Formación del Río en cambio gradual y concordante con una litología de caliza gris clara, interestratificada con lutita calcárea, en su parte superior, se encuentra la Formación Buda, que tiene caliza micrítica con estratificación delgada y algunos horizontes de lutita laminar; por sedimentos pelíticos, originados por regresión marina (Bolaños-Rodríguez, 2006).

III.5.a.3.ñ.- Formación Indidura (Cenomaniano - Santoniano)

Su litología es de lutita y limolita calcárea interestratificada con delgadas capas de caliza y algunos horizontes de yeso, presenta contenido fósil con amonoideos (Goldhammer, 1999). De acuerdo con Bolaños-Rodríguez (2006), tanto la Formación Kiamichi, como el Grupo Washita y la Formación Indidura, se encuentran expuestos en la parte oriente de Sierra la Fragua, en el Sinclinal de las Palomas, entre la Formación Aurora y los depósitos coluviales del Cenozoico.

III.5.a.4.- Cenozoico

Dentro del área de estudio no tienen mucha presencia, pero en áreas cercanas como el Valle El Hundido, tiene un derrame basáltico al SE, denominado cuello volcánico La Víbora, de composición andesítico-basáltico gris oscuro, con fenocristales de olivino en una matriz de pequeños cristales de plagioclasa, al estar cortando la Formación Indidura, se argumenta que pertenecen al magmatismo plio-cuaternario, tipo intraplaca, situado sobre las fallas del basamento (Bolaños-Rodríguez, 2006; Chávez-Cabello, 2005), también existen pequeños diques máficos al sur del Valle El Jabali. Estas intrusiones son de tamaño pequeño, algunas cortan las granodioritas permo-triásicas, su composición monzonítica por los cristales de plagioclasa, feldespatos potásicos y anfíboles, de edad que van del Eoceno al Oligoceno. Estas intrusiones tienen relación con lineamientos, que coinciden con el sistema de la Falla de San Marcos (Chávez-Cabello, 2005). Existen brechas sedimentarias de caliza, cementadas con calcita, con diámetros de 1 a 5 m, en material mal clasificado, por lo que no muestran estructuras primarias reconocibles, fueron originadas por procesos gravitacionales (Bolaños-Rodríguez, 2006).

III.5.a.4.a.- Cuaternario

Consiste principalmente en depósitos, siendo representativos los abanicos aluviales de gran extensión, son abanicos coalescentes, en algunas partes tiene hasta 6 km de largo. Algunos con pendientes de 2° a 3°. El material que conforma a estos piedemontes son fragmentos de caliza cementados por caliche, el tamaño de estos granos disminuye, conforme se alejan de las laderas montañosas o del ápice. El relleno del valle de Cuatrociénegas, de origen fluvio-lacustre tiene granos finos a medios y se encuentran bien clasificados, de acuerdo con la profundidad (Bolaños-Rodríguez, 2006). Las unidades estratigráficas fueron descritas y ordenadas en base a los trabajos que fueron citados en esta parte del capítulo, siendo artículos y tesis las que ayudaron; aclarando que aunque había otras columnas estratigráficas, la que se escogió presentaba todas las formaciones mencionadas en el texto, siendo la que se pensó que para este trabajo presentaba la mejor síntesis de los eventos geológicos con un grado más entendible. La columna estratigráfica abarca desde el Paleozoico hasta la época presente.

Las unidades estratigráficas sintetizadas, se encuentran representadas en un mapa que abarca el área de estudio y representa la ubicación de estas unidades, así como algunas características estructurales como son las principales fallas (**Figura III.4**).

Las formaciones descritas en el capítulo quedan sintetizadas en la columna estratigráfica (**Figura III.5**), expresándolas en los dominios o terrenos tectonoestratigráficos, siendo la columna en la que se apoyó esta parte del capítulo principalmente; se encuentra dividida en dos terrenos tectonoestratigráficos, que corresponden con la Isla de Coahuila y la Cuenca de Sabinas, siendo la segunda en la que se encuentra el área de estudio, aunque la primera se toma en cuenta para entender el contexto histórico-geológico de la región, analizándola como un sistema.

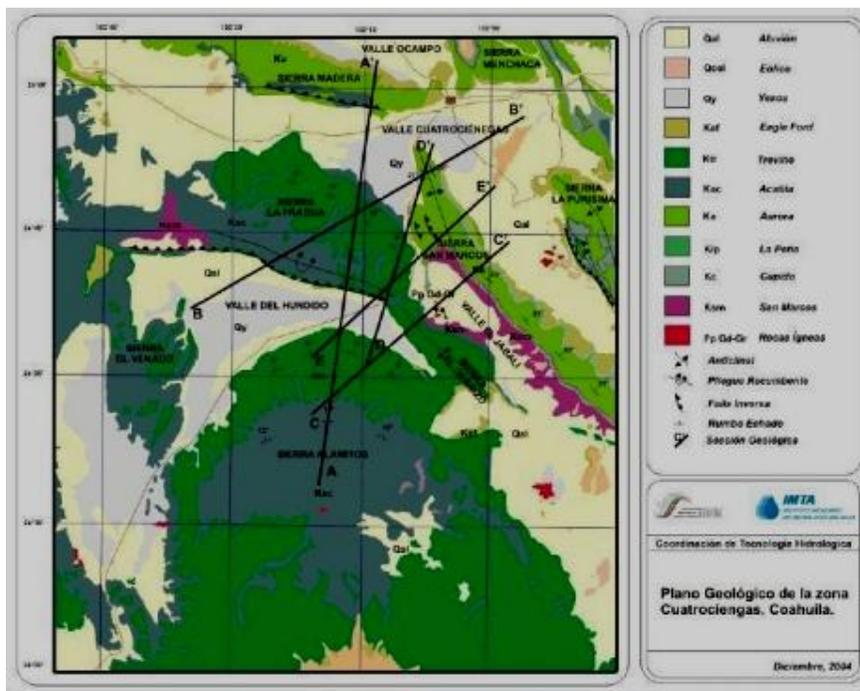


Figura III.4.- Plano Geológico del Área de Cuatrociénegas, Coahuila; donde se aprecian las principales litologías y estructuras; tomado del IMTA (2004).

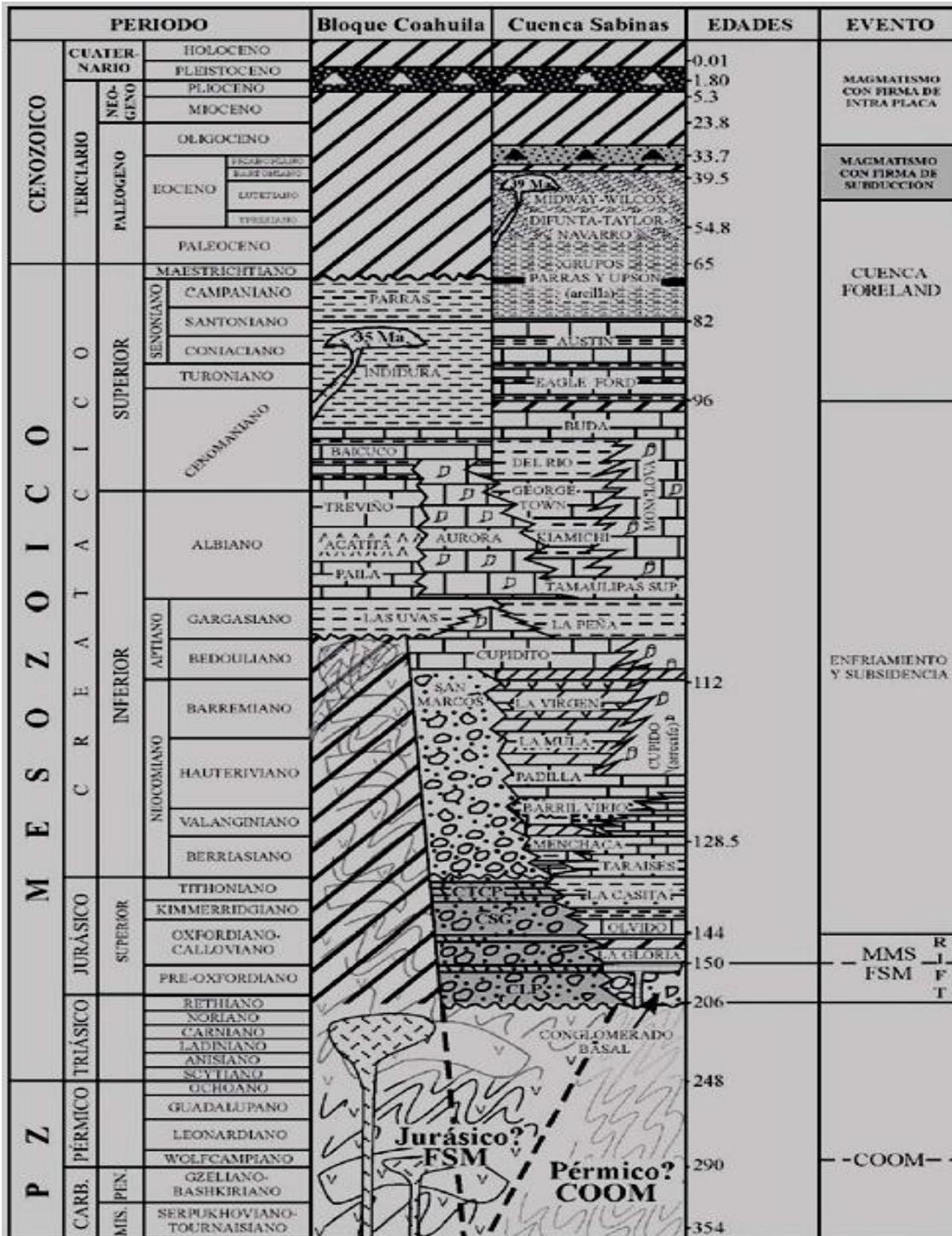


Figura III.5.- Columna estratigráfica que correlaciona las principales formaciones con los terrenos tectonoestratigráficos (tomada de la adaptación de Garza, 1973 y Eguiluz de Antuñano, 2001, en Chávez-Cabello, 2005).

III.5.b.- Geología estructural

El resultado de la orogenia Laramide generó estructuras secundarias, pliegues y fallas. Algunas descritas por Bolaños-Rodríguez (2006) y Chávez-Cabello (2005), las estructuras más representativas, aunque su origen se atribuye al mismo evento las estructuras como los pliegues y las fallas tienen diferencias, en cuanto a la orientación, extensión y asimetría en caso del plegamiento.

Los anticlinales de la Sierra San Marcos y Pinos, Sierra La Fragua, son anticlinales *drape* asimétricos. Las fallas jurásicas del basamento y sus rocas tuvieron desplazamientos por fallas normales y laterales, en el Cretácico temprano principalmente por fallas normales; estos sistemas durante la orogenia Laramide del Paleógeno, se reactivaron con sentido inverso, con orientaciones y profundidades variables (Chávez-Cabello *et al.*, 2005).

III.5.b.1.- Anticlinal San Marcos-Pinos

Es el más representativo del área por su morfología, está dentro de la sierra del mismo nombre, hacia el Norte se convierte en dos anticlinales asimétricos, orientados al NNW-SSE, con sus planos axial inclinados al Noreste, siendo anticlinales recostados, conforme se va al Sur, aunque desaparece la estructura, se piensa que su rumbo se vuelve Norte-Sur, siendo el Anticlinal Sierra San Marcos, que es el anticlinal central. Al oeste al plano axial se inclina al SWS y tiene inmersión al NNW, cerca del Poblado de Cuatrociénegas. Estos dos anticlinales fueron definidos por Bolaños-Rodríguez (2006), como el anticlinal de la Atalaya, al Oeste y el Anticlinal San Marcos y Pinos, al Este, sus valores de rumbo van N-S a N20°E (Bolaños-Rodríguez, 2006; Chávez-Cabello *et al.*, 2005) (**Figura III.6**).

A cada anticlinal le corresponde un sinclinal, el Sinclinal de la Atalaya, se localiza al Oeste del anticlinal Atalaya, entre la sierra San Marcos y Pinos y Sierra La Fragua, dentro del valle El Tablero, su rumbo es NNW-SSE, con un plano axial inclinado al este. El Sinclinal Churince está dentro de la Sierra San Marcos y Pinos en la parte en que diverge, su rumbo es NNW-SSE con inmersión al Norte. Su flanco oriental es corto y casi vertical mientras que el occidental se inclina 20° al Este (Bolaños-Rodríguez, 2006) (**Figura III.7**).



Figura III.6.- Anticlinal San Marcos y Pinos, en la porción Norte de la sierra la vista es hacia el Sur, se aprecian estructuras como la estratificación perpendicular a la topografía y las fracturas, en un arreglo casi perpendicular.



Figura III.7.- Fotografía hacia el SE, donde se aprecia en la parte inferior derecha el Sinclinal Churince, que es reflejado en un relieve cóncavo y poco erosionado, señalándose el eje de la estructura (casi N-S) y hacia donde se echan sus capas, además de que ha facilitado la presencia de vegetación.

Estas estructuras son producto de un desplazamiento tectónico del SWS, mientras que al SSE los ejes de sus anticlinales se unen en un núcleo descubierto por la erosión, donde se aprecian algunas formaciones; esta pared de la parte sur de la Sierra de San Marcos y Pinos, donde la continuidad lateral de las formaciones fue truncada, se encuentra asociada a la actividad inversa de la Falla de San Marcos y Pinos (Chávez-Cabello *et al.*, 2005). Existe una falla dentro de estos dos sinclinales, siendo clasificada como falla inversa que se echa al Este con un rumbo N-S (SGM, 2008).

III.5.b.2.- Sinclinal Reforma

Se localiza en la sección oriental del Valle de Cuatrociénegas, debajo de éste. Aunque está al oriente de la Sierra San Marcos y Pinos tiene más cercanía con la Sierra La Purísima, su rumbo es NW-SE y se piensa tiene rocas de la Formación Kiamichi y el Grupo Washita (Santillán-Reyes, 2007) (**Figura III.8**).

III.5.b.3.- Sinclinal San Vicente

Se localiza en la parte más NE del Valle de Cuatrociénegas, el Sur de Sierra Potrero de Menchaca, con un rumbo NNW-SSE a NE-SW, teniendo un buzamiento hacia el SW (Santillán-Reyes, 2007) (**Figura III.8**).

III.5.b.4.- Sinclinal Las Yeguas y El Venado

De estas dos estructuras, su parte más NW se encuentra por debajo del Valle de Cuatrociénegas, tienen una orientación NW-SW (Santillán-Reyes, 2007) (**Figura III.8**).

III.5.b.5.- Anticlinal La Fragua-El Granizo

Aunque existen todavía dudas sobre su configuración y valores de rumbo y echados a la largo de la Sierra La Fragua, se piensa que es un anticlinal.

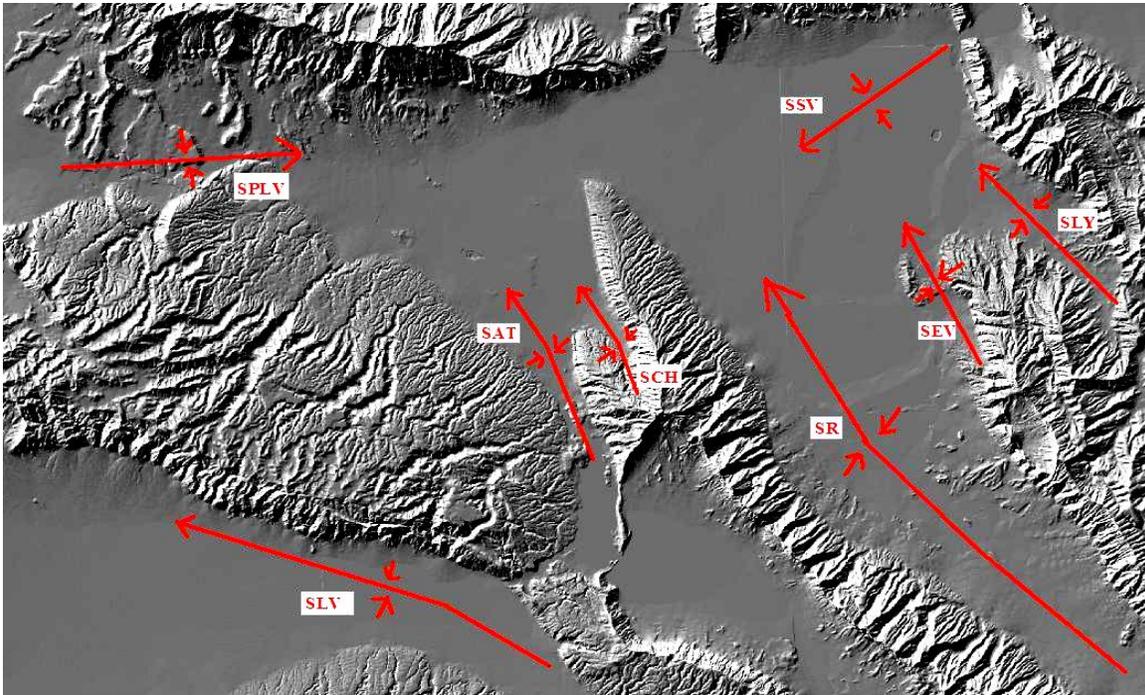


Figura III.8.- Se aprecian los Sinclinales mencionados y su ubicación; SPLV (Sinclinal Puerto La Fragua), SLV (Sinclinal La Vibora), SAT (Sinclinal La Atalaya), SCH (Sinclinal Churince), SR (Sinclinal Reforma), SSV (Sinclinal San Vicente), SEV (Sinclinal El Venado), SLY (Sinclinal La Yegua) (Modificado de Santillán, 2007).

Es de gran extensión pues abarca las dos sierras del mismo nombre, a pesar de estar interrumpido por el Valle El Tablero, su orientación es WNW-ESE. En la Sierra La Fragua que está dentro del área de estudio, el anticlinal tiene un rumbo WNW-ESE y corresponde con un anticlinal asimétrico tipo *drape*, su núcleo se encuentra poco afectado, en su flanco sur los echados son de 45° hasta 90°, es casi vertical en Potrero Colorado, presentando pliegues de doblez de falla, mismas que duplican las secuencias, en esta parte hubo transporte tectónico al NNE; mientras que al Norte los echados son suaves con valores de 8° a 14°. El núcleo de esta Sierra se encuentra expuesto principalmente en Potrero Colorado, donde se encuentra la capa Tanque Cuatro Palmas del Jurásico superior. El plano axial es recumbente, inclinado hacia el Norte, presenta pliegues por doblez de falla imbricados (*fault bend fold*), que se interpretan como transporte hacia el NNE (Bolaños-Rodríguez, 2006; Chávez-Cabello *et al.*, 2005). La Sierra de Granizo está hecha de carbonatos del Cretácico inferior, acopiados en formaciones, con presencia de pliegues de doblez de falla con orientación WNW con transporte tectónico al NNE; al igual que la

Sierra San Marcos y Pinos, la continuidad lateral de las formaciones también se encuentra truncada. Como prueba que apoya la actividad inversa de la Falla de San Marcos, es que las rocas jurásicas están unidas con las del Cretácico superior (Chávez-Cabello *et al.*, 2005). Es significativo mencionar, que tanto la Falla de San Marcos como este anticlinal, están paralelos y alineados en casi el mismo rumbo (**Figura III.9**).

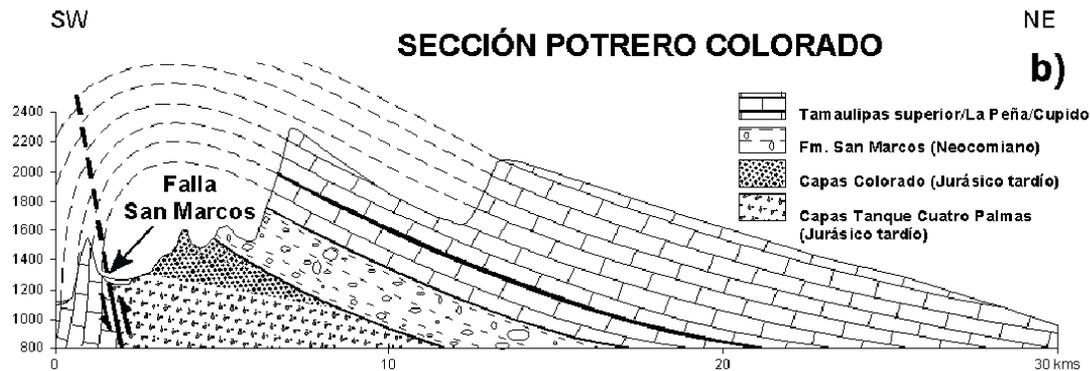


Figura III.9.- Perfil geológico que hace una reconstrucción de cómo estarían los estratos, mostrando lo que sería el anticlinal y en sentido casi paralelo, pero un poco hacia el sur la traza de la Falla de San Marcos. (Tomado de Chávez-Cabello, 2005).

De acuerdo con la cartografía geológica (SGM, 2008), al Oeste de la Sierra la Fragua existe un anticlinal recumbente con un rumbo SW-NE, aunque al sur cambia de rumbo N-S; tiene un echado al SE. Además al Oeste de esta sierra, en Potrero Colorado existe una morfología muy escarpada, que corresponde a un anticlinal con rumbo Norte-Sur (SGM, 2008) (**Figura III.10**).

III.5.b.6.- Sinclinal La Víbora

Se encuentra en la porción sur de la Sierra La Fragua, casi alineada con ésta, con un rumbo similar al del Anticlinal La Fragua-Granizo. Se localiza el Valle El Hundido, con rumbo NW-SE, buzando hacia el centro de la cuenca, es asimétrico con un ángulo de inclinación en el flanco corto de 25° a 36° al SW, mientras que en el flanco largo, la inclinación es menor a 15°, en la misma dirección (Bolaños-Rodríguez, 2006) (**Figura III.8**).

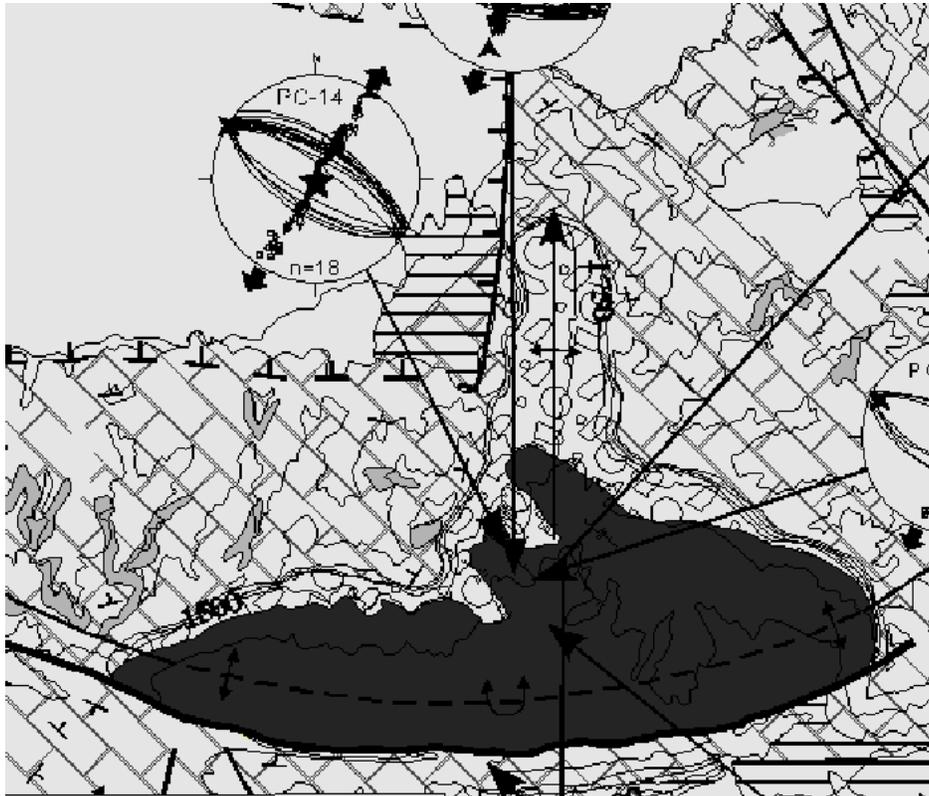


Figura III.10.- Se muestran las principales estructuras en Potrero Colorado, apreciándose de W-E el anticlinal de Sierra La Fragua y de N-S otro anticlinal, al ser perpendiculares tienen relación con la actual morfología, casi perpendicular de esa área., agregando que han estado expuestas por intemperismo (Tomado de Chávez-Cabello, 2005).

III.5.b.7.- Anticlinal La Madera

Es un anticlinal asimétrico, correspondiente a Sierra La Madera. Tiene una longitud de aproximadamente 60 km, con orientación preferencial SE-NW, en su extremo sureste cambia de rumbo casi E-W (CNA, 2009; SGM, 2008).

III.5.b.8.- Sinclinal Puerto La Virgen

Localizado entre la parte SW de Sierra La Madera y la parte NW de Sierra la Fragua; tiene la característica de ser buzante hacia el Este y que en su flanco Norte los echados son de pendiente elevada, mientras que en su flanco Sur los echados son suaves. Su geometría asimétrica sugiere transporte hacia el Sur (Santillán-Reyes, 2007). Esta expresado en la **Figura III.8.**

Además de los pliegues, otro tipo de estructuras identificadas corresponde a las fallas, en el área de estudio se tienen identificadas tres fallas, las fallas de El Jabalí y El Mimbres, se piensa son evidencia de la reactivación de la Falla de San Marcos; la Falla La Madera al igual que la Falla de San Marcos es inversa, se describen a continuación:

III.5.b.9.- Falla El Jabalí

Se encuentra en la parte Oeste de la Sierra San Marcos y Pinos, en el extremo de esta Sierra, se inclina hacia el Oeste, tiene un ángulo alto de inclinación. Su actividad afectó la estratigrafía del Cretácico, generó una zona de brecha de falla con una orientación cercana a N-S; se encontraron indicadores que señalan que la falla tiene un movimiento normal, siendo el bloque alto el que se ubica al Oeste. Tiene una extensión aproximada de 14 km, pues llega hasta la Sierra Granizo, en la Barranca de las Antenas, aquí su rumbo cambia a NW-SE en esta parte el bloque de techo está al sur de la falla, provocando que la formación San Marcos fuera erosionada y desapareciera en Sierra Granizo (Bolaños-Rodríguez, 2006)

(Figura III.11).

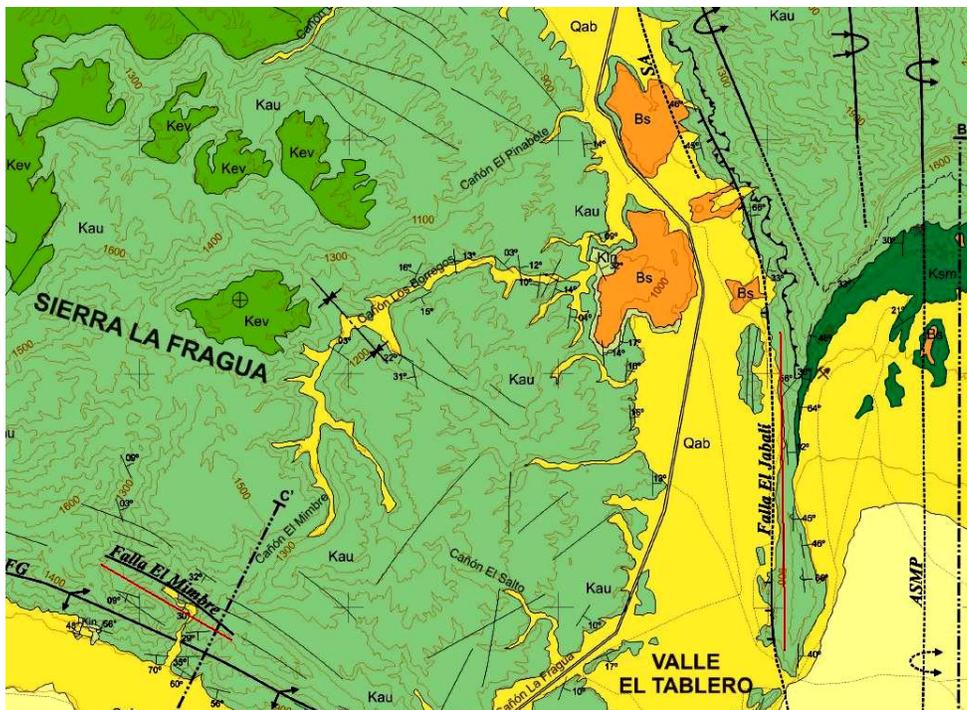


Figura III.11- Se muestran las trazas de las fallas normales (Tomado de Bolaños, 2006).

III.5.b.10.- Falla El Mimbres

Se localiza en la parte sureste de la sierra La Fragua, con 200 m de espesor en una zona de brecha de falla, cuyo rumbo es paralelo a la línea de Charnela del Anticlinal La Fragua Granizo, aunque a diferencia de este anticlinal la Falla El Mimbres se pierde hacia el oriente, aunque hay algunas estrías que son de movimientos laterales, se piensa que tiene una componente normal predominante, pues hay más indicadores cinemáticos a favor, aunque no se asegura del todo que tipo de falla sea. Es importante destacar que su rumbo es paralelo a la Falla de San Marcos, siendo posible que sea parte del sistema Falla San Marcos en su reactivación de tipo inverso (Bolaños-Rodríguez, 2006; Chávez-Cabello, 2005) **(Figura III.11)**.

III.5.b.11.- Falla La Madera

Se localiza en Sierra La Madera, de ésta falla no hay muchos datos, salvo que ocupa una gran parte de la porción sur de esta sierra, en una distancia aproximada de casi 40 km, es de componente inverso relacionado a la orogenia Laramide, que en Cinturón Plegado de Coahuila, aflora en el borde de la ladera Sur de Sierra La Madera, encimando a la Formación Aurora sobre las formaciones Kiamichi, Grupo Washita y la Formación Indidura, hacia el oriente; tiene una longitud aproximada de 110 km (CNA, 2009).

Aunque ha sido documentada de igual forma por Rodríguez-Martínez y Villareal-Sánchez (2003); y en el mapa Geológico propuesto por el IMTA (2004), la delimitación del lineamiento de forma más concisa posible es algo que no se ha llevado a cabo, un argumento que favorece su presencia es la asimetría en la morfología de las laderas Norte y Sur, y un lineamiento muy pronunciado, que recorre la parte cumbral de Sierra La Madera **(Figura III.12)**.

En sierra La Madera están otras fallas, existiendo una falla lateral diestra, que cerca del cañón de las Calaveras, en el extremo NE de Sierra La Madera **(Figura III.13)**.



Figura III.12.- Posible traza de la Falla La Madera en Sierra La Madera (Tomado del IMTA, 2004).

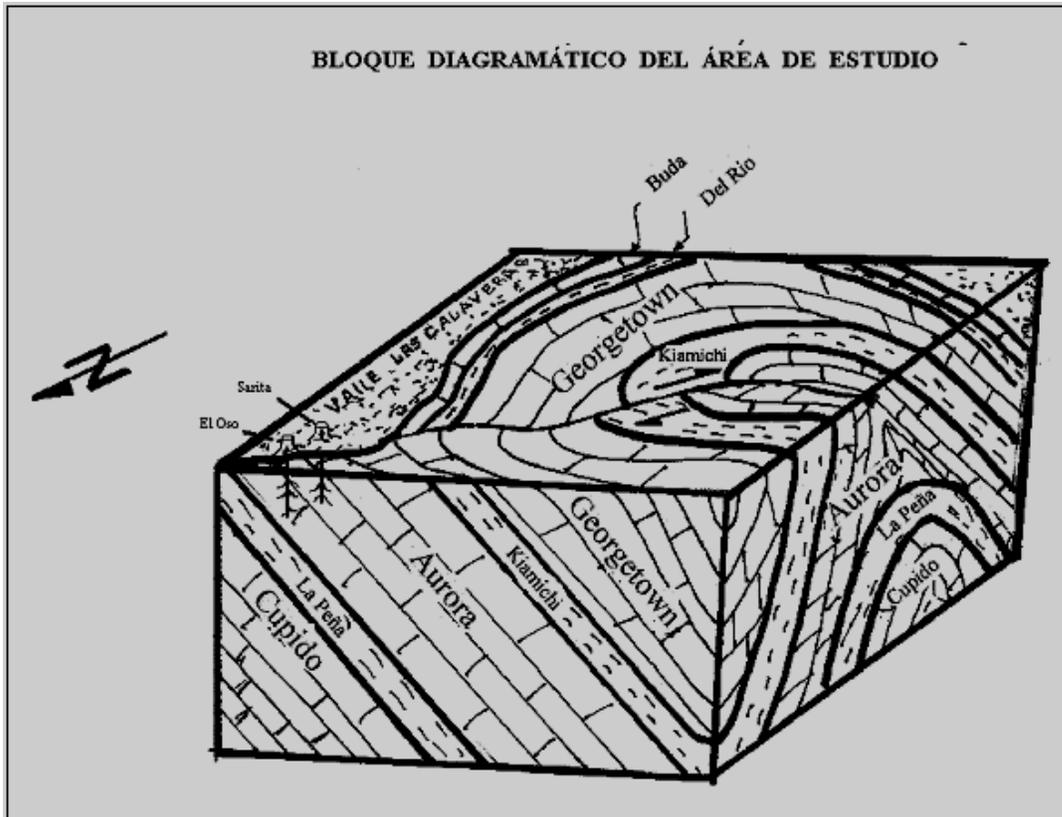


Figura III.13.- Porción extrema NE de Sierra La Madera, donde se muestra la falla lateral, apreciándose el movimiento de carácter diestro documentado por Rodríguez-Martínez y Villareal-Sánchez (2003).

III.5.b.12.- Falla San Marcos

Es la de mayor extensión dentro del área de estudio, es una falla inversa localizada al extremo sur de Sierra la Fragua, con un rumbo $N67^{\circ}W$. Es la más compleja dentro del área de estudio y afecta principalmente la Sierra La Madera, siendo reflejado en un rasgo lineal y la evidencia más contundente de que es inversa, es la forma en que afecta a la estratigrafía, duplicándola, generando *horses* o cabalgaduras en la ladera Sur; por lo que los

echados en esta ladera son variables. Mientras que en la ladera Norte el echado es suave, como se mencionó anteriormente esta estructura tiene un alineamiento con el Anticlinal La Fragua-Granizo y por la gran extensión de los dos no hay más datos precisos de las dos. (Figura III.14). Algunos de los principales pliegues anticlinales mencionados quedan representados en la Figura III.15, mientras que los pliegues sinclinales están representados en la Figura III.8.

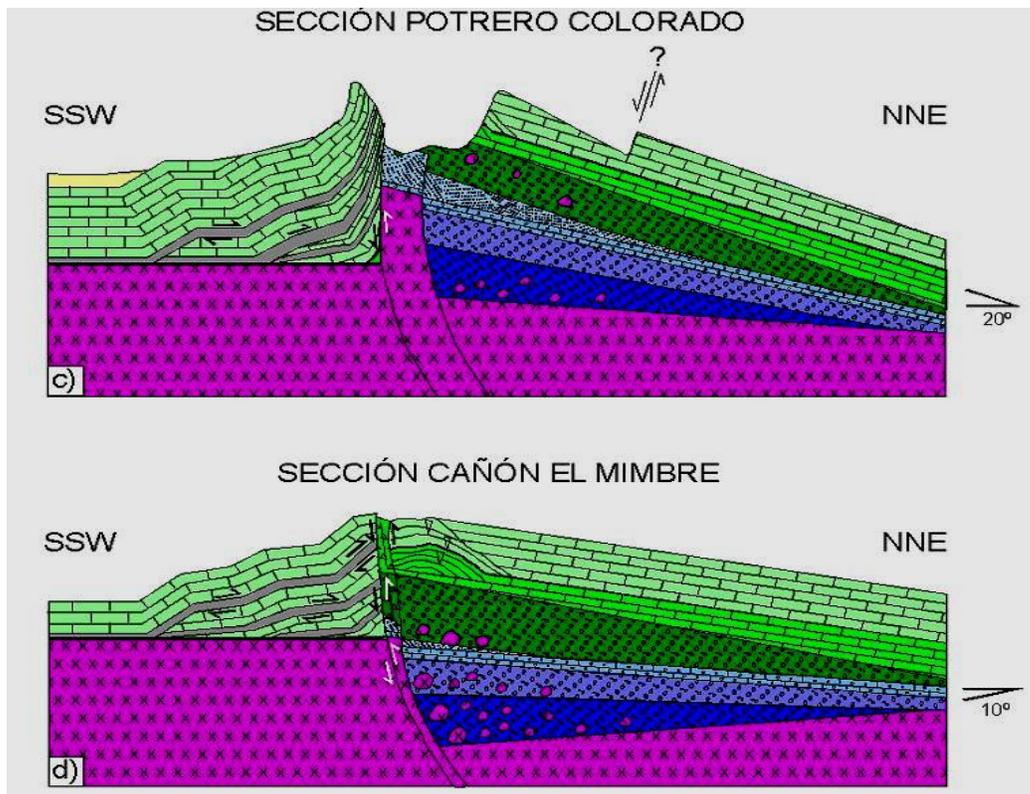


Figura III.14.- Perfiles que muestran como la falla reactivada de San Marcos de forma inversa afecta la estratigrafía y morfología de Sierra La Madera. Los perfiles son del SW y S de Sierra La Fragua (Tomado de Chávez-Cabello. 2005).

III.5.c.- Geología histórica

Para este apartado, se toman en cuenta los antecedentes geológicos ya expuestos, integrando estos argumentos, para entender como interactuaron, destacando la presencia de la Falla de San Marcos durante un lapso de tiempo considerable; actuando de diferentes maneras: desde fuente de material para las formaciones jurásicas, hasta el límite de estilos de plegamiento del Bloque de Coahuila y la Cuenca de Sabinas.

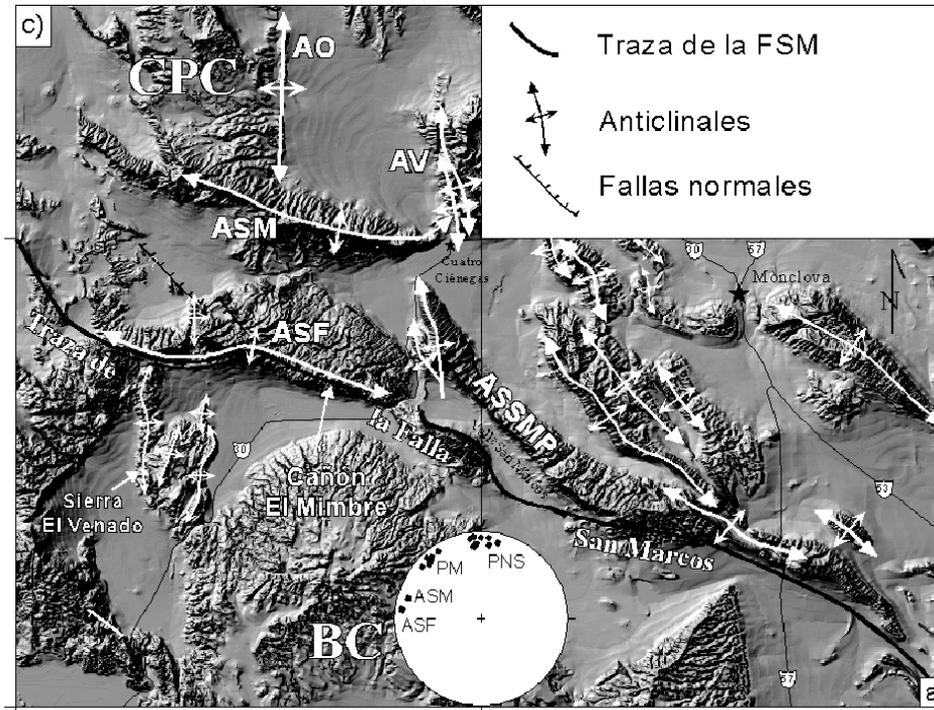


Figura III.15.- En este modelo digital de elevación se aprecian las principales estructuras que están en el área de estudio. ASM (Anticlinal Sierra La Madera), ASF (Anticlinal Sierra La Fragua), ASSMP (Anticlinal Sierra San Marcos y Pinos). En la línea de color negro se encuentra representada la traza de la Falla San Marcos (Tomado de Chavez-Cabello, 2005).

III.5.c.1.- Paleozoico

La estructura más antigua del área corresponde al Bloque de Coahuila, que corresponde a un trozo de Gondwana (Dickinson y Lawton, 2001), con una edad que va aproximadamente del Carbonífero; este basamento es el que en la orogenia Laramide influyó mayormente los estilos de deformación del área centro de Coahuila, y en el Jurásico y Cretácico influyó en los patrones de sedimentación (McKee *et al.*, 1990, 1999; Padilla y Sánchez, 1986).

Después del Carbonífero, con la expansión de los continentes, uno de estos fragmentos que corresponde a Gondwana, es actualmente el denominado como Bloque de Coahuila, también llamado Isla de Coahuila, además de tener un desplazamiento, vino acompañado de una rotación en sentido de las manecillas del reloj. El territorio norte actual está dividido en cuatro provincias tectono-estratigráficas, que conforman el Sistema Ouachita, siendo: las partes delanteras, la zona frontal, la zona interior y finalmente el Bloque de Coahuila que tiene un arco volcánico del Paleozoico tardío (Pérmico), otra denominación más actual es el

Terreno Coahuiltecano (Handschy *et al.*, 1987; Sedlock *et al.*, 1993). Durante el final de la Orogenia Ouachita, el margen formado al Oeste de Pangea, la Isla de Coahuila tuvo colisión con la parte Sur de la litosfera oceánica de Norteamérica, la corteza Norteamericana fue la que descendió y fundió, con un echado al Este, siendo un margen convergente, este evento originó actividad ígnea y, con ello, un arco volcánico en el Paleozoico tardío llamado arco Las Delicias, esta actividad volcánica generó flujos de roca, que interactuaron con la influencia del mar, originando una secuencia volcanoclástica de tipo *flysh*, depositada sobre el Bloque de Coahuila (Handschy *et al.*, 1987; McKee *et al.*, 1988, 1990, 1999; Sedlock *et al.*, 1993).

Esta secuencia volcanoclástica, tiene fragmentos de siliclastos finos, brechas ígneas; además la presencia de derrubios producto de procesos gravitacionales por la interacción que hubo con aguas marinas, estos procesos también funcionaron como agente formador de la secuencia, que se piensa también favorecieron el origen de pliegues intraformacionales y la presencia de turbiditas. Su edad es del Pensilvánico tardío, mejor denominada como Formación Las Delicias, misma que fue plegada y fallada al Oeste. Esta secuencia queda expuesta en los Valles de El Sobaco y Acatita, la Formación Las Delicias fue intrusionada por plutones de composición granodiorítica del Permo-Triásico y se encuentran presentes en el Valle de Acatita y El Sobaco (Handschy, 1987, McKee *et al.*, 1988, 1999).

Acompañado de este magmatismo vinieron plutones Permo-Triásicos, que cortaron la secuencia volcanoclástica sedimentaria de Las Delicias (McKee *et al.*, 1990., 1999). De los cuerpos que intrusionaron, se encuentran el Plutón Rancho Pesuña, Arroyo El Fierro, que corresponden al Paleozoico tardío y el más reciente que es el Plutón Coyote, que se piensa va del Pensilvánico al Cretácico temprano, estos cuerpos intrusivos, se interpreta, que se comportaron como altos estructurales o fuentes de material, al igual que el Bloque de Coahuila. Estas intrusiones favorecieron el metamorfismo de bajo grado y fueron fuente de material para las formaciones del Jurásico y Cretácico (McKee *et al.*, 1999).

Otra estructura que tiene importancia es la Isla de La Mula, que se encuentra al Norte del Bloque de Coahuila. El origen de la Isla de la Mula está ligado a una placa convergente, como un arco resultado de la subducción de la placa suramericana (Gondwana), su composición es granítica, pero más precisamente granodiorítica y tiene una extensión de aproximadamente 2,600 km², entre otras características litológicas de esta estructura es el hecho de que se encuentra truncada por seis generaciones de diques, también presenta Xenolitos y la Biotita presenta alteración por metamorfismo, pues existe presencia de clorita; esta isla se inundó durante el Cretácico y tuvo intemperismo, pero posteriormente sería cubierta por los depósitos del Bloque de Coahuila y carbonatos, en el Cretácico (Jones *et al.*, 1984).

La Sierra de Tlahualillo es de las que muestra algunos de los litosomas mencionados anteriormente, sin embargo, la composición de estos litosomas no es muy definida, pues las rocas no solamente son volcánicas, también hay plutónicas. La formación Las Delicias muestra estructuras secundarias, como el sinclinal de Las Delicias, en la parte Este de esta Sierra, es un plegamiento disarmónico por la Orogenia Ouachitania, con un origen relacionado con la megacizalla Mojave-Sonora y al Magmatismo del Triásico (Jones *et al.*, 1984; McKee *et al.*, 1990, 1999). La parte sur de la Isla de Coahuila coincide con la Megacizalla Mojave-Sonora, aunque de esta estructura sus direcciones han sido inferidas por cortes diagonales, pues quedó cubierta por los depósitos cretácicos (Sedlock *et al.*, 1993.).

En el Bloque de Coahuila, durante el periodo paleozoico, se presentó metamorfismo de bajo grado, presentando foliación, estructuras sindeposicionales creadas por deslizamiento, aunque también se presentan estructuras por tectonismo contemporáneo como sinclinales, cerca de Puerto Sardinias o en el flanco del Cerro La Difunta, en el norte de Sierra Las Delicias. Aunque estas ondulaciones también pudieron ser por los dos procesos; la actividad del Arco Las Delicias y a la intrusión de plutones Permo-Triásicos (McKee *et al.*, 1999). La actividad volcánica del arco que originó Las Delicias, continuo, se interpreta, hasta el Guadalupano, en ese lapso el magma siguió evolucionando, el resultado de estos

procesos se delimita como un terreno tectono-estratigráfico denominado Coahuiltecano por Sedlock (1993) (Figura III.16).

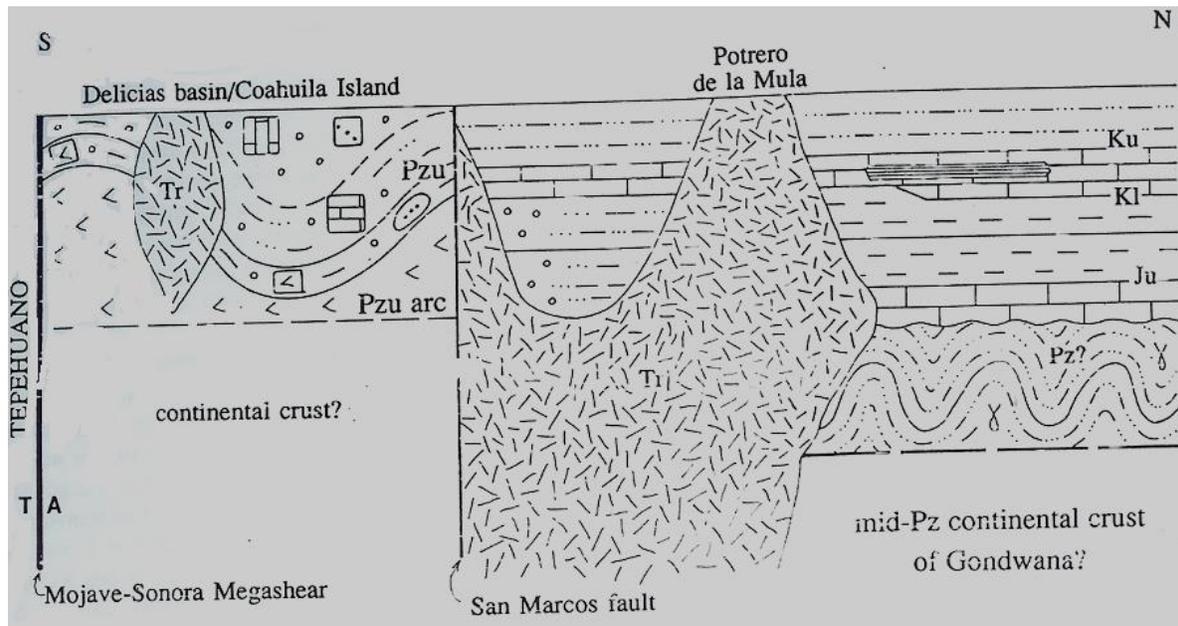


Figura III.16.- Terreno Coahuiltecano; muestra al Sur el Bloque de Coahuila con la formación Las Delicias y los plutones Permo-Triásicos, al norte las capas Jurásicas y Cretácicas (Tomado de Sedlock *et al.*, 1993)

III.5.c.2.- Jurásico

El bloque o Isla de Coahuila fue expuesto posteriormente del Jurásico tardío al Aptiano temprano, debido a cambios tectónicos, funcionando como un alto estructural, en parte por la Falla de San Marcos, el levantamiento del bloque de Coahuila provocó erosión de los materiales que previamente estaban depositados sobre este bloque, que corresponde a la Formación Las Delicias, esta erosión tuvo un depósito con dirección generalmente hacia el Noreste. Cabe destacar que sus grosores no son propiamente homogéneos y que bordearon al bloque, no solo en su flanco norte, sino en derredor. La Isla de La Mula con dataciones 242+-2M.a, también funcionó como alto estructural, al ser una fuente de sedimentos y fue bordeada por sus depósitos de clastos de la misma forma que el Bloque de Coahuila; estos depósitos que bordearon estos altos estructurales durante el tithoniano también tuvieron influencia de ambiente marino posteriormente (Jones *et al.*, 1984, McKee *et al.*, 1984, Padilla y Sánchez, 1986). La falla de San Marcos fue nombrada así por Charleston en 1981, entre los argumentos que favorecen su presencia es que la Cuenca de Sabinas y el Bloque

de Coahuila tienen un estilo de plegamiento diferente, de acuerdo con Padilla y Sánchez la falla tiene un rumbo N67°W. Ellos anteriormente la habían llamado “lineamiento Sierra Mojada-China”, en 1982 (Chávez- Cabello *et al.*, 2005; McKee *et al.*, 1984; Padilla y Sánchez, 1986) (**Figura III.17**).

La actividad de la falla de San Marcos ha tenido distintas etapas de actividad, que van desde el Jurásico tardío hasta el Plioceno y en el Cuaternario, teniendo un rumbo constante NW-SE, con un echado el NNE, Chávez-Cabello (2005) propone cuatro estilos de activación siendo:

Primera etapa.- Falla normal en el Neocomiano.

Segunda etapa.- Falla inversa durante el Paleógeno, con fallas menores asociadas, asociadas a plegamiento *drape* y transporte tectónico al SW, con levantamiento de rocas antiguas al NE del Valle de San Marcos.

Tercera etapa.- Falla lateral izquierda del Mioceno tardío al Plioceno temprano.

Cuarta etapa: Falla normal del Plioceno Cuaternario, aunque esta última no afectó mucho la secuencia litológica.

Como se mencionó anteriormente, la falla separa distintos elementos de plegamiento, entre otras evidencias se encuentra la estratigráfica, pues existe una cuña de sedimentos con dirección al norte y la actividad ígnea basáltica.

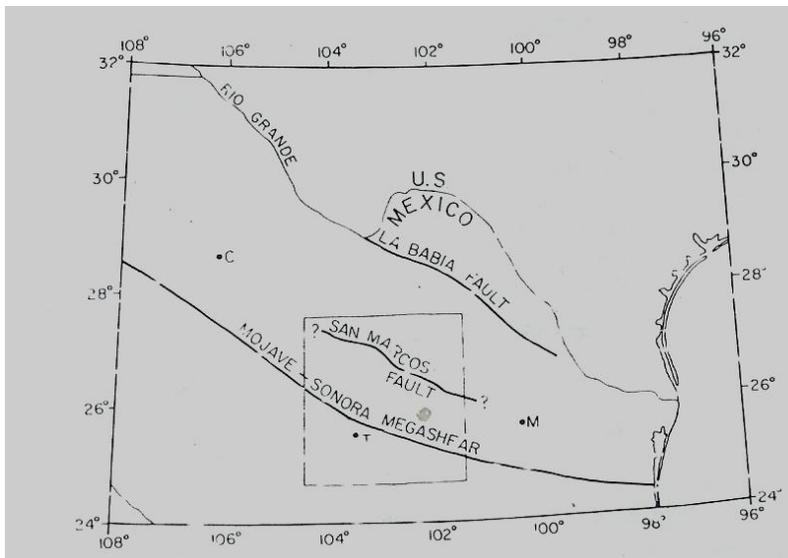


Figura III.17.- Ubicación actual de la falla de San Marcos, en la parte central de lo que actualmente es el estado de Coahuila, encontrándose en su parte meridional una estructura mayor correspondiente a la Megacizalla Mojave-Sonora (Tomado de McKee *et al.*, 1990).

El inicio de la actividad fue previo al Tithoniano, a finales del Jurásico, afectando la estratigrafía generando una cuña de sedimentos hacia el Norte, éstos originaron unidades litoestratigráficas informales, siendo las primera de ellas Las Palomas, seguida de la unidad Sierra El Granizo y después Tanque Cuatro Palmas, después un período de inactividad (McKee *et al.*, 1990, 1999). La cuña de sedimentos ya mencionada, es el principal argumento que ayuda a la interpretación del inicio de la falla, pues no hay muchas rocas permo-triásicas que den indicadores cinemáticos de la falla. Los granitos permo-triásicos que vienen de Las Delicias, durante este período funcionaron como altos estructurales derivados del escarpe durante el inicio de esta falla, pues se encuentran bloques que probablemente fueron transportados en el inicio de la falla, posteriormente durante el Neocomiano, esta falla activa con componente normal depositaría a la formación San Marcos, que también corresponde a la cuña de sedimentos mencionada, esta formación también cubrió parcialmente la Isla de la Mula (Chávez-Cabello *et al.*, 2005; Jones *et al.*, 1984; McKee *et al.*, 1990) **(Figura III.18)**.

Dentro de los depósitos de conglomerados del Jurásico, aflorando en el valle de San Marcos se desprenden unidades informales, siendo, de la más antigua a la más joven, la capa Las Palomas, que consta de dos clases de conglomerados que su origen está ligado a flujos de detritos. Apoyando la presencia de la Falla de San Marcos es que estos granos se van volviendo más gruesos hacia el suroeste y finos al noreste; estas capas Jurásicas son producto de la falla (McKee *et al.*, 1984, 1990) **(Figura III.19)**.

Ascendiendo estratigráficamente, se encuentra la capa Sierra Granizo, con 500 m de espesor, su origen también ligado a flujos de detritos de material ígneo, el tamaño de los granos decrece hacia arriba. Posteriormente, el Tanque Cuatro Palmas de granos finos de lutita y limolita calcárea; presenta contenido fósil en su afloramiento de la loma El Cuvado, esta capa tiene un contacto transicional con la parte inferior de la Formación San Marcos del Cretácico (McKee *et al.*, 1990).

Finales del Jurásico, inicios del Cretácico

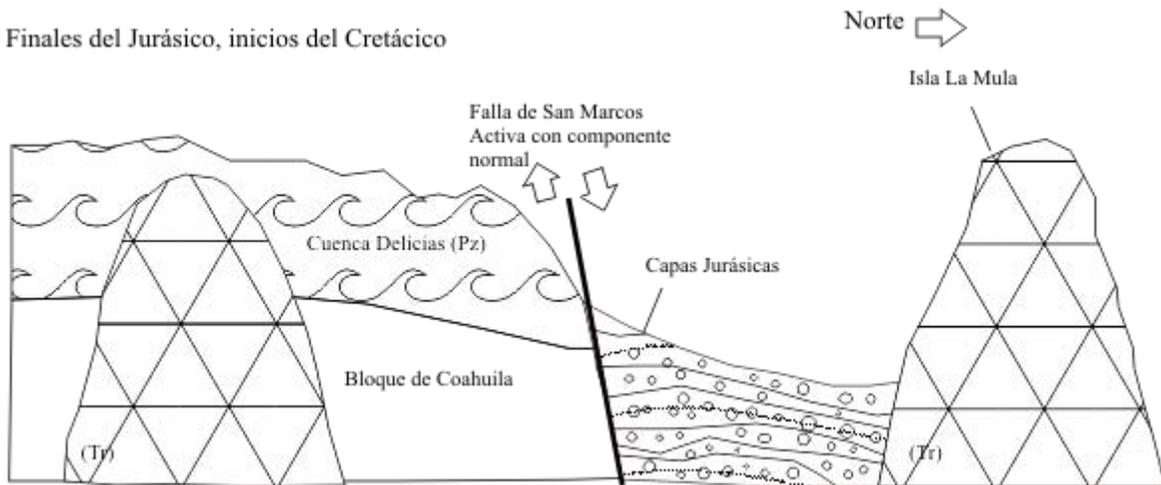


Figura III.18.- Perfil del depósito de las capas Jurásicas, muestra los sedimentos del Jurásico e inicio del Cretácico, que son los argumentos que favorecen la presencia de la Falla de San Marcos, pues originó un alto estructural que pasó a ser fuente de material (Modificado de McKee *et al.*, 1990).

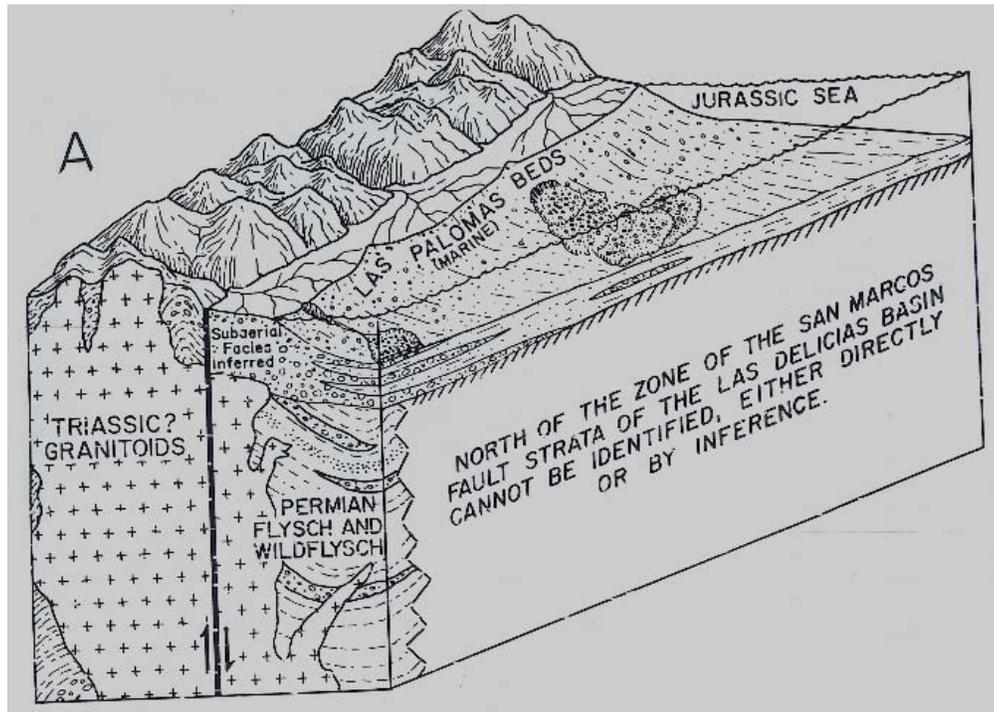


Figura III.19.- Inicio de la Falla de San Marcos, donde su actividad generó distintas facies (Tomado de McKee *et al.*, 1990).

Las unidades litoestratigráficas mencionadas, principalmente afloran en el SW del Valle de San Marcos, dentro del área de estudio, aunque también las capas jurásicas afloran en el extremo SW de Sierra la Fragua; en Potrero Colorado se encuentra la capa Tanque Cuatro

Palmas, esta unidad de limolita y arenisca fue afectada por fallas normales con orientación NW-SE con componente derecha, fallas laterales que con cinemática izquierda, y en mayor medida fallas laterales derechas, tiene indicadores cinemáticas, tales como escalones de falla y fracturas. Esta capa es interpretada, como una regresión menor, que provocó un ambiente fluvial y, con ellos, los depósitos de arenisca de un ambiente fluvial, se podrían clasificar como lechos rojos; otra distinción es que presenta licuefacción por la presencia de agua, posteriormente cubiertas por los depósitos eólicos del Jurásico, capa Colorado. Siguiendo una secuencia en donde primero fue el fallamiento normal con componente derecha, litificación y después fallas laterales derechas (Chávez-Cabello *et al.*, 2005). Encima de Tanque Cuatro Palmas se encuentra, en Potrero Colorado, otra capa llamada Colorado que corresponde a eolianita (Chávez-Cabello *et al.*, 2005; McKee *et al.*, 1984, 1990).

III.5.c.3.- Cretácico

Después del depósito de estas capas jurásicas, llegaron los depósitos cretácicos, iniciando con la Formación San Marcos, que presenta características similares a las capas jurásicas antes mencionadas, pues sus granos se van volviendo más finos hacia el noreste y arriba en sentido estratigráfico y gruesos hacia el suroeste y abajo en sentido estratigráfico. Su constitución litológica es a base de granos de cuarzo, de rocas ígneas volcánicas y plutónicas; estos granos tienen como cementante hematita y, por ello, el color rojo de esta formación, que en su parte superior tiene contacto con la Formación Cupido, que es transicional (McKee *et al.*, 1990).

En el Neocomiano la falla, cuya actividad ya no era tan evidente, seguía con un componente normal, asociado a un ajuste isostático; provocó sedimentación de la Formación San Marcos que corresponde a un ambiente fluvial; esta formación fue afectada por fallas normales, pues estas fallas no alteran las formaciones que la sobreyacen, relacionando la edad de San Marcos con las fallas que lo afectan, esta actividad se extendió hasta mediados del Neocomiano (Chávez-Cabello *et al.*, 2005, McKee *et al.*, 1990). En base de la Sierra San Marcos y Pinos, en su ladera Sur, está la Formación San Marcos con

una extensión de 50 km sobre esta base y un grosor de 1,000 m, teniendo un contacto concordante en la parte de arriba con la Formación Cupido (McKee *et al.*, 1984).

La formación San Marcos, en parte, bordeó a la Isla de La Mula, cubriéndola parcialmente, siendo depositada simultáneamente con las formaciones que cubren la Isla de la Mula, agregando que recibieron la misma fuente de material. Durante esta Era, comenzaron los depósitos de carbonatos, que vinieron acompañados de una evolución, siendo de un período del Hauteriviano al Aptiano temprano, inicialmente hubo intemperismo en la Isla de la Mula por un ambiente lagunar con depósitos, que dieron origen a la Formación Padilla. Después del depósito de la Formación Padilla, se dio lugar al sepultamiento de la Isla de la Mula por los depósitos de la Isla de Coahuila, que corresponden a la Formación La Mula, esta formación es progradante hacia el Norte y cubierta parcialmente por sedimentos de ambiente fluvial y de playa; sin embargo estos depósitos cubrieron más área, además de la Isla de la Mula (Jones *et al.*, 1984, McKee *et al.*, 1990; Padilla y Sánchez, 1986).

Después se depositó la Formación La Virgen, donde hubo influencia de las aguas marinas, mientras otros bloques, tales como la isla de Coahuila seguían funcionando como altos estructurales (Jones *et al.*, 1984, McKee *et al.*, 1990; Padilla y Sánchez, 1986) (**Figura III.20**).

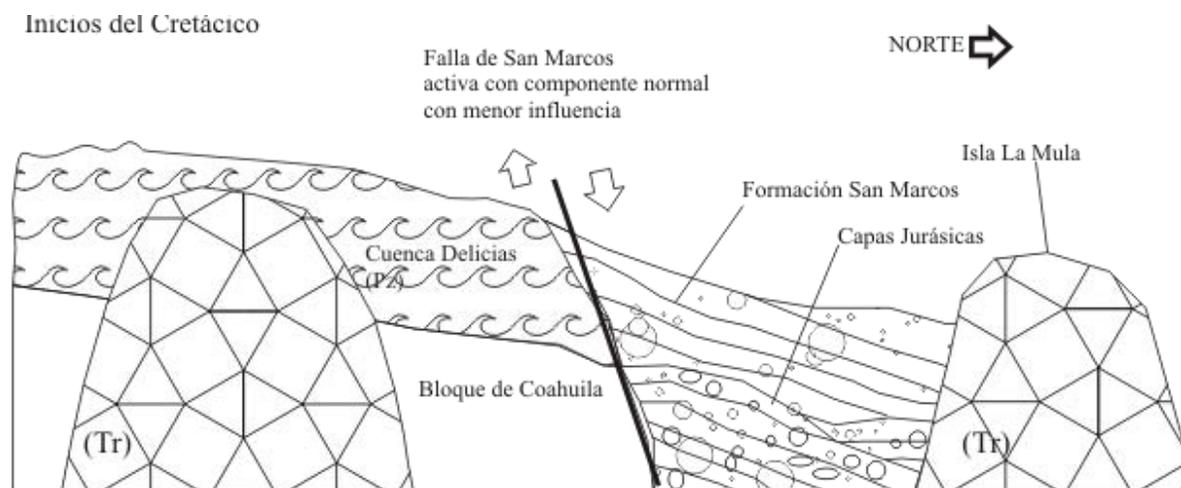


Figura III.20.- Perfil de inicios del cretácico en que se depositó la Formación San Marcos, la presencia de la Falla de San Marcos disminuye, siendo el último rastro de su instauración (Modificado de McKee *et al.*, 1990).

En este período, que abarcó del Barremiano al Aptiano, el Bloque o Isla de Coahuila, al ser emergente provocó un ambiente de alta energía, creando bancos de arena, en este lapso se favoreció el depósito de carbonatos y evaporitas por el ambiente que creó este ascenso (Lehmann *et al.*, 1999).

El depósito de los carbonatos de la Formación Cupido ocurrió a finales del Barremiano; la Formación Cupido tuvo influencia sobre el bloque de Coahuila poco antes del depósito de la formación Acatita, a finales del Aptiano (Jones *et al.*, 1984; Lehmann *et al.*, 1999; Morán-Zenteno *et al.*, 1976). Hacia arriba tiene contacto con las lutitas de la Formación La Peña, de finales del Aptiano. La Peña es una formación recesiva, siendo un registro retrogradacional de la plataforma, en donde las litofacies submareales indican un gradual ascenso, que alimentó a esta formación, la cual se encuentra expuesta, de manera más representativa, en la Cuenca de Sabinas o cinturón Plegado de Coahuila, específicamente dentro del área de estudio en la Sierra de San Marcos y Pinos, en su cara Sur. Existe una formación un poco más antigua de inicios del Aptiano, pero encima del Bloque o Isla de Coahuila y es la Formación Las Uvas, que se encuentra en la parte baja de la Formación Acatita, Las Uvas son areniscas ricas en carbonatos, se interpreta como una línea de costa transgresiva durante la inundación del Bloque de Coahuila, a finales del Aptiano (Lehmann *et al.*, 1999; Padilla y Sánchez, 1986) (**Figura III.21**).

Mediados del Cretácico Inferior

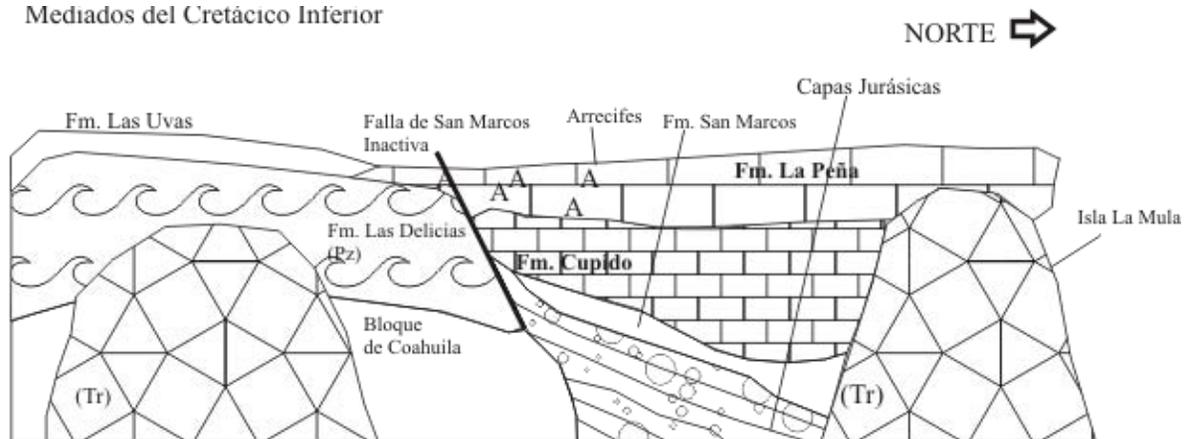


Figura III.21.- Con la estabilidad de la falla de San Marcos, inicia el depósito de secuencias cretácicas, la parte del bloque de Coahuila tuvo un ambiente de aguas restrictivas provocado por el bordeamiento de los arrecifes que favorecieron los depósitos de yeso que formarían Acatita posteriormente, encima de las Uvas (Modificado de McKee *et al.*, 1990).

Se destaca el hecho, de que en el Albiano temprano al Cenomaniano tardío, ocurre un cambio de arrecifes en los bordes de la Isla de Coahuila, estos arrecifes pasarían a ser posteriormente las calizas de la Formación Aurora (Lehmann *et al.*, 1999), fue un ambiente submareal somero; como estos arrecifes bordeaban la Isla de Coahuila, en la parte interior, encima del Bloque de Coahuila causó restricción de agua, en donde se dio precipitación y depósitos de yeso, estas evaporitas corresponden a la Formación Acatita; por su facies corresponden a un ambiente de aguas internas restrictivas; todo esto depositado en una laguna hipersalina, que cubrió a la Formación Las Uvas.

Después del depósito de la formación Acatita, a finales del Albiano el Bloque de Coahuila tuvo nuevamente la influencia del mar y se depositaron los carbonatos Cupidito-Viesca, que actualmente afloran al norte de Sierra la Fragua; los afloramientos de Acatita se encuentran en Sierra la Fragua, Sierra Acatita, Sierra Los Alamos y Sierra La Paila (Lehmann *et al.*, 1999; Padilla y Sánchez., 1986).

En el Turoniano, el agua marina cubrió gran parte del estado de Coahuila, lo que trajo un gran depósito de carbonatos, cubriendo las Islas de Coahuila y de La Mula, siguiendo a un período que fue del Cenomaniano al Santoniano, que ocurre un ligero cambio en el patrón de sedimentación, pues el ambiente pasó a ser de agua somera a ambiente de playa, que vino acompañado con el depósito de carbonatos y lutitas que quedan evidenciados con las formaciones Kiamichi, Grupo Washita y Formación Indidura (**Figura III.22**). Finalmente, en el periodo Campaniano al Maastrichtiano ocurre otro cambio de sedimentación, que trajo consigo depósitos clásticos del Oeste, por acción de un ambiente fluvial somero, siendo un argumento que favorece esto, son los depósitos de carbón (Padilla y Sánchez, 1986).

Los depósitos principalmente de carbonatos en derredor de estas dos islas corresponden a la Cuenca de Sabinas, fue definida por Humphrey (1956), también tiene el nombre de Cinturón Plegado de Coahuila (Charleston, 1981).

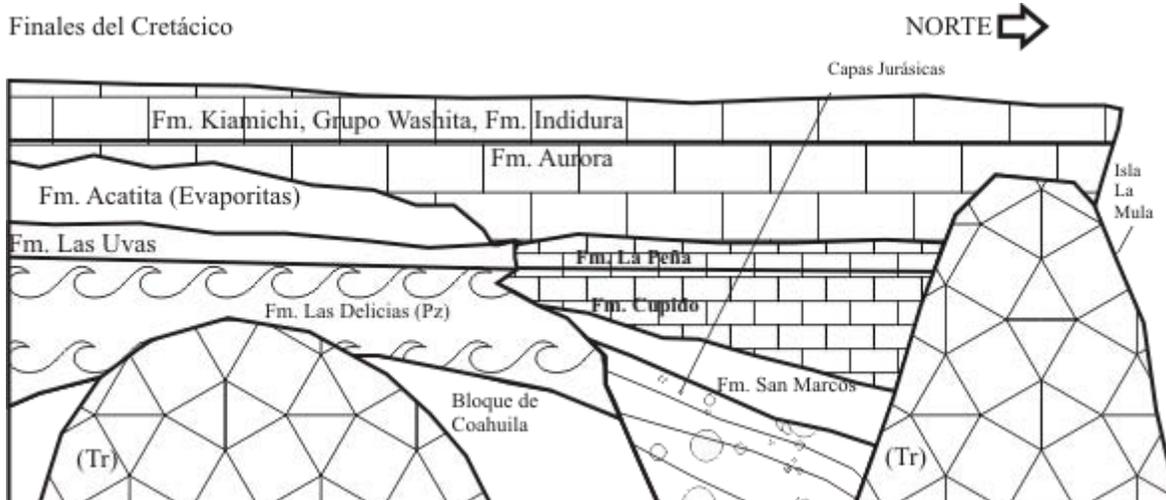


Figura III.22.- Secuencias depositadas a finales del cretácico (Modificado de McKee *et al.*, 1990).

Actualmente, forman estructuras largas y angostas, con una orientación NW-SE; su extensión ocupa casi todo el Estado de Coahuila; aunque es limitada por otros bloques similares a las Islas de Coahuila y de la Mula, al Norte esta cuenca es limitada por la Península de Burro-Peyotes y más precisamente por la Falla La Babia, que delimita la parte sur de este bloque, al Este se encuentra limitada por el archipiélago de Tamaulipas, al sur por la Isla de Coahuila y al Oeste por el canal de Chihuahua (Padilla y Sánchez, 1986) **(Figura III.23).**

III.5.c.4.- Cenozoico

Ocurre el evento Laramide, en que la Falla de San Marcos fue reactivada con componente inversa; este fallamiento inverso fue el que provocó plegamiento en la cuenca de Sabinas y en las Formaciones del Bloque de Coahuila; dando origen a pliegues con rumbos casi perpendiculares, en la Cuenca de Sabinas, generando el Cinturón Plegado de Coahuila (Charleston, 1981), que es un término más relacionable con la situación actual y, con ello, la Geomorfología.

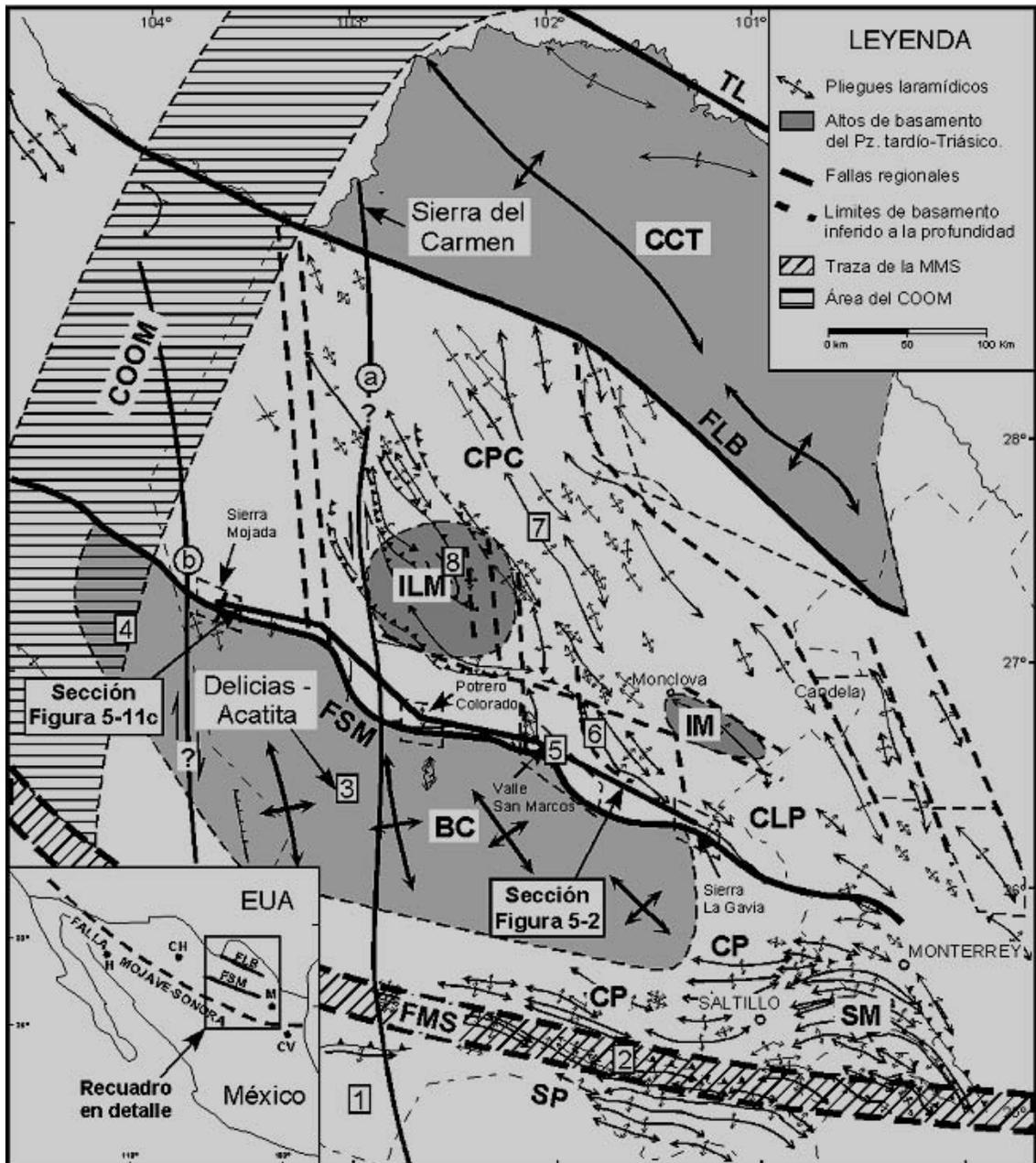


Figura III.23.- Configuración actual del NE de México, que muestra los lineamientos más representativos, como lo es la Falla De San Marcos. FSM: Falla de San Marcos; BC: Bloque de Coahuila, sus rasgos son sus pliegues de poca longitud y abiertos; ILM: Isla La Mula; CPC: Cinturón Plegado de Coahuila, sus rasgos son pliegues largos y angostos (Tomado de Chávez-Cabello, 2005).

Se generaron angostos anticlinales separados por valles sinclinales, los núcleos de estas estructuras fueron inyectados con sal; esto asociado al modelo de cuña crítica, en donde la parte central de Sierra Madre Oriental al tener yeso, favoreció primeramente el plegamiento y, posteriormente los cabalgamientos (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000). En el caso del

Cinturón Plegado de Coahuila algo distintivo son los “potreros” que son valles dentro de las Sierras compuestas por anticlinales (Charleston, 1981).

Este evento afectó los depósitos que sobreyacen al Bloque de Coahuila, definida por Charleston (1981) como la Plataforma de Coahuila La orogenia Laramide provocó, además del plegamiento, despegues en los sedimentos, debido a que las capas evaporíticas funcionaron como horizontes de despegue, con transporte tectónico al Noreste acompañado con cabalgamientos (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000). (Figura III.24).

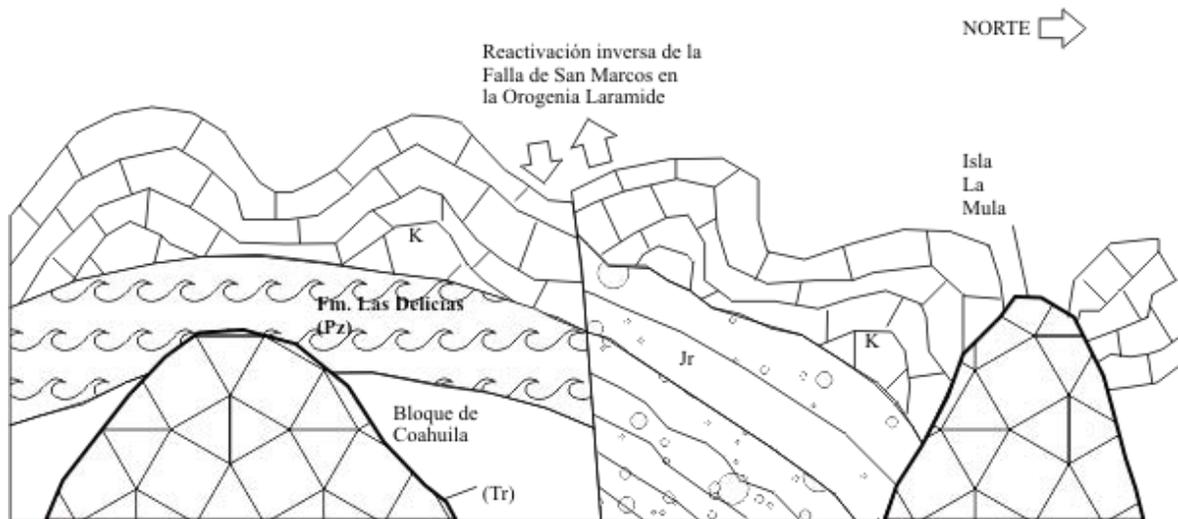


Figura III.24.- Con la reactivación de la Falla de San Marcos en el Laramide, de modo inversa, ocurrió plegamiento, principalmente de las secuencias cretácicas. Además de la alteración estratigráfica que puso en contacto lateral a los estratos cretácicos con los jurásicos (Modificado de McKee *et al.*, 1990).

La orogenia Laramide en el Valle de San Marcos, dio como resultado, que rocas de distintas edades estén unidas lateralmente, esto por efecto de las fallas con echado al Noreste; esta zona funciona como límite tectónico. Al Suroeste del Valle de San Marcos existen dos fallas secundarias, que apoyan que este valle fue levantado respecto al Bloque de Coahuila en el evento Laramide del Paleógeno, siendo los argumentos a favor, que se encuentran en contacto lateral los estratos jurásicos con los del Cretácico, estas fallas están compuestas de un rumbo WNW-ESE con un echado perpendicular al Noreste (Chávez-

Cabello *et al.*, 2005; McKee *et al.*, 1984). Los pliegues volcados y colgados es otro argumento para la actividad inversa de la falla en el Terciario (McKee *et al.*, 1984).

En la Sierra San Marcos y Pinos, en su parte Oeste, está la presencia de las fallas oblicuas a la estratificación, que ponen en contacto a la Formación San Marcos y Formación Aurora, este contacto es una zona de brecha de falla, con compresión máxima WNW (Chávez-Cabello *et al.*, 2005). (**Figura III.25**).

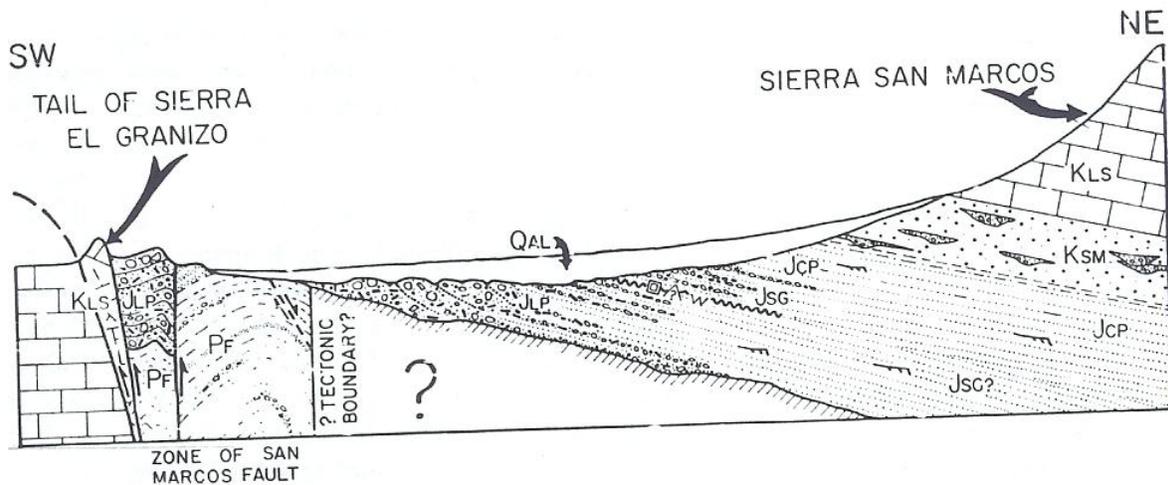


Figura III.25 .Este perfil en el Valle de Jabalí, muestra la alteración estratigráfica que provocó la Falla de San Marcos (Tomado de McKee *et al.*, 1990).

En la tercera etapa de Laramide en el Mioceno tardío, la Falla de San Marcos se extiende hasta Aldama en el Estado de Chihuahua, formó cuencas y sierras por compresión máxima Noroeste por fallas normales, pero con componente lateral izquierda; en este período la extensión lineal que alcanzó la Falla de San Marcos fue de aproximadamente 300 km en el rumbo N67°W (McKee *et al.*, 1984), teniendo presencia en el Cañón el Mimbres en Sierra la Fragua, con una zona de brecha de 200 m, cerca de la charnela del Anticlinal de esta Sierra, la falla tiene una orientación ESE-WNW. En Potrero Colorado es importante destacar la presencia de varias fallas, que fueron reactivadas en Laramide y corresponden a antiguas estructuras del basamento (**Figura III.26**). En la cuarta etapa, se dio un fallamiento normal en la Falla de San Marcos en el Plioceno-Cuaternario, su presencia influyó en el magmatismo, canalizándolo en las discontinuidades del basamento (Chávez-Cabello *et al.*, 2005).

Es importante sintetizar, que los Bloques o Islas de Coahuila y la Mula, junto con la Falla de San Marcos; influyeron en los patrones de sedimentación durante el Mesozoico. En el Paleógeno estas estructuras influyeron en la deformación del área central de Coahuila (Padilla y Sánchez, 1986). Entendiendo que la Falla de San Marcos tiene una papel muy fuerte en la historia de la zona, por su ascenso al sur, durante el jurásico, por el efecto de falla normal y de ascenso al norte durante el Terciario por el efecto de falla inversa (McKee *et al.*, 1984).



Figura III.26.- Afloramiento de las capas jurásicas (tonalidades naranjas) en la porción de Potrero Colorado al SW de Sierra La Fragua, imagen orientada, tomada de *Google Earth* (2011).

CAPÍTULO IV

METODOLOGIA

En el marco teórico se expusieron algunos de los enfoques que existen en la Geomorfología, dando una breve explicación de la cartografía geomorfológica y algunas propuestas para los levantamientos. En esta tesis se usó la propuesta del sistema ITC (Verstappen y Van Zuidan, 1991) como su adaptación por Tapia-Varela y López-Blanco (2002):

IV.1.- Primera fase: Obtención y recapitulación de la información

La elaboración de los mapas geomorfológicos va de la mano con la obtención de información, que cuente con el mejor detalle posible; en primera instancia, además de la delimitación del área de estudio, viene la recopilación de información bibliográfica y cartográfica, que facilitan la comprensión del área de estudio.

Aunque para esto fue importante tener claros los límites del área de estudio, por lo que se hace una delimitación previa, ésta se realizó con base en parámetros geomorfológicos, siendo el principal los límites de piedemontes y, consecuentemente, los lineamientos estructurales que atravesaban las sierras del área; simultáneamente se buscó que el área delimitada fuera representativa de una porción de la Sierra Madre Oriental para poder tener un contexto geológico más amplio y con ello un mejor entendimiento.

Dentro de la información cartográfica sobre la cual está basado el mapa de unidades morfogénicas, se buscó la que proporcionara el mayor detalle posible. El procesamiento de esta información gráfica, se llevó a cabo mediante un Sistema de Información Geográfica, siendo ILWIS 3.3 (2005), el usado para el tratamiento de la información cartográfica y en la elaboración del mapa de unidades morfogénicas, así como, el mapa de altitudes, pendientes, forma de la ladera y mapas geológicos.

En primera instancia, se hizo un reconocimiento del área, usando los Modelos Digitales de elevación gratuitos de INEGI, con resolución de 30 m, por lo que se hizo una delimitación

previa del área de estudio; conociendo los límites y extensión, así como el conocimiento de la zona, como son los poblados más cercanos, los nombres de las sierras, ríos y carreteras y otros rasgos geográficos para tener una mejor comprensión del área.

Teniendo este reconocimiento y límites, comenzó la recopilación de toda la información cartográfica posible, siendo la cartografía geológica, a escala 1:250,000 de INEGI y el Servicio Geológico Mexicano (SGM) y la cartografía topográfica, a escala 1:50,000 de INEGI, las más usadas, dando una simple noción de cómo está relacionada la situación geológica del lugar con la topografía. El mapa geológico de Bolaños-Rodríguez (2006), a escala 1:100,000, también fue un documento de apoyo en conocimiento del área de estudio.

La recopilación de información bibliográfica, se basó principalmente en documentos publicados, de manera que permitieran conocer la evolución de la región y con ello tener conocimiento del origen, distribución de la litología y la presencia y ubicación de otras estructuras geológicas como pliegues y fallas, además de que complementó por mucho la información que brindó la cartografía geológica, tanto de INEGI como la del SGM; la información consultada ofreció un panorama más actual, completo y preciso del área de estudio.

Siguiendo con la recopilación de información gráfica, se realizó un mosaico de ortofotos escala 1:75,000 de INEGI, mediante el Sistema de Información Geográfica ArcGis 9.3 en donde, siendo la fuente de información con más detalle y más cercana a la realidad, pues aunque el detalle que ofrece el servidor de INEGI es de aproximadamente 50 cm de resolución por pixel, pero por la extensión del área de estudio, se consideró que un tamaño de 3 m por pixel sería suficiente para la demarcación de las unidades. Siendo esta opción funcional, debido a la gran extensión del área, además de que la adquisición de fotos aéreas para la realización de estereoscopia es complicada, lenta e incosteable.

Mediante el programa ILWIS 3.3 se elaboró un Modelo Digital del Terreno (MDT); este modelo se encuentra en formato *raster*, que es definido como una imagen, en donde cada

pixel, además de tener una ubicación tanto en coordenadas geográficas como en UTM, tiene un valor definido en altitud; para la realización de esta información fue necesaria la adquisición de datos vectoriales, como son las curvas de nivel de INEGI, con un valor de equidistancia vertical de 20 m a escala 1:50,000. Seguido de este proceso, mediante el *software* mencionado, se le dio un tratamiento a estos archivos, que consistió en poner un sistema de proyección y una georeferencia, se realizó el proceso de interpolación, en donde a partir de las curvas de nivel se calculan los valores de altura que existen entre las curvas, pasando de un mapa de segmentos (curvas de nivel) a un mapa *raster* o de celdas (MDT).

El valor de 20 m por pixel al momento de hacer interpolación está determinado por el concepto del pixel óptimo; para explicarlo se toma en cuenta la escala de los archivos de vectores, como son las curvas de nivel a escala 1:50,000, se entiende que cada centímetro en el mapa equivale a cincuenta mil centímetros o quinientos metros en la realidad; el pixel óptimo es un valor que corresponde a la mitad de un milímetro en el mapa; siguiendo la idea de que centímetro a escala 1:50,000 vale 500 m, entonces un milímetro valdrá 50 m, y la mitad 25 m; pero es más recomendable trabajar con múltiplos simples y al buscar más detalle el valor queda en 20 m.

Para que este MDT brindara ayuda en la delimitación de unidades, se le aplicó el filtro SHADOW que da el efecto de iluminación desde una dirección determinada por el usuario; posteriormente se hace un acortamiento del contraste y el producto es un mapa de relieve sombreado donde el efecto de iluminación es desde el Noroeste.

Otra fuente de información cartográfica fueron las imágenes satelitales Landsat del sensor ETM+, cuya resolución espacial es de 30 m por pixel; se descargaron todas las bandas de la página web www.glc.f.umd.edu/index.shtml, posteriormente se les dio un tratamiento para que pudieran ser usadas al igual que los documentos ya mencionados.

Tabla IV.1.- Cartografía que se utilizó en la elaboración del área de estudio.

Nombre del mapa	Clave	Tema	Fuente	Escala	Año
Cerro de la Madera, Coahuila	G13-B48	Topografía	INEGI	1:50 000	2009
Cuatro Ciénegas, Coahuila	G13-B59	Topografía	INEGI	1:50 000	2006
El Venado, Coahuila	G14-A51	Topografía	INEGI	1:50 000	1974
La Victoria, Coahuila	G13-B49	Topografía	INEGI	1:50 000	1974
Lamadrid, Coahuila	G14-A41	Topografía	INEGI	1:50 000	1974
Reforma, Coahuila	G14-A61	Topografía	INEGI	1:50 000	1974
Rosario Viejo, Coahuila	G13-B58	Topografía	INEGI	1:50 000	1974
Tanque Nuevo, Coahuila	G13-B69	Topografía	INEGI	1:50 000	2010
Valle El Hundido, Coahuila	G13-B68	Topografía	INEGI	1:50 000	1974
Ocampo	G13-3	Geología	INEGI, SGM	1:250 000	2008
Tlahualillo	G13-6	Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas	Secretaría de Programación y Presupuesto	1:250 000	1981
Tlahualillo	G13-6	Carta Hidrológica de Aguas Superficiales	Secretaría de Programación y Presupuesto	1:250 000	1981
Tlahualilo de Zaragoza	G13-6	Geología	INEGI, SGM	1:250 000	2008
Nueva Rosita	G14-1	Geología	INEGI, SGM	1:250 000	2008
Mapa geológico del puerto de las sierras La Fragua, El Granizo y San Marcos-Pinos en la parte central de Coahuila.		Geología	Daniel Emiliano Bolaños Rodríguez	1:100 000	2006
Monclova	G14-4	Geología	INEGI, SGM	1:250 000	2008
Plano geológico de la Zona Cuatrociénegas, Coahuila.		Geología	IMTA		2004

En la **Tabla IV.1**, se encuentran Los datos de la información cartográfica recopilada y sintetizada, mostrando los nombres de los mapas y las cartas, su clave, su temática, escala y el año en que se imprimió.

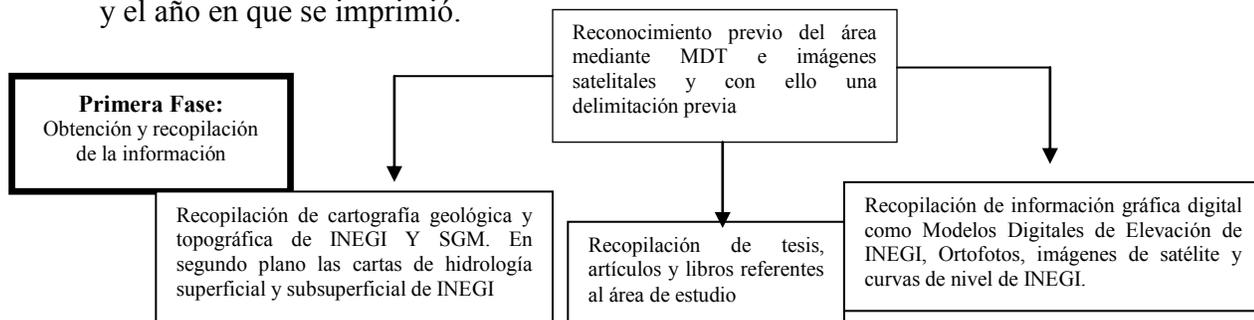


Figura IV.1.- Representación de la metodología de la primera fase de trabajo.

IV.2.- Segunda fase: Análisis y síntesis de la información

Una vez realizado el mosaico de ortofotos de INEGI, a escala 1:75,000, las curvas digitalizadas de INEGI a escala 1:50,000 y el MDT de 20 m por pixel; las curvas de nivel se superpusieron sobre el mosaico de ortofotos, de tal forma, que se usó el detalle del mosaico con el efecto de relieve de las curvas de nivel. Esta parte de la metodología fue de gran utilidad para conseguir un detalle en la delimitación de las unidades morfogenéticas, pudiendo hacer fotointerpretación con la carencia de pares estereoscópicos. En el tratamiento de estas imágenes (mosaico, MDT, imágenes Landsat) siempre se cuidó que la proyección cartográfica UTM (zona 13, Elipsoide GRS80 y el Datum NAD 83, fueran los mismos para todos los documentos aunque la fuente fuera de INEGI, en algunos casos, de este modo se evitarían desplazamientos o incongruencias en los trazos, por pequeñas que pudieran ser. La combinación de estos documentos sumando las imágenes satelitales brindó suficiente detalle el reconocimiento y la delimitación de las unidades geomorfológicas, siendo el sistema de información geográfica ILWIS 3.3, la principal herramienta mediante la cual se hizo la delimitación de las unidades geomorfológicas morfogenéticas, a través del procedimiento de digitalización en pantalla.

En cuanto al trazado de las unidades geomorfológico-morfogenéticas, su delimitación está fundamentada en el “criterio de homogeneidad relativa” donde se busca una fragmentación del relieve enfocada en la geometría de las formas, existen otros parámetros que fueron útiles para la delimitación, como son las rupturas o cambios bruscos de pendiente representados por escarpes y dorsos u hombros de ladera; tamaño, que permite de manera simple diferenciar estructuras como bien pueden ser los lomeríos; tonos, debido a que en las ortofotos e imágenes satelitales los piedemontes tienen tonalidades oscuras y claras por diferencias en las propiedades de los materiales que lo conforman, en ciertos conjuntos montañosos también se consideraban las diferencias de tonos; patrones y densidad de drenaje, pues se observaron rasgos lineales como son ríos y escarpes que varían en tamaño, orientación, longitud y concentración, que delimitaban áreas de cierta homogeneidad

relativa; las texturas también permitieran definir áreas de homogeneidad dependiendo que tan lisas o rugosas eran.

De igual modo, hubo grandes rasgos lineales que cruzaban las sierras; estos criterios ayudaron a delimitar los grandes sistemas morfogénéticos; otros parámetros, aunque no propiamente geomorfológicos, pero que fueron de utilidad fueron el uso de suelo y la cobertura vegetal, para la delimitación de unidades. La delimitación de las unidades se ayuda en gran parte por el conocimiento geológico que ya se obtuvo del área, la primera delimitación de unidades morfogénéticas se basó en los principales tipos de relieve mencionados por Lugo-Hubp (1986), que son las laderas de montaña, lomeríos, piedemontes y planicies, estos principales tipos de relieve se fueron fragmentando posteriormente, hasta llegar al mayor detalle que permitió la información antecedente.

Entre los criterios más representativos de las formas básicas del relieve, se encuentran las del tipo de las laderas de montaña, que como característica principal, es que su altura relativa es mayor a los 200 m respecto al nivel de base más cercano; en cambio los lomeríos tienen altura menor a los 200 m.

Los piedemontes tienen la característica de estar rodeando a las laderas montañosas y que su pendiente se vuelve suave hacia las planicies de nivel de base, presentando un valor promedio de 2° , presentan tonalidades diferentes a las laderas de montaña y las planicies, además de poca inclinación, en cuanto a su geometría es común la presencia de áreas ápice de aporte de material, agregando a esto sus geometrías semicirculares en sus partes bajas.

Las planicies son unidades de fácil detección, en primera instancia, porque son las más homogéneas al no tener muchos cambios altitudinales; aunque su delimitación, fue compleja pues existe una cierta transición con los piedemontes, otra de sus propiedades es que el uso de suelo agrícola era común en algunas zonas. Hubo casos en que había zonas planas, que no eran propiamente planicies por ciertas irregularidades y algunos piedemontes que no se encontraban bien definidos, el MDT y las ortofotos de INEGI no

daban suficiente detalle para hacer la fotointerpretación; por lo que la cartografía geológica y de suelos dio cierto grado de información; pero para fotointerpretación, se usaron las imágenes satelitales Landsat, se consiguieron todas las bandas y, posteriormente, de un tratamiento se realizaron compuestos RGB como el 731 que resalta y discrimina los distintos tipos de roca y, con ello, los materiales que en el caso de las planicies presentan varios orígenes, el tamaño de pixel dio suficiente detalle para hacer delimitaciones. Aunque se usaron otros compuestos RGB que de igual modo fueron base para la delimitación, ejemplos de esto son el 754 que resalta la humedad en el suelo y el 457 que resalta la presencia de Yeso. Cabe aclarar que estos compuestos, en ocasiones pueden generalizar varios objetos con un color similar, por lo que nuevamente se consideró la información antecedente.

Además de los criterios antes mencionados, la elaboración de algunos mapas apoyó al trazado de las unidades; estos mapas entran dentro de los aspectos morfométricos del relieve. Siendo los siguientes:

Mapa altimétrico: se realiza un dominio en el que se expresan los intervalos de altitud, desde el mínimo valor hasta el máximo, para que después sea cruzado con el MDT y se obtenga el mapa. Se realizó con 23 intervalos de altitud con valores de 100 metros (**Figura IV.2**).

Mapa de pendientes: Establece como son las inclinaciones del terreno mediante valores en grados; este mapa se elabora aplicando los filtros DFDX y DFDY al MDT; se obtienen las diferencias en altitudinales en un mapa *raster* en sentido de las X y Y, generando un mapa para cada filtro. Sucesivamente, se hizo una operación para calcular los valores de la pendiente en porcentaje; al archivo generado de esta operación se le aplica otra operación, en la que se obtiene un mapa de pendientes en grados. Finalmente a este archivo se le aplica un dominio para que se expresen los intervalos que se desean apreciar, con ocho intervalos que van de los 0° hasta los 84°, se trazaron las rupturas de pendiente que fueron límites de unidades, siendo la delimitación de esos rasgos el mejor apoyo que brindó ese mapa (**Figura IV.3**).

MAPA ALTIMÉTRICO

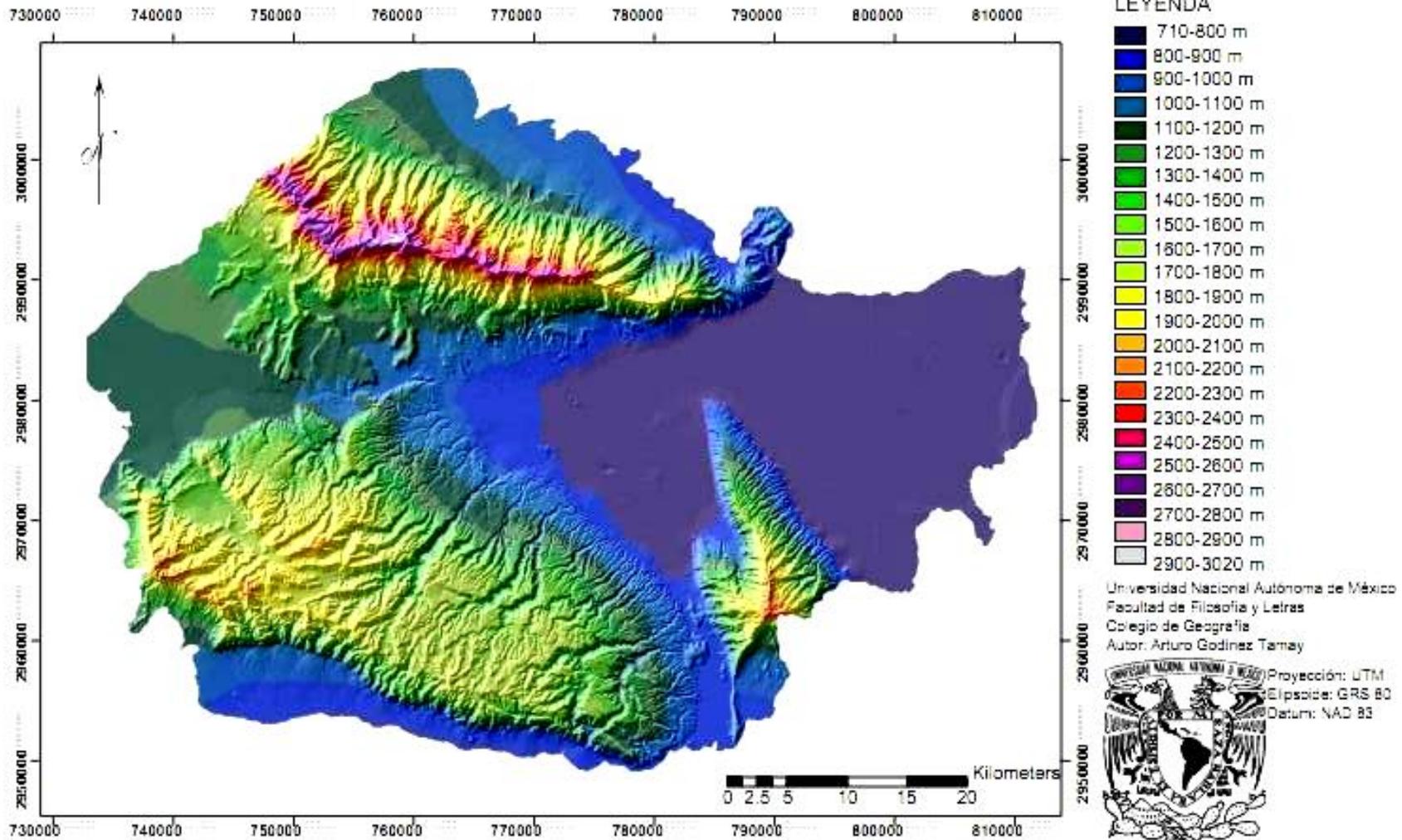


Figura IV.2. En este mapa se aprecian los 23 intervalos de altura, destacando que Sierra La Madera es la más alta y la que presenta también valores mínimos; seguida de Sierra San Marcos y Pinos y Sierra La Fragua

MAPA DE PENDIENTES

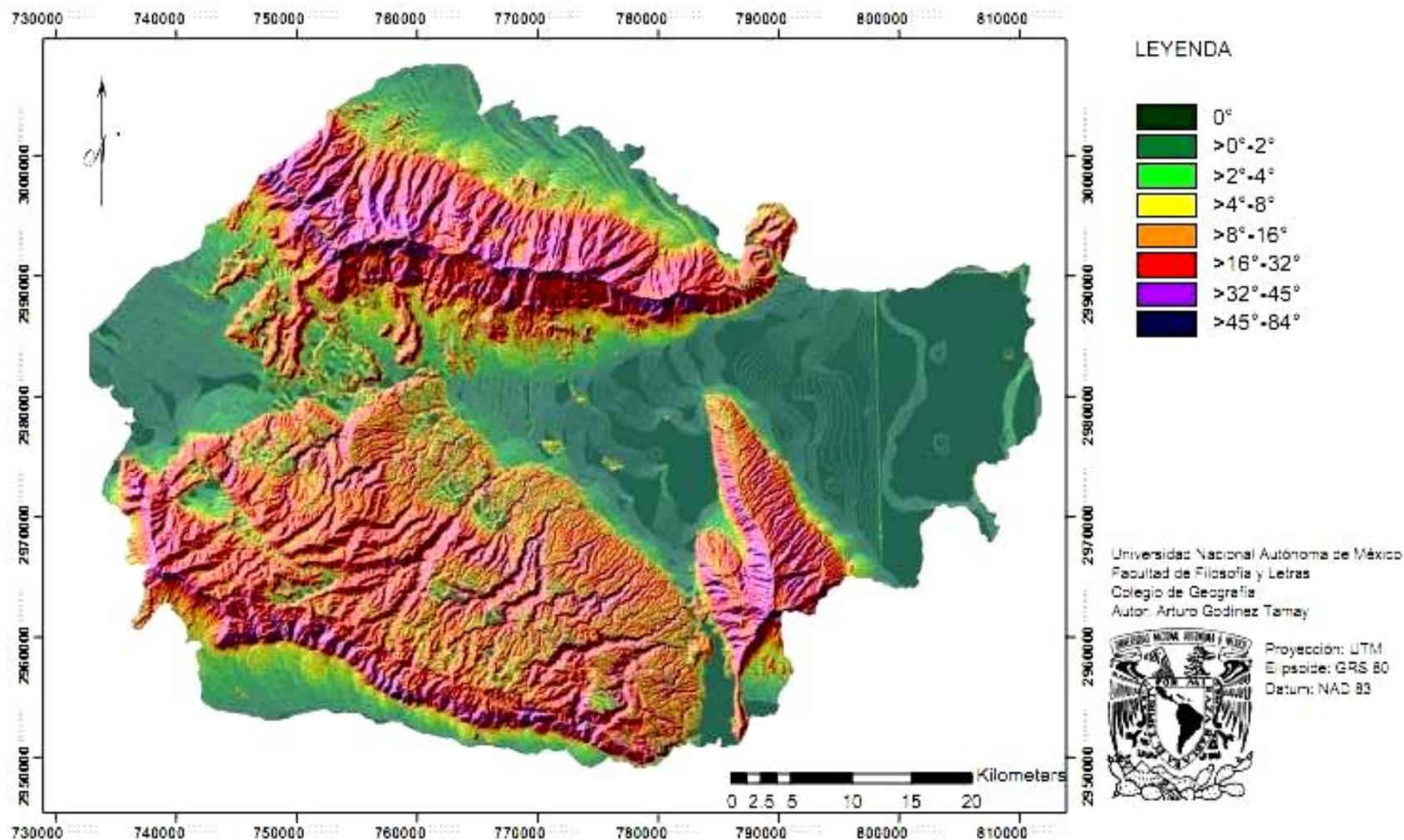


Figura IV.3. Los valores de mayor inclinación en el relieve los encontramos en Sierra La Madera (Norte) mientras que para las demás Sierras se encuentran limitados en los cañones y barrancos; Sierra La Fragua tiene los valores más suaves en comparación con los demás sistemas montañosos.

Mapa de forma de ladera: se basa en la aplicación del filtro D2FDXDY al MDT, con el que se calcula la segunda derivada, en todas las direcciones diagonales, utilizando un determinante de 5X5 (filas, columnas), en el mapa resultante, los valores positivos significan que el terreno tiene una forma cóncava, y los valores negativos, una forma convexa. Con ello obtuvo un mapa donde ya se tiene la caracterización de la forma de las laderas en tres categorías, que son de forma cóncava, convexa y recta, en base a estos aspectos todas las laderas son clasificadas, lo que complementa la información que provee el mapa de pendientes; las superficies con los atributos mencionados resaltan diferencias en laderas; las unidades que eran de difícil trazado con las ortofotos y el MDT, fueron verificadas con este mapa, pues algunas unidades coincidieron con laderas que eran cóncavas, otras con laderas convexas y otras con laderas rectas (**Figura IV.4**).

Una vez delimitadas las unidades morfogénicas, fueron reagrupadas considerando los límites de las morfoestructuras principales, con ello, se obtuvieron los sistemas morfogénicos (SM). Los cuales representan una regionalización de toda el área de estudio pero su delimitación se hizo en base a las unidades ya trazadas, siguiendo en primera instancia los rasgos lineales estructurales más importantes dentro de las sierras, la similitud de las unidades fue otro apoyo para llegar a una generalización y obtención de los SM y que presentarán una homogeneidad morfológica a gran extensión.

El uso de estos sistemas morfogénicos posteriormente fue para la descripción de las clases y tipos de relieve. Otro mapa que se obtuvo es el de microbloques, donde se fragmentó el área en base a las unidades ya trazadas, se basan en una fragmentación de los sistemas pero el criterio que las enmarca principalmente son los rasgos lineales estructurales. Hasta esta etapa del trabajo estos mapas son segmentos, es decir que las delimitaciones solamente son líneas y no tienen una clasificación visible. Terminados los segmentos se hizo una poligonización de los tres mapas que se usaron, donde para cada uno, se utilizó un dominio que tendría las etiquetas que clasifican a los polígonos.

Posteriormente, se realizó una visita a campo, para que se verificaran las características de las unidades morfogénicas y responder algunas dudas con respecto a los límites de dichas

unidades. Entre los principales puntos de interés recorridos en esa salida de campo fueron aquellos en los que no había claridad de sus características geomorfológicas en la información cartográfica y fotográfica utilizada, pues había algunas dudas que con la información recopilada no era suficiente, además de ayudar a fotografiar zonas de interés dentro de las tres sierras, para reforzar el trabajo de gabinete y los capítulos de Geología y Geomorfología.

Entre los principales lugares para verificar fueron aquellos que no estuvieran registrados en la cartografía geológica como es el caso del flujo al Suroeste de Sierra La Madera, siendo descritos, cartografiados y posteriormente se analizó esta información; igualmente los rumbos y echados de la estratigrafía y fracturas en Sierra La Madera.

Con ello se obtuvo un modelo sencillo para entender la configuración estructural de esta sierra que está expuesto en el capítulo de marco geográfico. Esta fase queda representada en la **Figura IV.5**.

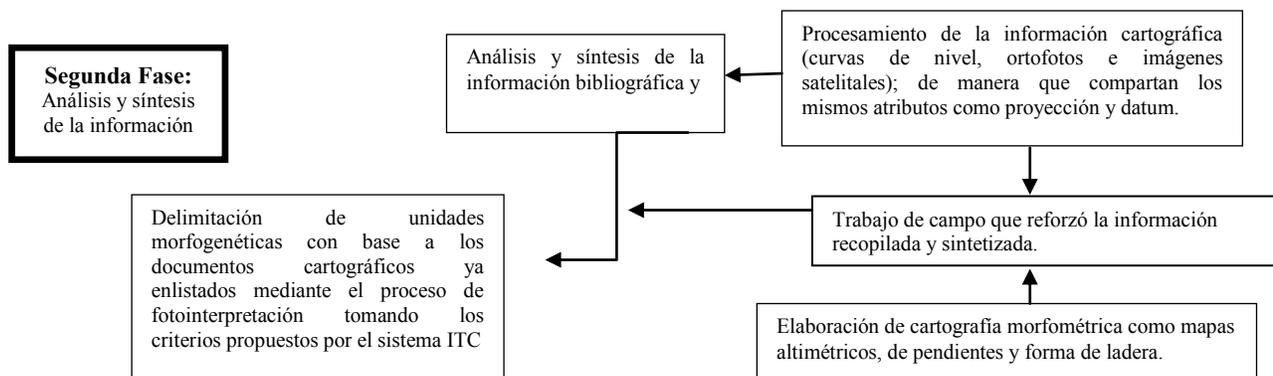


Figura IV.5.- Recapitulación y representación de la metodología de la segunda fase de trabajo.

MAPA DE FORMA DE LADERA

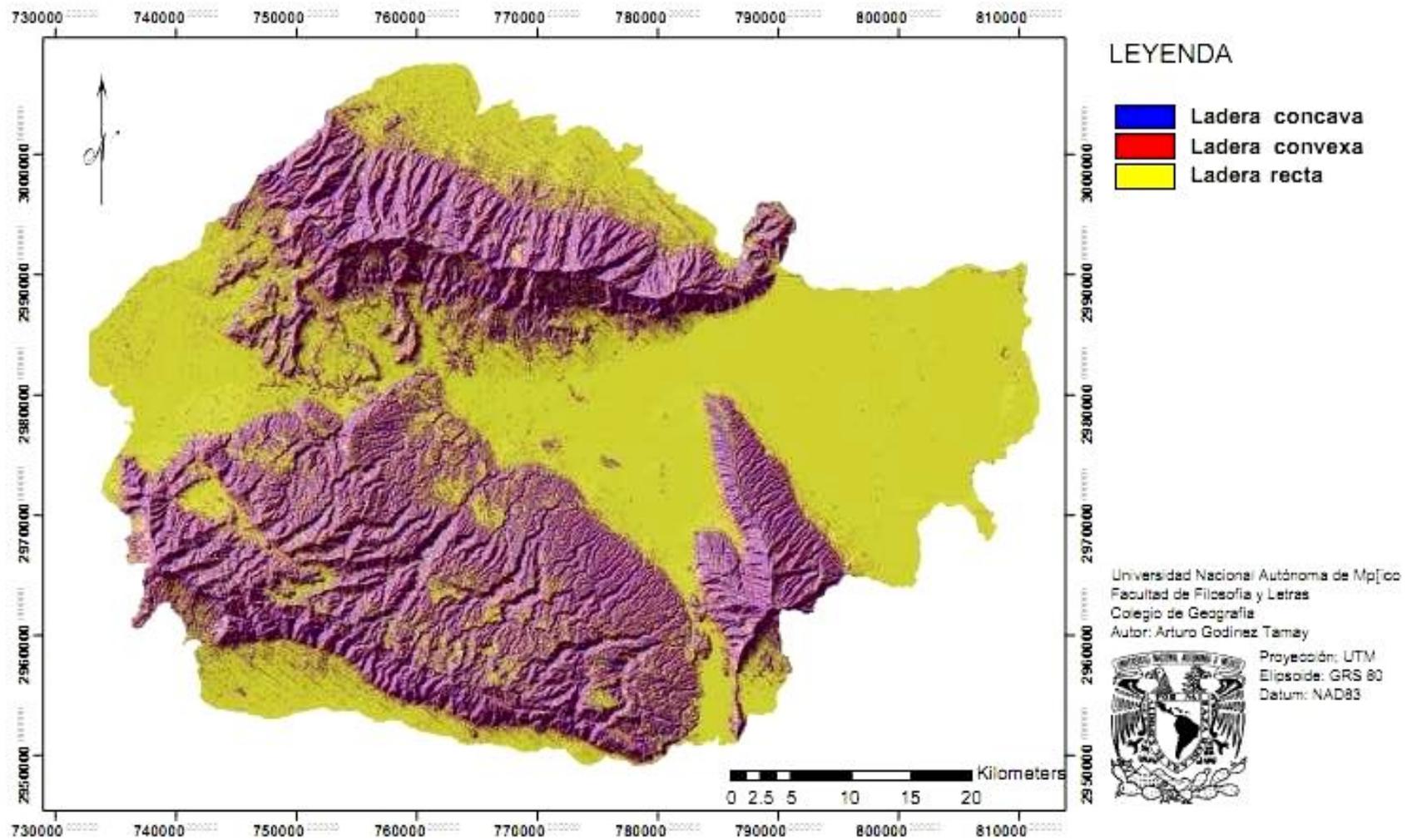


Figura IV.4 Para este caso, a simple vista no se aprecian grandes contrastes; aunque este mapa delimita los valles como superficies concavas y las crestas como convexas

IV.3.- Tercera fase: Obtención y caracterización de los mapas, su descripción y análisis

El mapa de unidades morfogénicas es el que implicó más detalle, debido a que se necesitan más clases; mientras que para el mapa de sistemas y microbloques sólo se requirió una clasificación más general, por tener una mayor jerarquía anidada. La identificación de los polígonos de las unidades morfogénicas se realizó a partir de una leyenda previamente establecida que está cimentada, primeramente del origen general y específico del relieve.

Posteriormente se aplicaron dos criterios para caracterizar a las unidades morfogénicas; siendo estos el de *altura relativa* y el de *posición topográfica*. El criterio de altura relativa, se utilizó para lograr obtener una fragmentación de los tipos de relieve con base en diferenciar las laderas de montaña y lomeríos, aunado a esto adquirir intervalos altitudinales dentro de las laderas de montaña y los lomeríos, para obtener intervalos en la elaboración de estos criterios, primero fue necesaria la fragmentación en microbloques, de toda el área de estudio, siendo sus límites, al igual que en los sistemas morfogénicos, las unidades previamente trazadas; obteniendo en total 94.

Posteriormente, de cada uno de los microbloques, se obtuvo su altitud máxima y fue comparada con la altitud de su nivel de base más cercano, teniendo esta diferencia (altura relativa) de todos los microbloques se realizaron intervalos que para este trabajo determinarían clases de relieve, para este caso se organizaron como se ve en la tabla (**Tabla IV.2**)

Tabla IV.2.- Intervalos de altura relativa para diferenciar laderas de montaña de lomeríos.

Tipo de relieve	Intervalos de altura relativa en metros
Laderas de montaña alta	900 m -1900 m sobre el nivel de base más cercano
Laderas de montaña baja	200 m-900 m sobre el nivel de base más cercano
Lomeríos	0 m-200 m sobre el nivel de base más cercano

Consecutivamente, cada microbloque fue clasificado, según su altura relativa en los tipos de relieve antes mencionados; por lo que todas las unidades (montañosas) que estuviesen dentro de ese microbloque tendrían ese valor de altura relativa. El mapa, que muestra cómo es la clasificación y ubicación de los microbloques de acuerdo con su altura relativa se encuentra en la **Figura IV.6.**

A continuación, fue usado el criterio de *posición topográfica*, una vez que los microbloques ya tenían una caracterización por altura relativa (alto y bajo); los microbloques se fragmentaron de acuerdo con niveles topográficos (superior, medio e inferior), dicho de otra forma los intervalos altimétricos ya no son cuantitativos, pues no se toman en cuenta valores, solo se toma en cuenta que partes del microbloque muestran más altura o menos altura, aclarando que esta segunda clasificación está ligada a la percepción (siendo cualitativa); delimitando para este trabajo tres pisos topográficos *en donde su nomenclatura por posición topográfica va después de la nomenclatura por altura relativa*; por posición topográfica las unidades quedan expuestas como lo muestra la **Tabla IV.3.** Es obvio que se pueden encontrar mayor o menor cantidad de pisos topográficos, o bien no encontrar ninguna ruptura de pendiente apreciable que permitiera dividirla en pisos, en estos casos se determinó que fueran “no diferenciadas”.

Tabla IV.3.- Diferenciación de las laderas de montaña por posición topográfica, siendo una clasificación cualitativa basada en la percepción de la altura.

Tipo/Posición topográfica	Posición de la porción de la ladera
Laderas superiores	Porción superior de la ladera delimitada por la primer ruptura de pendiente (en sentido de arriba-abajo)
Laderas medias	Porción intermedia de la ladera delimitada por la primera y segunda ruptura de pendiente
Laderas inferiores	Porción inferior de la ladera delimitada por la segunda y tercera ruptura de pendiente

MAPA DE MICROBLOQUES CLASIFICADOS POR ALTURA RELATIVA

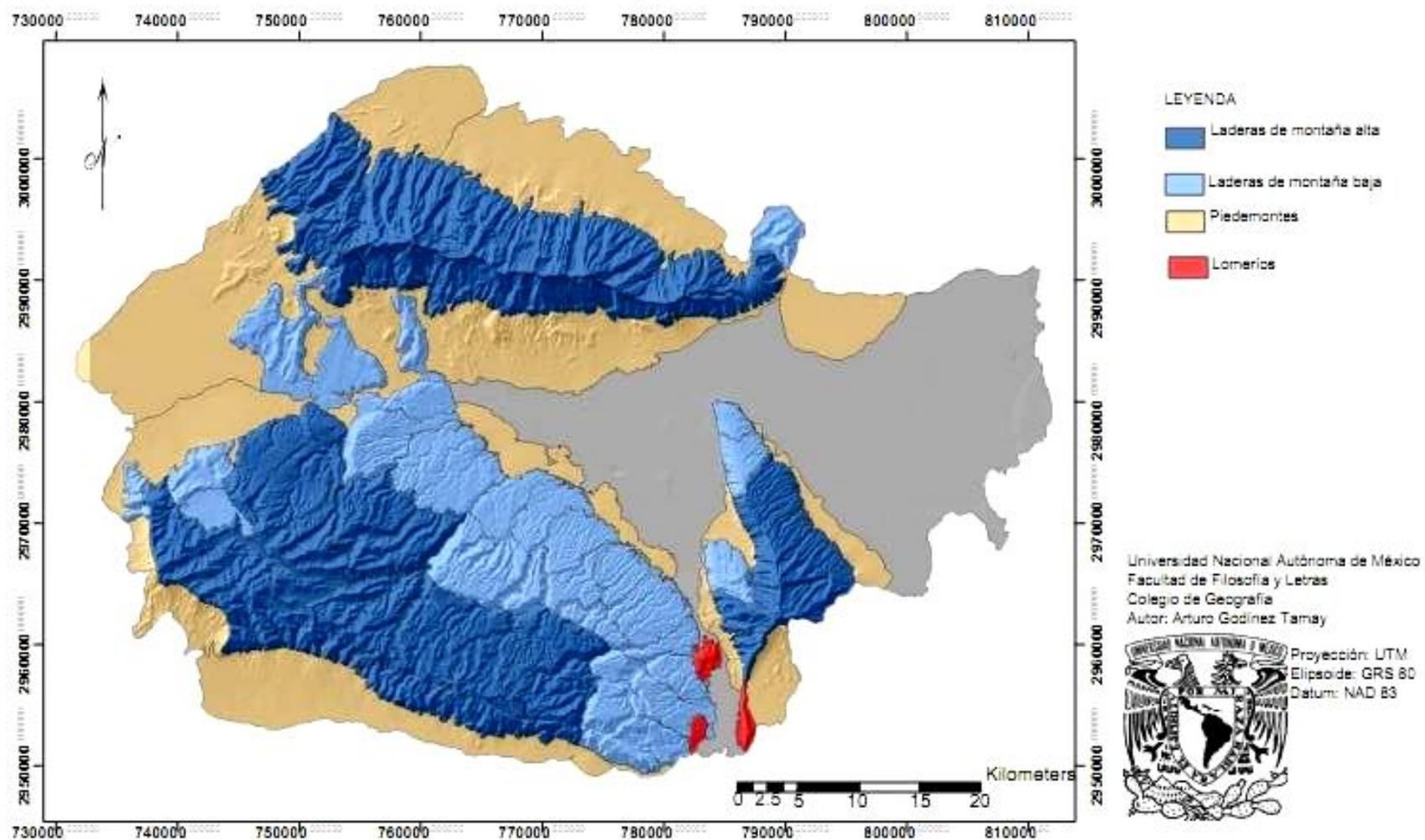


Figura IV.6. Se aprecia el contraste que tiene Sierra La Madera (Norte) con Sierra La Fragua (SW), pues la primera tiene más clasificaciones como Ladera de montaña alta.

Para la aplicación de estos criterios, fue útil el mapa de intervalos altitudinales, para este trabajo se hicieron 23 intervalos de altitud con intervalos de 100 metros cada uno. Con una altitud mínima de 700 m y máxima de 3,020 msnm. Se creó un dominio con los intervalos y valores mencionados y mediante la opción *slicing*, se fragmentó el modelo digital del terreno en dichos intervalos, con lo cual, al tener varios pisos topográficos, permitió diferenciar las características topográficas del relieve.

Para nombrar a las unidades morfogenéticas, se siguió la caracterización del relieve establecida por Tapia-Varela y López-Blanco (2002), resultando muy diversas combinaciones posibles, al integrar el origen del relieve, su tipo, su edad y litología, y sus propiedades geométricas, asimismo los intervalos altitudinales ya mencionados. En la **Tabla IV.4** se ejemplifica con claridad, en la columna de tipo de relieve, que parte del nombre señala la altura relativa y enseguida la posición topográfica.

Tabla IV.4.- Ejemplos de caracterización de las unidades morfogenéticas nombradas en el estudio.

Origen	Tipo-alt.relativa-pos.topográfica)	Edad/Litología	Geometría
Endógeno estructural plegado	Laderas de montaña alta- media	Cretácico inferior-calizas	35°-45°, Convexo
Endógeno estructural plegado	Laderas de montaña baja- superior	Cretácico inferior-calizas	25°35°, Cóncavo

Para el caso de los piedemontes y de las planicies el uso de altura relativa quedó excluido, debido a que carecen de diferencias altitudinales considerables y tienen alta homogeneidad relativa, sin embargo, el criterio de posición topográfica fue de utilidad para identificarlos, esto es, el piedemonte superior es su porción con mayor altitud y más próxima a la fuente de materiales, delimitada en su parte inferior por una ruptura de pendiente y el piedemonte inferior es la porción más alejada de la fuente de material y más cercana a la planicie.

Para nombrar a las unidades morfogenéticas se encontraron diferentes orígenes generales y específicos, y junto con las combinaciones que resultaron de los criterios de altura relativa y posición topográfica dieron lugar a muchas clases de relieve. Debido a ello, fue necesario realizar un trabajo de reagrupamiento y de síntesis para permitir su legibilidad en el mapa final, mediante el uso de colores y símbolos. La nomenclatura de las unidades delimitadas,

fue basada en los cuatro parámetros usados por Tapia-Varela y López-Blanco (2002); los cuales son:

1.- El origen general y específico del relieve. Al primero, le corresponden dos tipos de origen, el endógeno y el exógeno. Dentro del origen específico están, en lo endógeno: volcánico, tectónico, estructural plegado, plutónico (de intrusivo), etc. Dentro de lo exógeno están: fluvial, aluvial, eólico, lacustre, coluvial, etc. También se agrega su condición morfológica actual, esto es, si conserva su forma original se habla de que es acumulativo, en cambio si ya han sido modificados sus rasgos originales, se habla de relieve denudatorio o erosionado.

2.- Tipo de relieve. Corresponde con los cuatro rasgos fundamentales del relieve, laderas de montaña, laderas de lomerío, piedemontes y planicies, asimismo, se complementa con el tipo de intervalo de altura relativa que le corresponda (alto, medio, bajo, esto para las laderas de montaña y de lomerío, principalmente), y por posición topográfica (superior, intermedio, inferior).

3.- Temporalidad y litología. Esto se refiere a las edades (absolutas y relativas) de las rocas, de las estructuras y de las formas, asimismo se incluye en este apartado, su clase litológica.

4.- Geometría, si la forma es alargada, redonda o circular, elíptica, lobular, irregular, forma de la pendiente, etc. Además de que se ayuda de parámetros morfométricos, como la altitud, la pendiente y la forma de la ladera (convexa, cóncava, recta); así como los intervalos que se usan para conocer su altura topográfica.

La selección de colores para representar las clases morfogenéticas del relieve del relieve, se basó en el Sistema del Levantamiento Geomorfológico del ITC (Verstappen y Van Zuidan, 1991); siendo el púrpura para las formas estructurales, como las laderas de montaña; verde para formas aluviales, como piedemontes y algunas planicies intermontanas; azul, para planicies asociadas a un ambiente lacustre; amarillo, para formas eólicas. Dentro de cada

uno de estos tipos de relieve hubo diferenciación, por lo que las tonalidades de un mismo color fueron necesarias, pues dentro de las laderas de montaña, además de tener un origen estructural complejo se tuvo que agregar la clasificación por altura relativa y posición topográfica; asimismo, para los piedemontes acumulativos y complejos, con su clasificación por posición topográfica; por lo que se resalta nuevamente la simplificación de las clases de relieve. Debido a la complejidad geológica del área, la elaboración de la leyenda del mapa morfogenético fue difícil, sobre todo al identificar los orígenes específicos del relieve.

La descripción y síntesis del mapa geomorfológico, se hizo, siguiendo una jerarquía, en donde primero se tomó en cuenta la clase de relieve, seguido por su localización, es decir, en que sierra se encuentra y, finalmente, el sistema morfogenético al que pertenece. Este último paso se organizó de tal manera que se describieran y explicaran todas las unidades, mediante una generalización para que, aunque no se dejen elementos sin analizar, no fuera repetitivo, siendo los sistemas morfogenéticos los que ayudaron para este objetivo. Estos sistemas contienen varias unidades morfogenéticas que no forzosamente comparten el mismo origen, valores de altitud, configuración en el drenaje, geología, pendiente; por lo que sintetizando estos sistemas con conjuntos de unidades morfogenéticas similares, aunque es importante que en la delimitación de estos sistemas había unidades, que no tenían una correspondencia con la homogeneidad del lugar, pero por su tamaño y aislamiento quedaron agregadas. La utilidad de estos sistemas fue usada para agilizar la descripción, análisis e interpretación de las unidades, de manera que se alcanzará cierto grado de generalización, sin perder atención a zonas específicas, además de ayudar a tener un mejor contexto y ubicación de las unidades.

La síntesis del trabajo está estructurada de tal forma en que al relieve se le aborde como un sistema. El trabajo realizado desde la primera hasta la tercera fase queda resumido de acuerdo como se ve en la **(Figura IV.7)**.

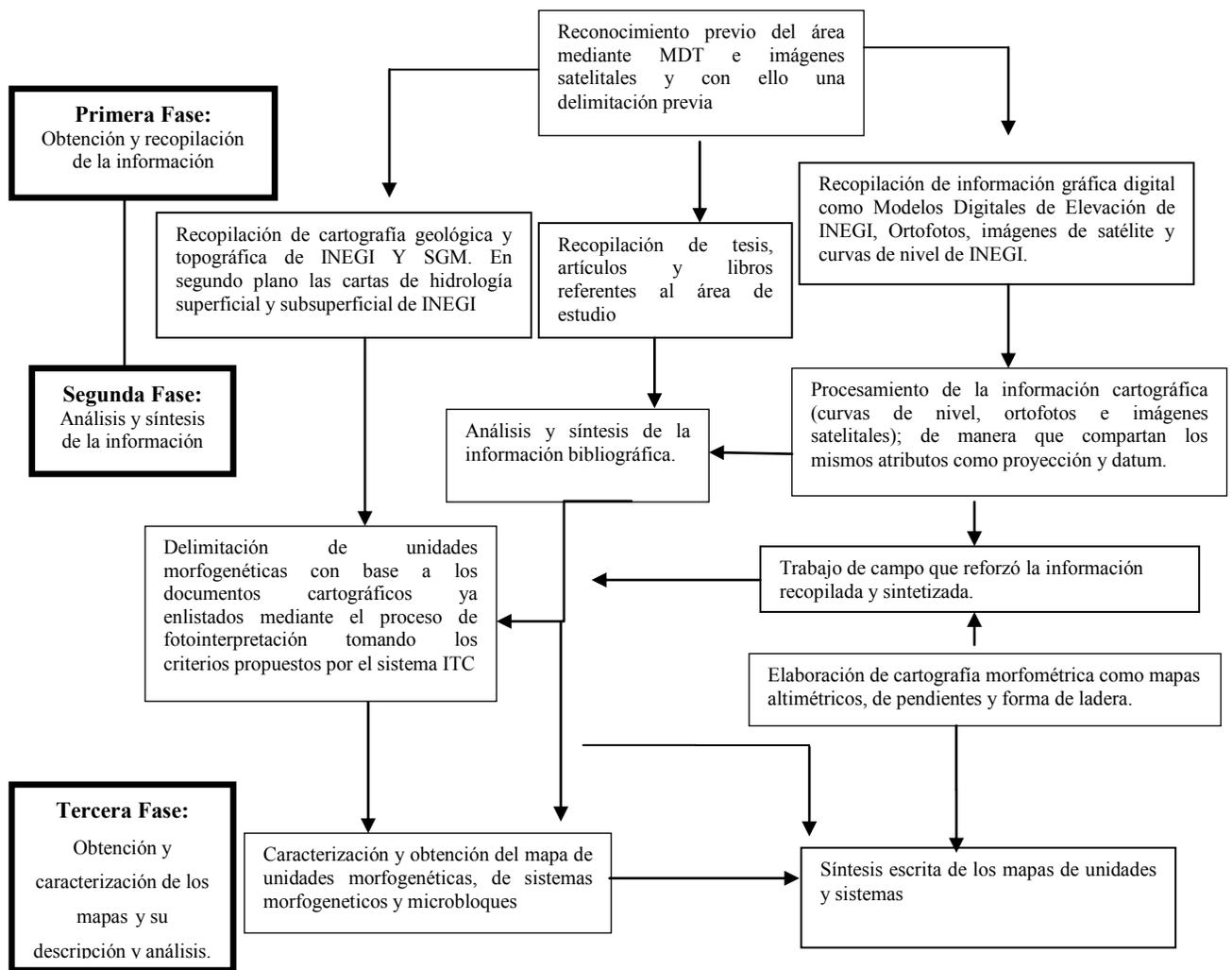


Figura IV.7.- Diagrama metodológico que sintetiza y representa el procedimiento aplicado al trabajo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información recopilada y sintetizada tanto en los aspectos cartográficos, como en los geológicos y geomorfológicos, proporcionó las bases para analizar las características del relieve. Los textos de geomorfología actuales aportaron una visión moderna para observar, describir, analizar y llegar a una interpretación del relieve, siendo algunos de estos enfoques, como el de la geomorfología funcional, que analiza el relieve en elementos individuales de un sistema interactivo, para después integrarlos a partir de sus interacciones. La información antecedente proporcionó información fundamental de algunas variables como: litología, condición estructural (pliegues, fallas y fracturas), asimismo, las propiedades geométricas del relieve aportadas por el modelo digital de elevación, el mosaico de ortofotos, las imágenes satelitales, con lo cual se complementó el análisis geomorfológico.

V.1.- Sistemas morfogenéticos

En la elaboración de este documento, se obtuvieron un total de cincuenta y dos sistemas morfogenéticos, cuya identificación corresponde con una clave alfanumérica, seguida de un nombre dado por el tipo de relieve (sierra, piedemonte, planicie, etc.), y su nombre geográfico basado en un rasgo característico dentro del sistema, alguna elevación, valle, cuerpo de agua, cañón, localidad, etc. La descripción y análisis de los grupos de unidades se basó en parte en el orden de los sistemas, haciéndolo de forma sintética, explicando las clases de relieve, pero sin profundizar particularmente en una clase de relieve.

En la **Tabla V.1**, se muestran los sistemas morfogenéticos con su número, clave y nombre; esta lista es acompañada del mapa de sistemas, agregando que el número clave será de utilidad para las referencias que se hagan en el desarrollo del capítulo (**Tabla V.1**) (**Figura V.1**).

Tabla V.1.- Sistemas morfogénéticos, se muestra su número clave y su nombre; siendo una referencia para entender el mapa de sistemas morfogénéticos.

Núm. Clave	Nombre	Núm. Clave	Nombre
SM01	Piedemonte La Madera	SM27	Piedemonte Nuevo Atalaya
SM02	Sierra La Madera-Cañada El Infiernillo	SM28	Sierra San Marcos-Nuevo Atalaya
SM03	Sierra La Madera-Cañada La Hacienda	SM29	Sierra San Marcos-La Presa Colorada
SM04	Sierra La Madera-Cañada El Bravo	SM30	Sierra San Marcos-Ladera Los Ojitos
SM05	Sierra La Madera-Cañón Salsipuedes	SM31	Piedemonte San Lorenzo
SM06	Sierra La Madera-Cañón El Pino	SM32	Sierra La Fragua-Mesa Albardosa
SM07	Sierra La Madera-Cañón El Oso	SM33	Sierra La Fragua-Cañón Grano del Oro
SM08	Sierra La Madera-Cañón El Guano	SM34	Sierra La Fragua-Cañón San Francisco Nuevo
SM09	Sierra La Madera-Cerro El Anteojito	SM35	Sierra La Fragua-Cañón Las Cotuchas
SM10	Sierra La Madera-Mesa El Molino	SM36	Sierra La Fragua-Cañón El Santo
SM11	Planicie Cuatrociénegas de Carranza	SM37	Sierra La Fragua-Tanque Nuevo
SM12	Planicie Cuatrociénegas	SM38	Sierra La Fragua-Cañón El Mimbres
SM13	Sierra La Madera	SM39	Sierra La Fragua-Cañón Angosto
SM14	Sierra La Madera-Cañada La Cerca	SM40	Sierra La Fragua-Mesa Sureste
SM15	Sierra La Madera-Cañada El Chupadero	SM41	Sierra La Fragua-Cañón del Oro 2
SM16	Sierra La Madera-Lomas Pedregosas	SM42	Mesas La Fragua
SM17	Sierra La Madera 2	SM43	Sierra La Fragua-Cañada Grano de Oro
SM18	Piedemonte Loma Redonda	SM44	Sierra La Fragua-Cañada Los Valles
SM19	Sierra La Madera-Cerro Veleta Grande	SM45	Sierra La Fragua-Cañada El Pedregoso Chico
SM20	Sierra La Madera-Mesa Las Burras	SM46	Sierra La Fragua-Cañada El Pedregoso
SM21	Piedemonte El Abra	SM47	Planicie Intermontana Los Valles
SM22	Sierra San Marcos-Churince	SM48	Sierra La Fragua-Los Valles
SM23	Sierra San Marcos-Cañón San José	SM49	Sierra La Fragua-Potrero Colorado
SM24	Piedemonte Las Pozas Azules	SM50	Sierra La Fragua-Acatita
SM25	Sierra San Marcos-Cañón Los Mimbres	SM51	Sierra La Fragua-Cañadas de la Falla San Marcos
SM26	Sierra San Marcos- Minas Abandonadas	SM52	Piedemonte El Hundido

V.2.- Cartografía morfogénica

En el mapa de unidades morfogénicas del área de Cuatrociénegas, Coahuila, las clases morfogénicas se encuentran representadas de forma gráfica, con colores asignados, de acuerdo con el origen y con variaciones de tonos según el tipo de relieve. A continuación, la descripción y análisis de las clases se basa en la nomenclatura propuesta en los objetivos específicos, apoyada con los sistemas morfogénicos para entender el entorno o contexto geográfico. El *Mapa de unidades morfogénicas del área de Cuatrociénegas, Coahuila* (incluido al final de la tesis), muestra de forma agrupada, las 4,970 unidades obtenidas, conjugadas en 45 clases morfogénicas, predominando las laderas de montaña altas y los piedemontes. En la **Tabla V.2** se señala la forma en que las clases fueron

Tabla V.2.- Organización de las clases morfogénicas

Origen del relieve	Tipo de relieve (altura relativa y posición topográfica)	Edad/Litología	Clave
Relieve endógeno			
1.-Estructural plegado-tectónico modelado	1.1.-Laderas de montaña altas-superiores	Cretácico Inferior-calizas	EPTM-LMaS-KinFC
	1.2.-Laderas de montaña altas-medias	Cretácico Inferior-calizas	EPTM-LMaM-KinFC
	1.3.-Laderas de montaña altas-inferiores	Cretácico Inferior-calizas	EPTM-LMaI-KinFC
	1.4.-Laderas de montaña altas-no diferenciadas	Cretácico Inferior-calizas	EPTM-LmaSD-KinFC
	1.5.-Laderas de montaña bajas-superiores	Cretácico Inferior-calizas	EPTM-LMbS-KinFC
	1.6.-Laderas de montaña bajas-medias	Cretácico Inferior-calizas	EPTM-LMbM-KinFC
	1.7.-Laderas de montaña bajas-inferiores	Cretácico Inferior-calizas	EPTM-LMbl-KinFC
	1.8.-Laderas de montaña bajas-no diferenciadas	Cretácico Inferior-calizas	EPTM-LMbSD-kinC
	1.9.-Lomeríos	Cretácico Inferior-calizas	EPTM-Lo-KinFC
	2.-Estructural tectónico-plegado modelado	2.1.-Laderas de montaña altas-superiores	Cretácico Inferior-calizas
2.2.-Laderas de montaña altas-medias		Cretácico Inferior-calizas	ETPM-LMaM-KinFC
2.3.-Laderas de montaña altas-inferiores		Cretácico Inferior-calizas	ETPM-LMaI-KinFC
2.4.-Laderas de montaña altas-no diferenciadas		Cretácico Inferior-calizas	ETPM-LmaSD-kinFC
2.5.-Laderas de montaña bajas-superiores		Paleógeno-conglomerados	ETPM-LMbS-PalCon
2.6.-Laderas de montaña bajas-superiores		Cretácico Inferior-calizas	ETPM-LMbS-KinFC
2.7.-Laderas de montaña bajas-inferiores		Paleógeno-conglomerados	ETPM-LMbl-PalCon
2.8.-Laderas de montaña bajas-inferiores		Cretácico Inferior-calizas	ETPM-LMbl-KinFC
2.9.-Laderas de montaña bajas-no diferenciadas		Cretácico Inferior-calizas	ETPM-LmbSD-KinFC
2.10.-Lomeríos		Cretácico Inferior-calizas	ETPM-Lo-KinFC
3.-Estructural complejo modelado	3.1.-Laderas de montaña altas-superiores	Cretácico Inferior-calizas	ECM-LMaS-KinFC
	3.2.-Laderas de montaña altas-inferiores	Cretácico Inferior-calizas	ECM-LMaI-KinFC
	3.3.-Laderas de montaña altas -no diferenciadas	Cretácico Inferior-calizas	ECM-LMaSD-KinFC
	3.4.-Laderas de montaña bajas-superiores	Cretácico Inferior-calizas	ECM-LMbS-KinFC
	3.5.-Laderas de montaña bajas-inferiores	Cretácico Inferior-calizas	ECM-LMbl-KinFC
	3.6.-Laderas de montaña bajas-no diferenciadas	Cretácico Inferior-calizas	ECM-LMbSD-KinFC
4.-Estructural modelado	4.1.-Lomeríos aislados en piedemonte	Cretácico Inferior-calizas	EM-LoIntPme-KinFC
	4.2.-Lomeríos aislados en planicie	Cretácico Inferior-calizas	EM-LoIntPL-KinFC
Relieve exógeno			
5.-Exógeno acumulativo aluvial	5.1.-Piedemonte superior	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EA-PmteS-QroCz
	5.2.-Piedemonte medio	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EA-PmteM-QroCz
	5.3.-Piedemonte inferior	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EA-PmteI-QroCz
	5.4.-Piedemonte no diferenciado	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EA-PmteSD-QroCz
	5.5.-Piedemonte local intermontano	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EA-PmteInt-QroCz
	5.6.-Planicie local intermontana	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAAL-PLInt-QroCz
	5.7.-Planicie local interpedemontes	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAAL-PLIP-QroCz
6.-Exógeno acumulativo-erosivo aluvial	6.1.-Piedemonte superior	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAC-PmteS-QroCz
	6.2.-Piedemonte medio	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAC-PmteM-QroCz
	6.3.-Piedemonte inferior	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAC-PmteI-QroCz
	6.4.-Piedemonte no diferenciado	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAC-PmteSD-QroCz
	6.5.-Piedemonte local intermontano	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAC-PmteInt-QroCz
7.-Exógeno acumulativo fluvio-lacustre	7.1.-Planicie general superior	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAFI-PLGS-QroCz
	7.2.-Planicie general no diferenciada	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAFI-PLG-QroCz
	7.3.-Planicie general inferior	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAFI-PLGI-QroCz
8.-Exógeno acumulativo fluvio-aluvial	8.1.-Planicie local intermontana	Cuaternario-depósitos aluviales-calcáreos	EAFI-PLInt-QroCz
9.-Exógeno acumulativo eólico	9.1.-Planicie	Cuaternario-depósitos de yeso	EAEOL-PL-QroYso
10.-Exógeno erosivo	10.1.-Laderas de montaña de pared de cañón	Cretácico Inferior-calizas	LMAc

SISTEMAS MORFOGENÉTICOS

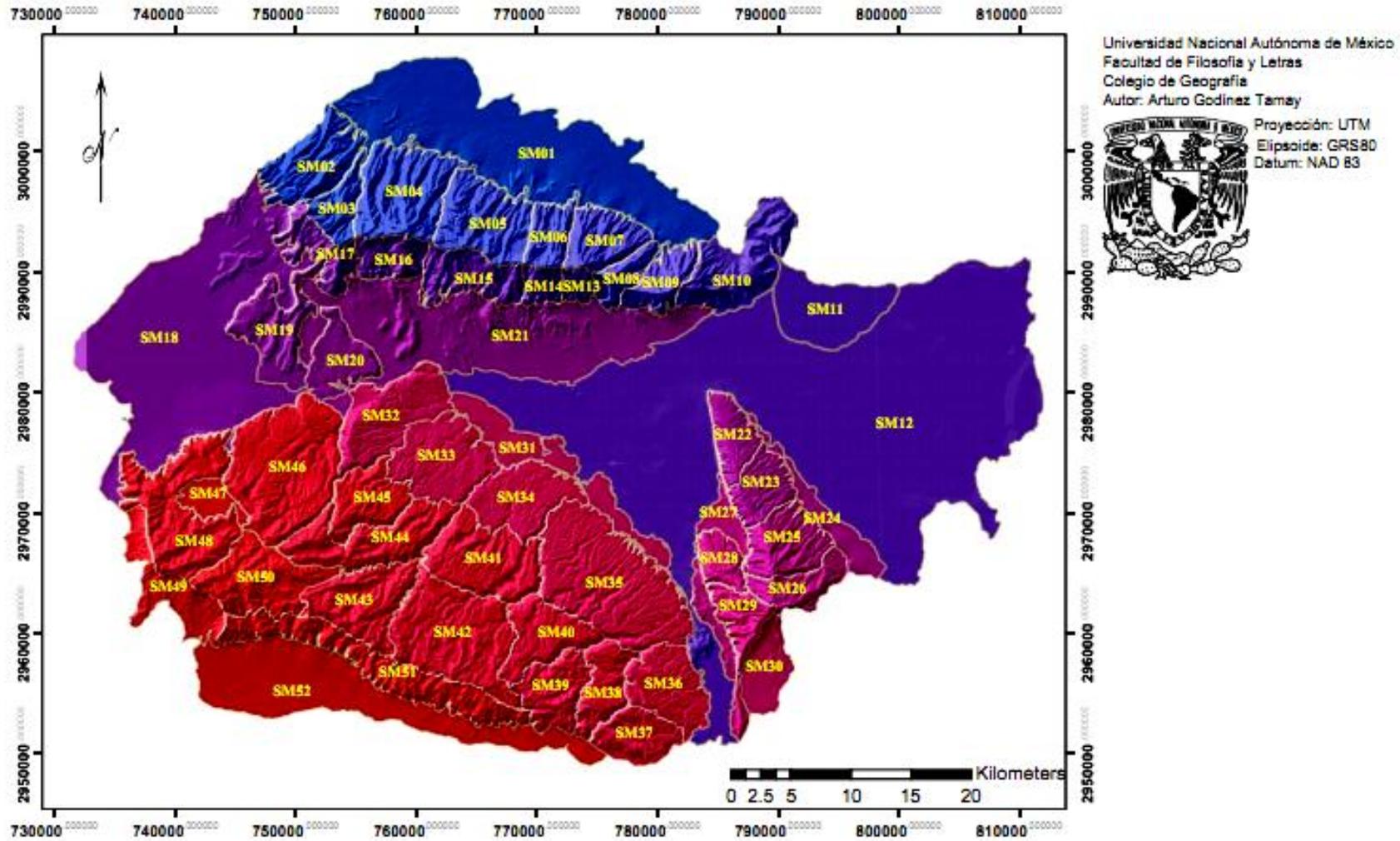


Figura V.I.- Mapa de sistemas morfogénéticos, mostrando su ubicación y número clave, la paleta que se escogió para representarlos, va de los valores iniciales en azul, hasta los finales en rojo; siendo la graduación de los colores acorde con la numeración .

V.3.a.- Relieve endógeno estructural

Su origen se encuentra asociado con la orogenia Laramide, en donde la secuencia estratigráfica sufrió un plegamiento y un fallamiento inverso, además de que la Falla de San Marcos se reactivó con un componente inverso, en donde el bloque de techo está al sur, aunque hubo fallas inversas producto directo de la orogenia, como es la Falla La Madera, en donde su bloque de techo también se encuentra al sur. Esas fallas inversas cruzan de manera casi paralela y casi coinciden con los planos axiales de los pliegues que conforman las sierras mencionadas del mismo nombre; la Falla de San Marcos con parte de la Sierra La Fragua y Falla La Madera con la sierra del mismo nombre.

Se observó que en las sierras La Madera y La Fragua, sus laderas norte y sur, presentan diferencias morfológicas, por lo que estas fallas tienen una relación con el modelamiento. Para cada una de esas sierras existe una línea de falla con dirección W-E, que influye en su asimetría, aunque no hay seguridad plena si se trató de un mismo evento o de dos fases, una de despegue de cubiertas sedimentarias y la segunda, de reactivación inversa de las fallas antiguas. Es por ello que se diferenciaron en dos clases:

V.3.a.1.- Relieve endógeno estructural plegado-tectónico modelado

Estas unidades presentaron una morfología modelada, más por la influencia de los pliegues que por las fallas, esto sucede en la parte norte de la sierra San Marcos y Pinos, que coincide con un pliegue y no hay una falla que cruce su plano axial. Las fallas mencionadas tienen un ligero echado hacia el norte, para el caso de la Sierra la Fragua y la Falla de San Marcos, la ladera Norte al ser la más extensa, con menos inclinación y cuyos echados generalmente van en esa dirección, corresponderían al bloque de piso, asimismo, los cauces que la cruzan presentan una continuidad con dirección NE.

La ladera norte de la Sierra la Madera, también entró en esta clasificación, además del lineamiento W-E producto de la Falla La Madera que la divide. Su modelamiento es similar al de la Sierra San Marcos principalmente, y secundariamente a la de la Sierra la Fragua. Recalcando que la semejanza con La Sierra San Marcos y Pinos fue un argumento fuerte

para esta clasificación. A continuación se muestra el análisis generalizado de las unidades que entran en este grupo, sus nombres hacen referencia al criterio de altura relativa.

V.3.a.1.a.- Laderas de montaña altas del Cretácico Inferior de calizas

En la **Figura V.2** y en el *Mapa de unidades morfogénicas del área de Cuatrociénegas, Coahuila* se muestran las unidades, su nombre y clave completo, que a continuación se muestra de manera completa, incluyendo los criterios mencionados de *altura relativa* y *posición topográfica*, en la figura aprecia su localización dentro de las sierras y sus sistemas correspondientes (**Figura V.2**). Se encuentran presentes en las tres sierras, para el caso de las sierras La Madera y La Fragua tienen como límite el lineamiento que producen las fallas inversas.

Para la sierra La Madera, la litología de roca caliza estratificada, es compartida por sus sistemas. Existe una falla inversa que los limita en la parte superior, además de que en base a la cartografía geológica (SGM, 2008), los echados de estas rocas van hacia el norte y presentan lineamientos, que conjugados con la actividad fluvial generó el modelamiento de las rocas estratificadas dando lugar a la formación de barrancos y cañones.

Una de las similitudes de estos sistemas es que, en sus niveles inferiores, el modelamiento da lugar a rasgos lineales triangulares (*flatirones*), que propiamente no corresponden con facetas, aunque se tiene la influencia de una falla, esto es, posiblemente porque la estratificación tiene influencia en estos rasgos (**Figura V.3**). Existen rasgos de singularidad, aunque destacan dos sistemas en particular, siendo el primer caso el SM 05 en donde su rasgo distintivo es que tiene dos superficies cuya forma de ladera es predominantemente recta u homogénea, siendo de tamaño considerable de hasta 180 hectáreas en la más grande, lo que claramente es contrastante con el modelamiento de las unidades circundantes (**Figura V.3**).

RELIEVE ENDÓGENO ESTRUCTURAL PLEGADO-TECTÓNICO MODELADO ALTO (EPTM)

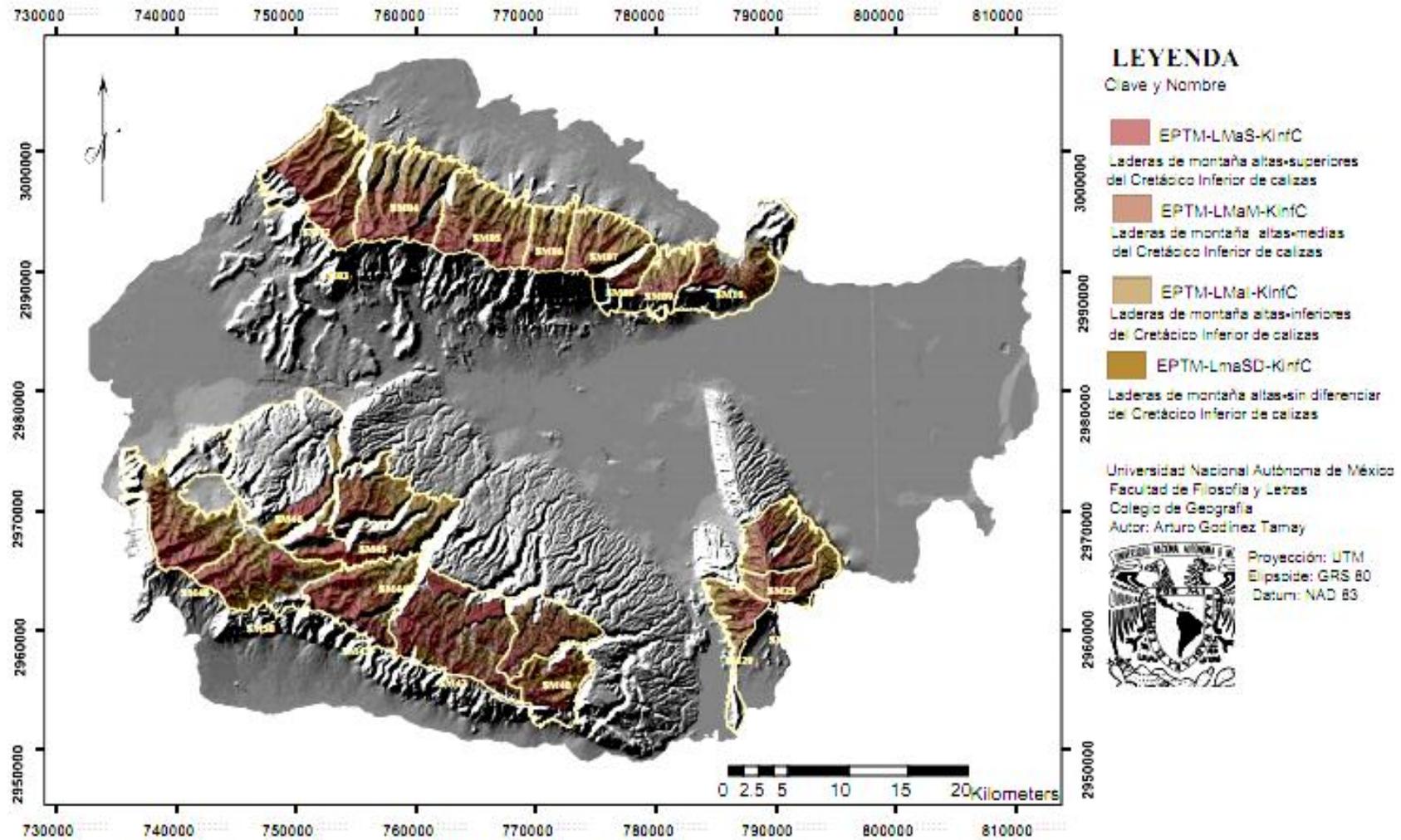


Figura V.2.A- Delimitación y ubicación de las unidades en las sierras y los sistemas morfogénicos.

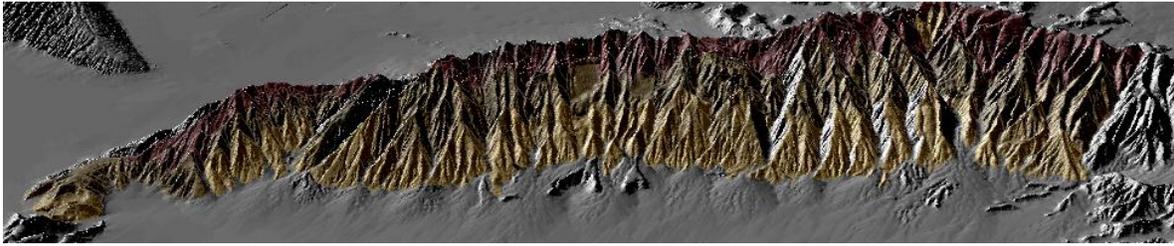


Figura V.2.B.- Se aprecian las laderas septentrionales de Sierra La Madera, siendo la que tiene mayor abundancia de estas unidades, destacando las laderas triangulares por el fuerte control de la estratigrafía y los lineamientos que la atraviesan en dirección casi N-S, siendo en estos en los que se encuentran los cañones y existen pequeños lineamientos W-E en donde se encuentran pequeños ríos; esta sierra es la que tiene mayor altura de las tres con valores máximos muy cercanos a los 3,000 msnm, siendo en esos niveles en donde se encontró mucha diversidad en el relieve. Aclarando que por su lejanía y es de la que se tiene menos información geológica.

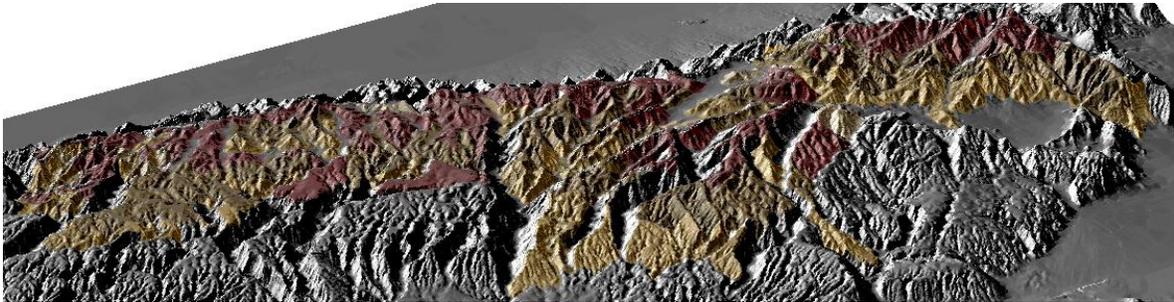


Figura V.2.C.- Para Sierra la Fragua, existe la característica de que el echado suave de la estratigrafía influye en las unidades, originando un relieve mesiforme que distinguió a esta Sierra, además de que dichas mesas se encuentran separadas por cañones con una orientación NNE-SSW que encajan con los lineamientos predominantes en la zona y tienen una disposición perpendicular a la orientación de esta Sierra

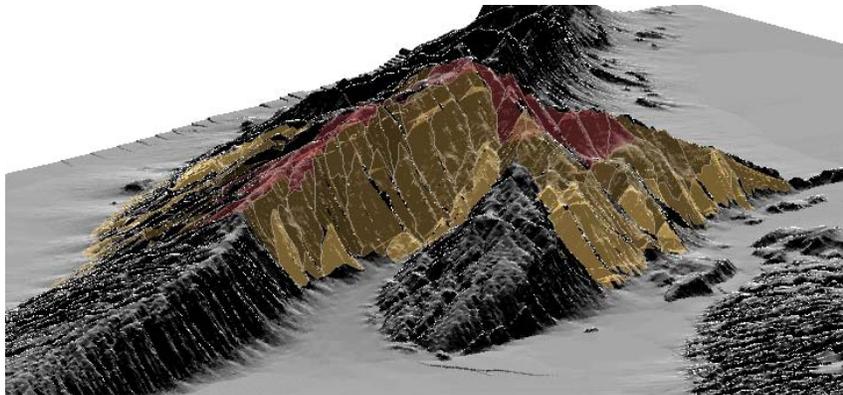


Figura V.2.D.- En Sierra San Marcos y Pinos al ser la más pequeña de las tres, es en la que hubo menor presencia de las unidades, esta sierra se diferencia de las otras tres por tener la configuración estructural más sencilla; las unidades encontradas en este comparten las características observadas en Sierra la Madera, como laderas triangulares y cañones que coinciden con los grandes lineamientos.

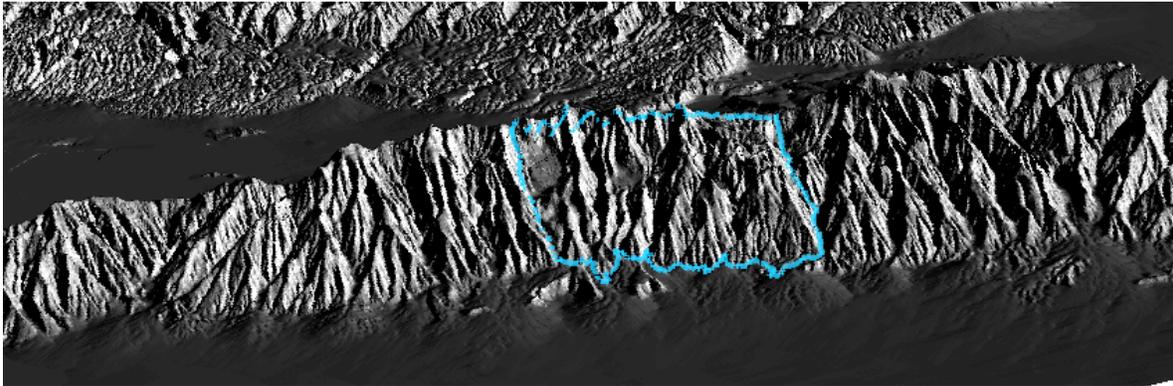


Figura V.3.-En este diagrama bloque hacia el SW, aprecian los *flatirones* de las laderas, en la parte central de la sierra se aprecian las dos superficies homogéneas del SM05.

Otro caso es el SM 10, su singularidad esta en que tiene una superficie cumbral bastante dominante y, de Oeste a Este, tiene diferencias morfológicas, mientras que al Oeste de la unidad las laderas tienen modelamiento que forman *flatirones*, pero al Este la parte superior tiene una amplia superficie cumbral y el modelamiento, solamente está presente en las vertientes, siendo las del Norte distintas a las del Sur, donde la influencia de Falla La Madera comienza a ser menos evidente, siendo limitada por un gran lineamiento W-E que coincide con un rasgo fluvial.

En el extremo oriental de este sistema se detectó un truncamiento abrupto, en forma semicircular, con una elevación pequeña en el centro, con dirección W-E, y su fondo es un área sensiblemente plana. Su litología es de caliza, la inclinación de los estratos es casi plana, es por ello que se interpreta que puede ser una forma de disolución cárstica (dolina), asimismo, la secuencia estratigráfica de sus paredes interiores está descubierta e interrumpida, y finalmente la misma presencia del *lapiáz* (**Figura V.4**). Al tener estratos con un echado casi plano, para esta porción de la Sierra La Madera al momento de llegar al agua, la poca inclinación en lugar de favorecer la incisión de la actividad fluvial favorece la disolución kárstica; por lo que en esta zona el relieve es relativamente suave y los rasgos fluviales no son tan notorios y pronunciados.

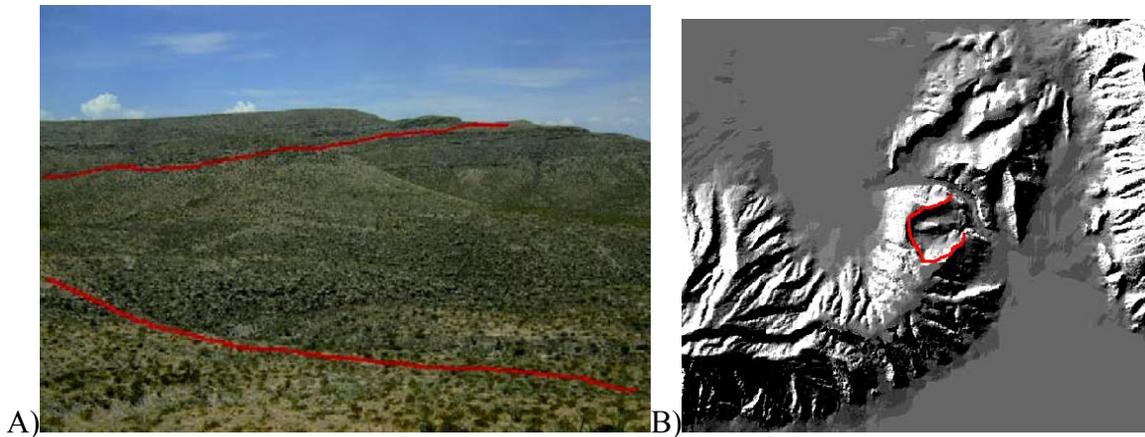


Figura V.4.- En la figura A) se aprecian los rasgos descritos en rojo los rasgos que corresponden a la delimitación de la superficie circular que corresponden a la estratificación. En B), en la parte central de la imagen se enmarca en la parte central la zona circular descrita.

Las laderas medias, dentro de la Sierra la Madera, ocupan los sistemas del SM01 al SM10. Estas unidades se caracterizan por tener una disección pronunciada con presencia de grandes cañones alineados con dirección NE. En el SM10 Sierra La Madera-Mesa El Molino estas unidades se encuentran en superficies cumbrales con poca disección. Las laderas inferiores en su contacto con los piedemontes, tienen una ruptura de pendiente abrupta, presentando áreas casi planas y con un modelado de poca incisión vertical, cerca del piedemonte estas laderas muestran una geometría triangular, con el vértice hacia arriba.

Dentro de los Sistemas Morfogénéticos de *Sierra La Fragua*, hay presencia de roca caliza, con estratos casi horizontales con un echado suave hacia el norte y noreste, con lineamientos que cruzan la sierra, que han permitido (al ser líneas de debilidad) la disección vertical formando cauces encañonados. El relieve resultante es homoclinal, con presencia de mesas y cuevas que están delimitados por los escarpes, asociados a la estratigrafía. Su morfología de homoclinal los diferencia de los sistemas de las otras sierras a causa de la inclinación de sus laderas (**Figura V.5**), dentro de los barrancos y cañones existen depósitos de actividad fluvial que fueron clasificados como planicies locales intermontanas. La dirección de la inclinación de su pendiente es al NE.

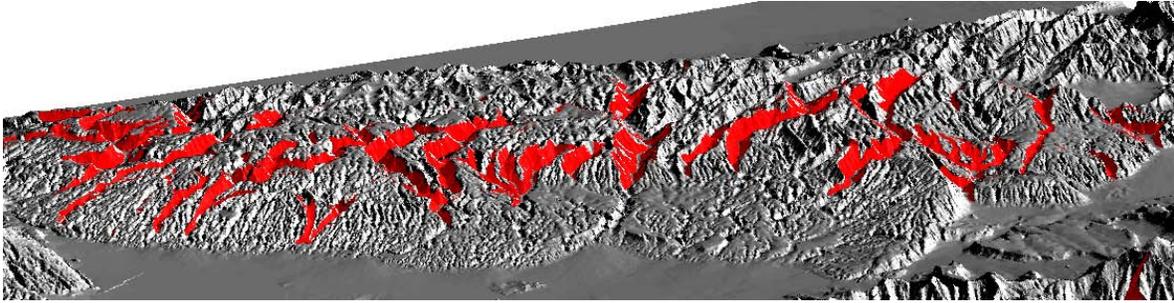


Figura V.5.- Vista desde el norte de la Sierra la Fragua, en donde se aprecia el relieve homoclinal y los cauces encañonados, con una orientación NE-SW de los más prominentes.

Las porciones superiores de estas laderas se caracterizan por ser abruptas, con una red densa de cauces, pero conforme se baja topográficamente, desaparece abruptamente con la presencia de un lineamiento que genera un escalón, el cual posiblemente, por su paralelismo, se encuentra asociado a la Falla de San Marcos, por su paralelismo (**Figura V.6**).

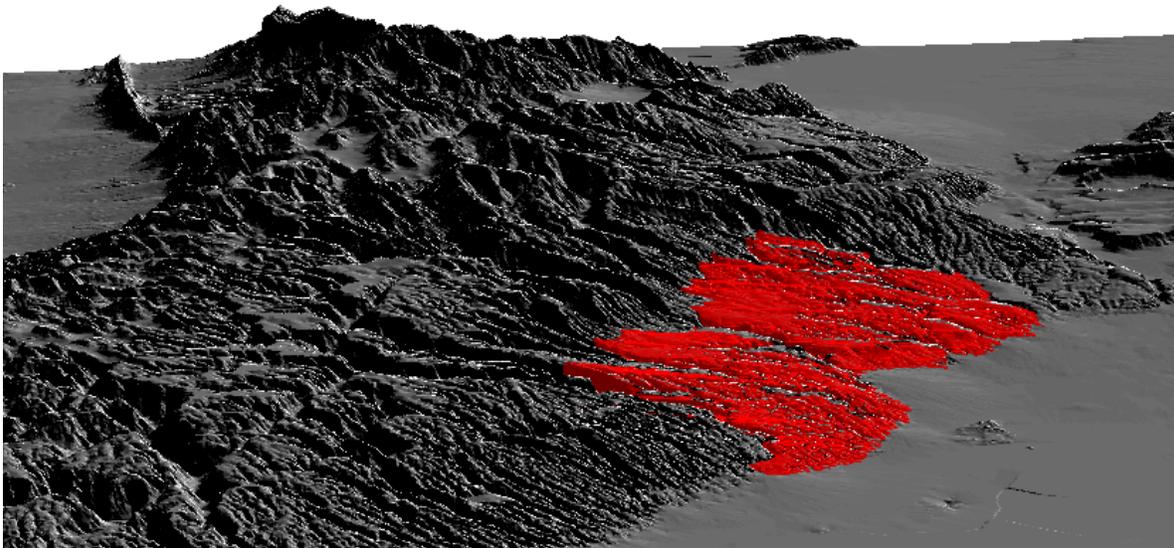


Figura V.6. –Vista hacia el W de Sierra La Fragua, donde se observa que conforme se desciende hacia el Norte la morfología cambia de ser más prominente a más suave; siendo marcada esta diferencia por un “escalón altimétrico”.

Dentro de Sierra La Fragua existe un lineamiento que la cruza con una orientación SW-NE, siendo el segundo más notorio después del que forma la falla de San Marcos. Coincide con un cauce encañonado cuya expresión más clara está en la parte central de la sierra.

En la Sierra de San Marcos se presentan rocas calizas plegadas con presencia de lineamientos que permitieron la incisión vertical fluvial, para formar cauces encañonados. Además, en la parte SE de ella, existe una influencia importante de su estratificación, formando relieve de cuevas. En los SM 25 y 26, existe una mayor altura relativa hacia la ladera este, y su modelado es de incisión vertical. En estas unidades es donde se encuentran las cabeceras de los cauces de esa sierra (**Figura V.7**).

Para el SM29, las laderas se inclinan al occidente, presentando superficies cóncavas con forma de circos erosivos. En los niveles de posición topográfica medios (con altitudes de 1,300 a 1,500 msnm), existe disección pronunciada formando cauces encañonados, aunque de manera menos intensa que en los sistemas anteriores. En los pisos inferiores existen cambios morfológicos. Las laderas orientales de los SM 25 y 26 están menos modeladas, formando facetas triangulares limitadas por rasgos fluviales (*Flatorones*) (**Figura V.8**). Para el SM29, en esos pisos, se presenta un modelado más intenso que en sus niveles superiores (**Figura V.2**).

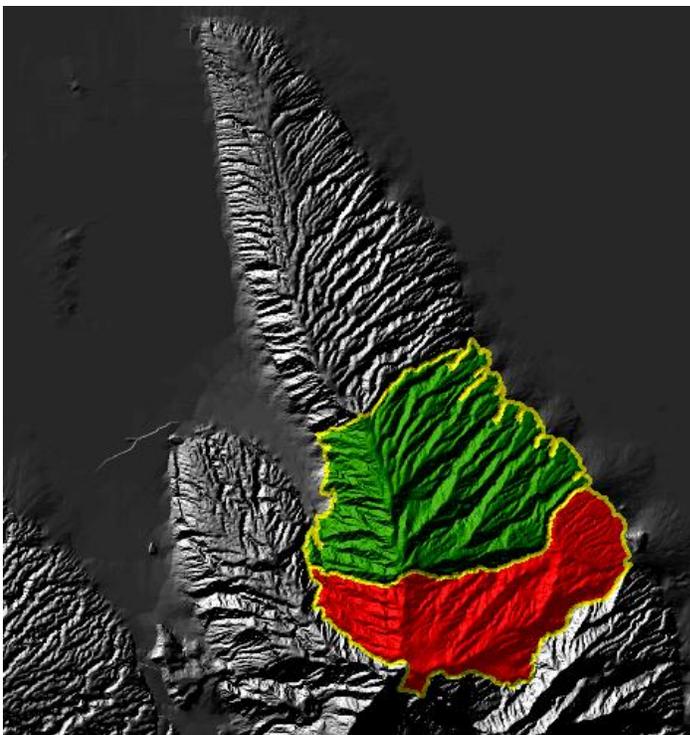


Figura V.7. –Se muestran en la parte media inferior los SM25 (arriba) y SM26 (abajo), siendo sus niveles inferiores los menos modelados, pero conforme se asciende al Sur, la situación cambia por la presencia de grandes cañones; además de mostrarse la asimetría de las dos laderas. El modelado de estas unidades es homogéneo y no presenta grandes diferencias.

En los sistemas enmarcados, al tener mayor diferencia de altura respecto al nivel base, se tiene mayor energía potencial que favorece la actividad fluvial y por consecuencia se tienen cañones más grandes; caso contrario al N se esta sierra que tiene una diferencia altitudinal menor no hay tanta energía potencial y la actividad fluvial para modelar el relieve es menor. Agregando la presencia de fracturas que favorecen la incisión de las corrientes fluviales.

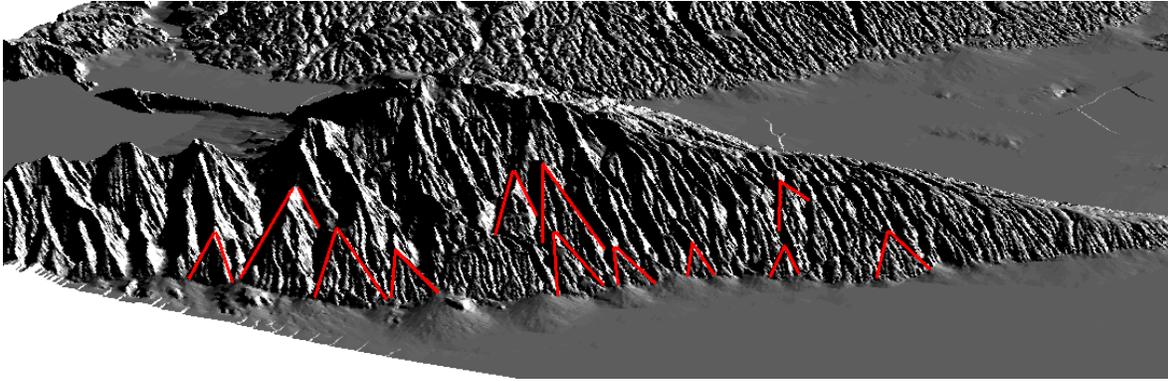


Figura V.8. –Vista de la ladera oriental de la Sierra San Marcos, donde se aprecian las “laderas triangulares” o flatirones de los niveles inferiores, aclarando que para esta sierra la estratigrafía encaja con la topografía dando lugar a los rasgos mencionados definidos como escarpes triangulares, enmarcándose los principales.

Aunque para los SM 26 y SM29 se tiene mucha relación y semejanza y pertenezcan a la misma sierra, es importante recalcar que cada uno forma parte de una estructura, siendo más específicos, que el SM26 abarca un pliegue y el SM29 otro, siendo el límite de las unidades la zona que posiblemente corresponda al sinclinal, siendo el Anticlinal Este el de San Marcos y Pinos, y al Oeste el anticlinal Atalaya, encontrándose en el centro el Sinclinal Churince (Figura V.2 y Figura V.9).

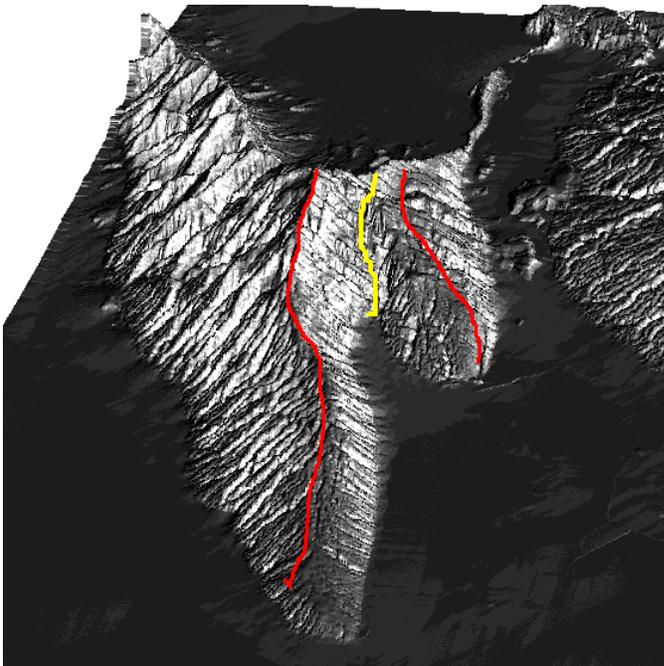


Figura V.9. –Vista al SW de la Sierra San Marcos, donde se observa la parte central de los dos anticlinales (enmarcados en color fuerte), que corresponden a líneas con las partes más cumbres de la Sierra; siendo en el centro una superficie cóncava que corresponde a un sinclinal (sinclinal Churince) enmarcado su eje en color claro; apreciándose cierta concavidad delimitada por rasgos lineales.

Por la concavidad que esta estructura manifiesta en la topografía, favorece la concentración de flujos fluviales y con ello que la parte interna de la sierra se drene (como en una cuenca hidrográfica) causando con ello el modelamiento.

V.3.a.1.b.- Laderas de montaña bajas del Cretácico Inferior de calizas

En la **Figura V.10** se señalan los grupos de unidades que corresponden a este conjunto, se localizan principalmente en Sierra La Fragua y Sierra San Marcos y Pinos. En el extremo oriental de la sierra La Madera, dentro del SM10, se encuentra un rasgo morfológico distintivo de forma circular, tiene superficies cumbreales y disección concentrada en cauces encañonados orientados hacia el SW (**Figura V.11**). Aunque estructuralmente pertenece a Sierra La Madera, es contrastante en los aspectos ya mencionados.

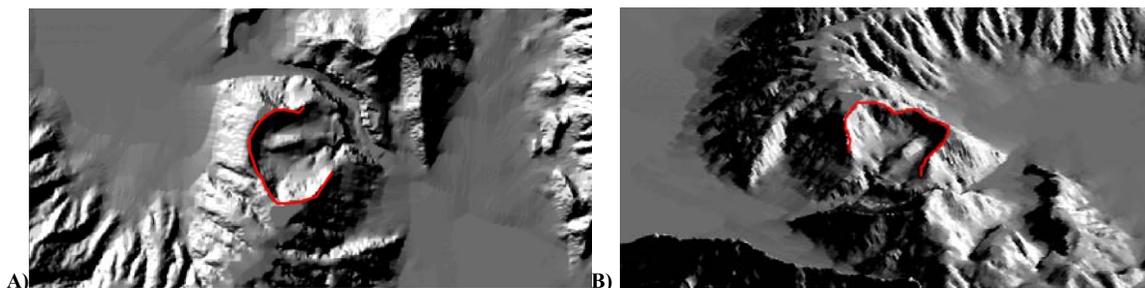


Figura V.11. Extremo oriental de Sierra La Madera. En A, está la vista desde el SW del rasgo morfológico circular que se ha interpretado como una dolina. Al noreste de este rasgo, dividiendo a la Sierra, está el Cañón de las Calaveras, que dreña hacia el Valle de Cuatrociénegas. En B, hacia el SW en forma de diagrama bloque, está el mismo rasgo peculiar aunque es importante aclarar que los procesos fluviales también tengan una influencia pues aunque se interpreta como una dolina sus límites son similares a circos erosivos que son comunes en las cabeceras de barrancos, cañones y cuencas.

En este sistema, dentro de la sierra La Fragua, existen rocas calizas estratificadas, con echado en dirección norte y con red fluvial paralela, en general. Las unidades presentan relieve homoclinal, con una mayor distribución de los cauces pero con menor incisión vertical. Para la clasificación de estas unidades se consideró el criterio de posición en la ladera delimitándose tres pisos topográficos

La característica de paralelismo del drenaje es producto de la influencia estructural con dirección al Ne, a pesar de que las unidades que cuentan con poca inclinación de los estratos y homogeneidad litológica (**Figura V.12**).e

RELIEVE ENDÓGENO ESTRUCTURAL PLEGADO-TECTÓNICO MODELADO BAJO(EPTM)

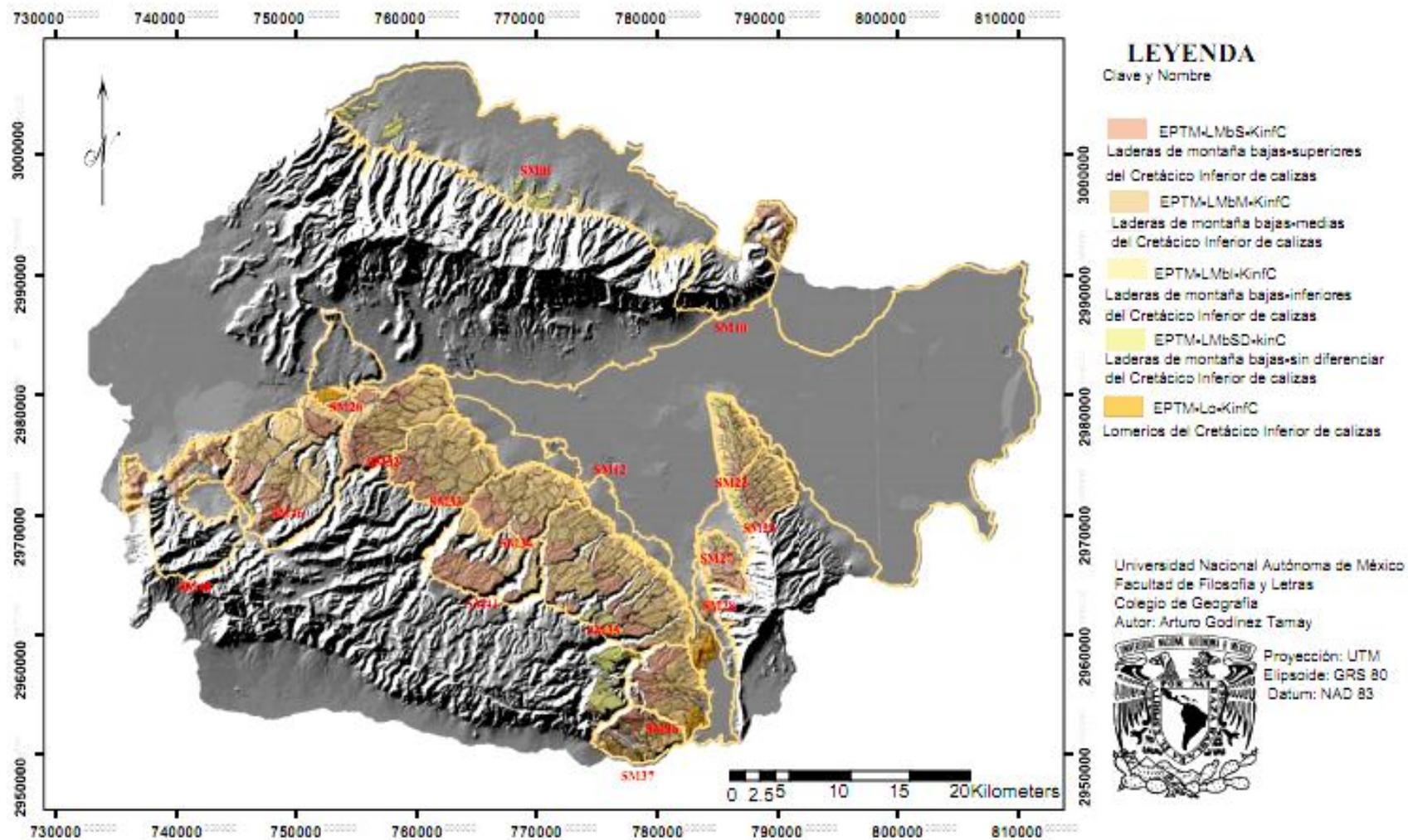


Figura V.10.A.- Delimitación y ubicación de las unidades en las sierras y en los sistemas, siendo más abundantes en la sierra suroeste del área de estudio.

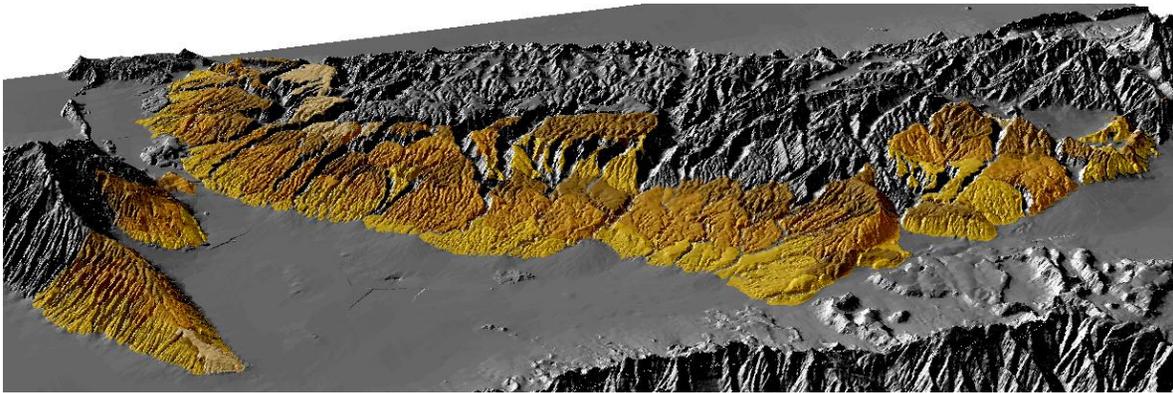


Figura V.10.B.- Vista hacia el S, se aprecia que son abundantes principalmente en Sierra La Fragua caracterizadas por su poca altura y su pendiente en general no mayor a los 30° en las partes que corresponden a las mesas, aunque en los cañones los valores son mucho mayores, de las unidades de esta clasificación con de las que se encuentran menos modeladas y presentan mayor homogeneidad. Hacia la izquierda de la imagen, se encuentra la Sierra San Marcos y Pinos que es la segunda en abundancia de estas unidades en donde la presencia de cañones

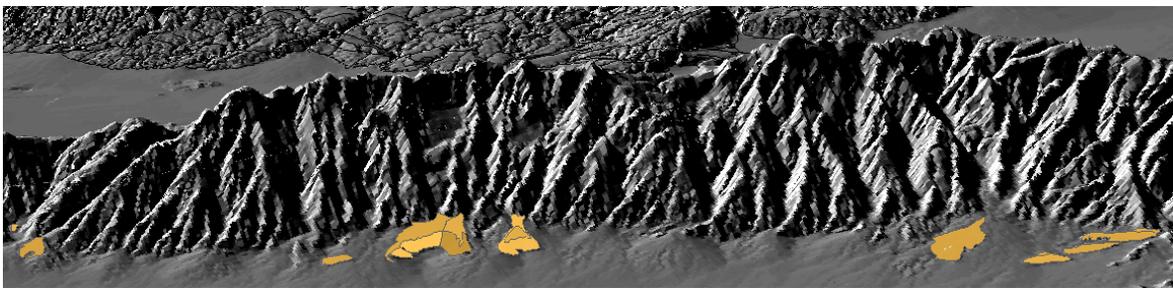


Figura V.10.C.- Para Sierra La Madera, esta clase de unidades fueron las menos abundantes, en esta vista hacia el Sur se aprecian sus laderas septentrionales y esta clase principalmente se encontró en pequeñas elevaciones sepultadas parcialmente por los depósitos de los piedemontes, por su fuerte cercanía con Sierra La Madera se concluye que presenta las mismas características litológicas y estructurales y con ello el origen.

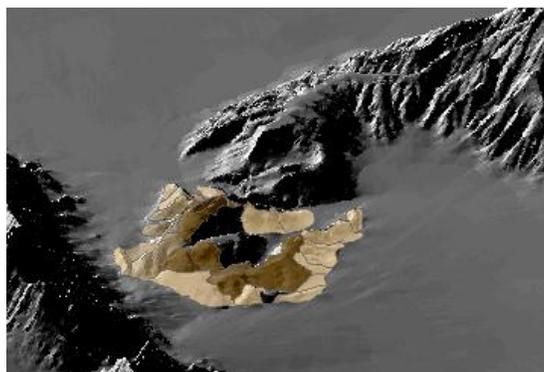


Figura V.10.D.- En la parte NE de Sierra La Madera, siendo la porción con lo valores mínimos de altura de esta sierra, las unidades en esta parte se caracterizan por tener poco modelamiento y una pendiente suave no mayor a los 20° a excepción de los cañones.

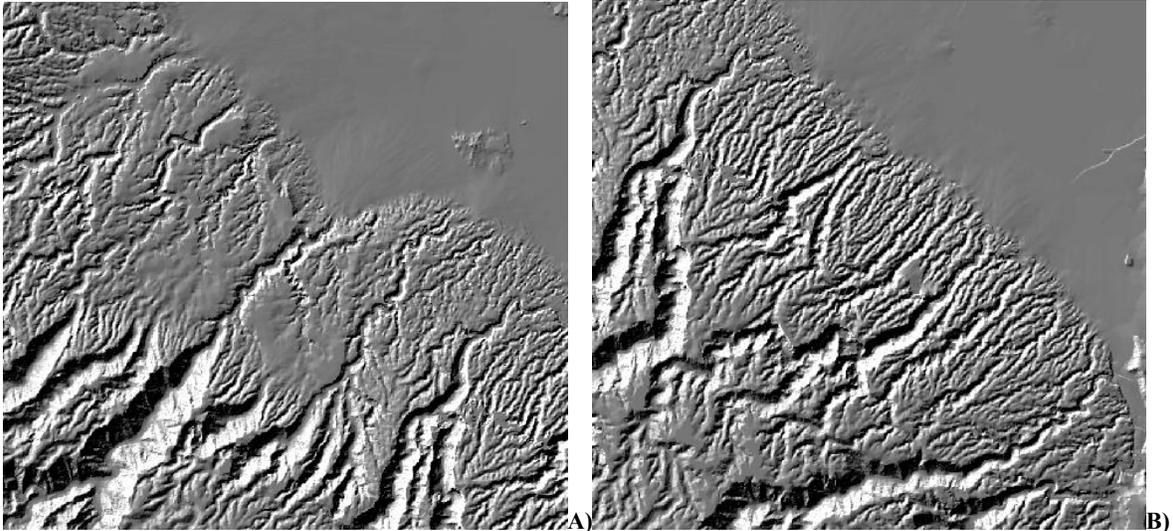


Figura V.12- Tanto en la figura A) y b) que corresponden a las partes NW de Sierra La Fragua, se aprecia el drenaje que primeramente tiene características de una red paralela con ligera tendencia a dendrítica, siendo esto por presencia de fracturamiento; además de presentar algunas sinuosidad, aunque la relativa poca energía potencial y pendiente baja en esas porciones probablemente favorezca la sinuosidad.

En los SM 36 y 37 se observan esas características del drenaje, asimismo, existe influencia de lineamientos por fallas normales, fracturas y la falla inversa de San Marcos, lo que favorece una mayor intensidad de la incisión vertical, además de que existe otra dirección en la que van los afluentes que es hacia SE, agregando que la dirección de los ríos no es completamente hacia el Norte, pues existen variaciones W y E (**Figura V.13**). En el SM38 no se diferenciaron pisos topográficos, esto debido a la homogeneidad de las laderas y a la falta de rupturas de pendiente. Para este sistema se observa que tiene varias direcciones de drenaje en sus márgenes, aunque existe una tendencia favorable para los cañones de su parte SW, que drenan hacia el NE (**Figura V.14**).

En el SM41 existen cauces encañonados pronunciados, se diferencia en que su porción superior tiene un modelado más acentuado que la inferior. Asimismo, en este sistema la continuidad de sus cauces se rompe abruptamente en niveles inferiores (en el inicio del SM34), formando un escalón altimétrico. Esto está asociado a la trayectoria de la falla inversa de San Marcos (**Figura V.15**).

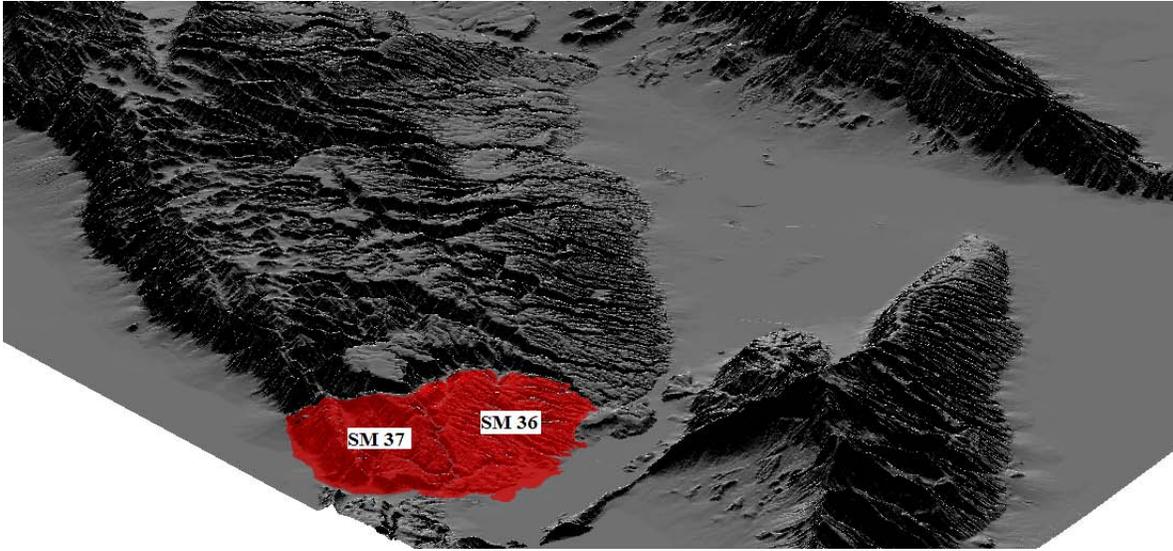


Figura V.13.- En esta vista al NW se señalan los SM 36 y 37. Su límite superior es el primer cauce encañonado. Se observan los lineamientos W-E de la Falla de San y la falla normal El Mimbre .

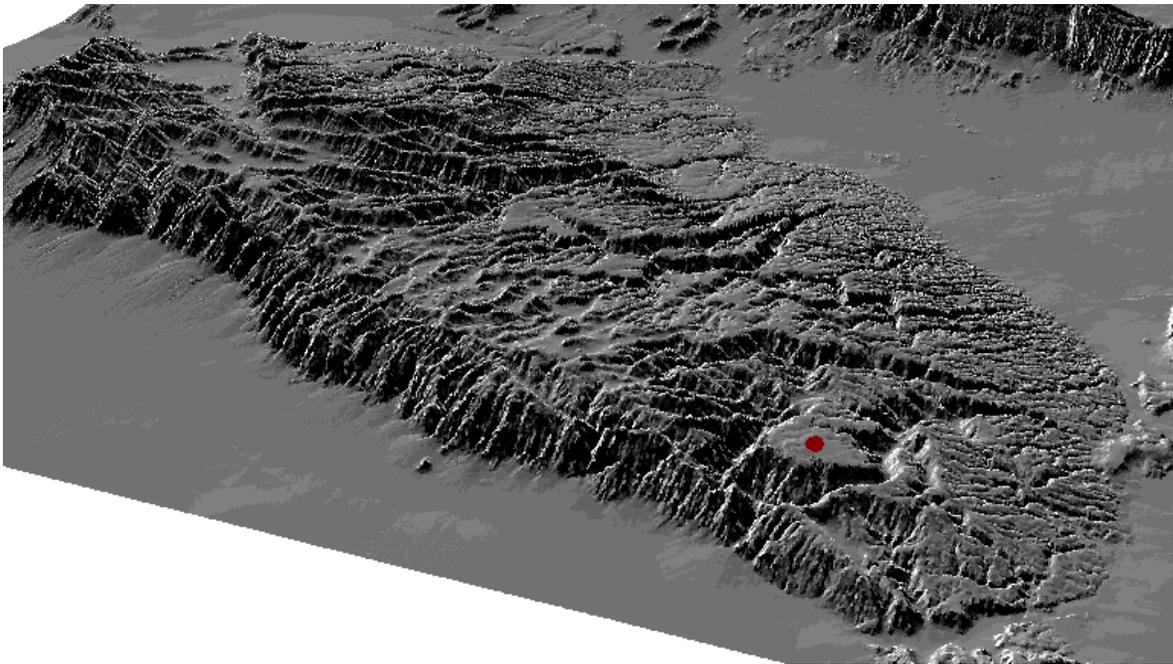


Figura V.14- Vista al NW. En la parte inferior derecha, se observa la mesa más representativa, seleccionada con un punto, siendo el sistema que tiene esta propiedad mejor conservada, en su parte derecha la dirección del drenaje es al Este.

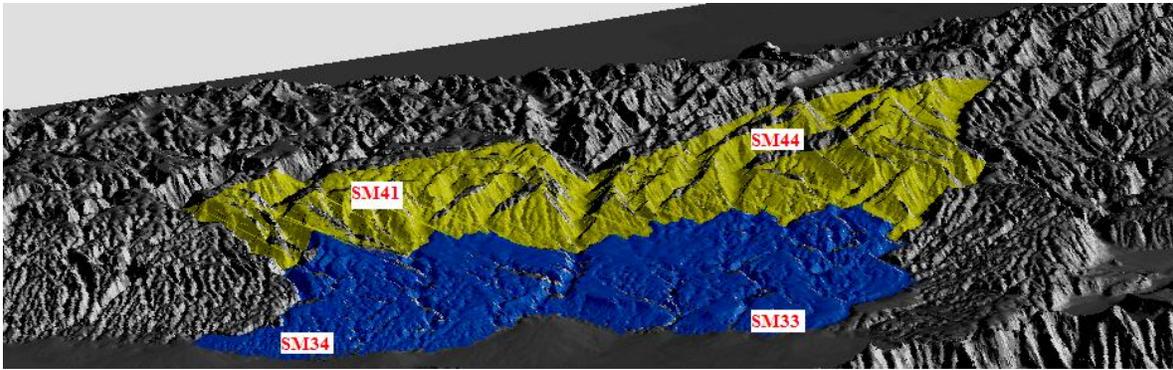


Figura V.15- Vista al SW. Señalamiento del SM 41, resaltando sus cañones en su nivel inferior, antes de que comience el SM 34, observándose el escalón altimétrico. Las paredes inferiores del SM41 tienen una morfología similar a la de las facetas triangulares, que se observan también a la izquierda del cuadro que corresponden al SM 44, siendo el sistema inferior el 33. Estos son argumentos para que posiblemente sea una falla de tipo normal.

En el SM33 se presenta una condición similar, esto es, altiméricamente forma un escalón más bajo que los sistemas que lo rodean al SW y W. Tanto el SM 33, como el 34, comparten la característica de ser los menos modelados y más uniformes de la Sierra La Fragua, por su baja altura relativa cercana a la del nivel de base local (valle de Cuatrociénegas). El SM 32 presenta una ladera cuyos afluentes drenan con dirección SW, esta ladera es asimétrica, con poca extensión y con afluentes paralelos. En el SM46 se presenta un evidente lineamiento NE-SW, que coincide con un cauce encañonado, asimismo, un relieve mesiforme, a causa del control estratigráfico. Destaca su límite al SW, que coincide con una falla normal, que se echa al SW con una dirección SE-NW (**Figura V.16**).

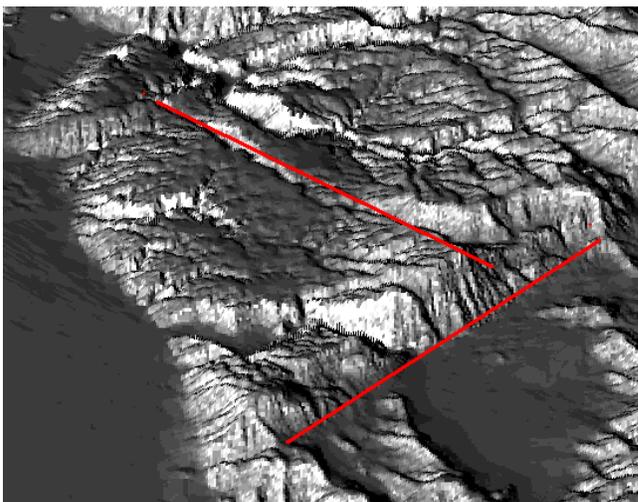


Figura V.16--Vista hacia el NE, el sistema mesiforme 46, destacando sus lineamiento, el lineamiento con orientación NE-SW corresponde a la falla normal que funciona como límite al Sur, provocando un escalón topográfico; el otro lineamiento con dirección casi Norte-Sur tiene una fuerte influencia al ayudar en la formación de un rasgo fluvial muy marcado; este sistema además presenta riberas que van en varias direcciones, esto posiblemente asociado al fracturamiento.

Para la *Sierra de San Marcos*, los sistemas delimitados abarcan las unidades que fueron denominadas como laderas bajas. Presentan una fuerte influencia por la estructura geológica, que corresponden a dos pliegues asimétricos, al igual que en las laderas de montaña altas. El SM23 presenta cauces encañonados que coinciden con sus lineamientos NE-SW. Sus vertientes nororientales se caracterizan por ser más largas y menos inclinadas, en cambio, su vertiente suroccidental es más corta y más inclinada, en donde los cauces son mucho más cortos (**Figura V.17**).

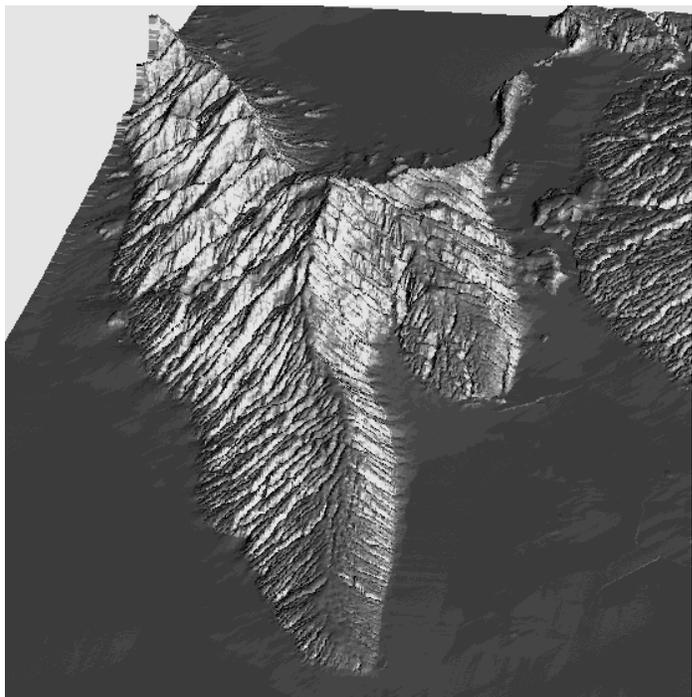


Figura V.17.- Vista hacia el Sur, estando presentes los niveles inferiores de la sierra de San Marcos y Pinos, en la zona más norte se destaca la asimetría que tiene esta sierra, pues su flanco oriental es más largo e inclinado, caso contrario en su flanco occidental, como se ha comentado en Anticlinal San Marcos y Pinos tiene la característica de ser recumbente, de ahí que la asimetría de la estructura geológica se refleje en la topografía. Además del su suave modelado en su parte mas meridional, que es a causa de la poca energía para los corrientes fluviales por la poca diferencia altitudinal. En la parte superior derecha de la imagen, se observa una cresta con una orientación Norte-Sur, por influencia del plegamiento y fallamiento se interpreta como un truncamiento en la estratigrafía, que tuvo influencia en el relieve.

El SM22 no presenta asimetría en todas sus vertientes. El arreglo de sus unidades es radial en la parte inferior y su patrón de drenaje tiende a ser radial en esa parte. En el SM28, se presenta una situación semejante, esto es, su drenaje tiende a ser radial, no se observan lineamientos que tengan influencia en el drenaje y no hay superficies cumbrales que resalten mucho. En su límite NW se presenta un relieve de carácter homoclinal, producto de una fuerte influencia estratigráfica.

V.3.a.1.c.- Lomeríos del Cretácico Inferior de calizas

Están en los SM 12 y 36. En el primero, lo que destaca es su relieve mesiforme, con superficie cumbral plana y costados abruptos. En el SM36 destaca la presencia de fuertes lineamientos que afectan a los lomeríos, y generan un patrón de drenaje rectangular. Las longitudes de estos lineamientos van de 200 hasta los 1,500 m, además de la zona en la que están presentes, se aprecia la influencia de la estratificación por la presencia de terrazas denudativas a partir de planos de estratificación (**Figura V.18**).

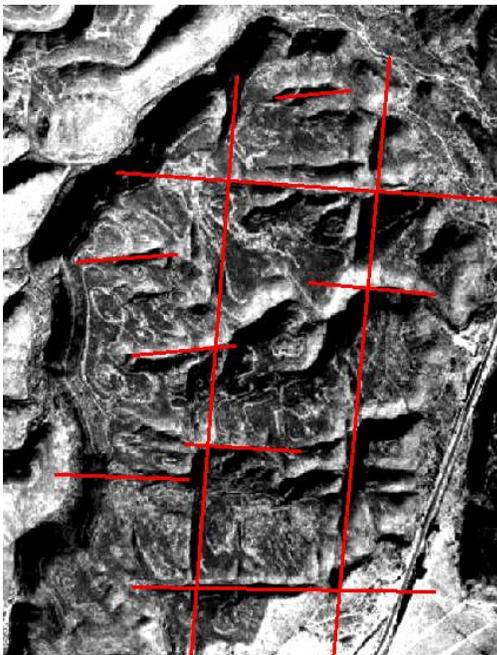


Figura V.18.- En estos lomeríos, además de apreciarse rasgos productos de la estratificación (líneas blancas parte de la fotografía), existe un drenaje de carácter rectangular que se encuentran enmarcado. Los lineamientos reflejados en los ríos son casi perpendiculares, destacando esta singularidad; aunque forman parte de Sierra la Fragua es la única porción que tiene esta característica que posiblemente sea atribuida al fracturamiento.

V.3.a.2.- Relieve endógeno estructural tectónico-plegado modelado

El origen del relieve en donde hubo dominio de la actividad estructural disyuntiva (con desplazamientos), con respecto a la actividad estructural de plegamiento, fue el criterio que sirvió para conformar este grupo de SM en las laderas meridionales de Sierra la Madera y Sierra La Fragua. En la primera, se tomó en cuenta el lineamiento W-E (Falla La Madera), que generó un escarpe muy pronunciado, que interrumpe la continuidad de la Ladera Norte, en su parte más alta. La pared o plano de falla de este escarpe apunta hacia el sur, la ladera que va en esta dirección tiene una inclinación intensa. Estas laderas son casi planas o poco modeladas y se interpretan, como la parte descendente o bloque de piso. Asimismo, para la clasificación en estas laderas se consideró que la secuencia estratigráfica está descubierta,

como es el caso en la parte S y SW de la Sierra San Marcos y Pinos, a causa de la Falla de San Marcos, hay evidencia publicada de la presencia de esta falla (SGM, 2008; IMTA, 2004; Rodríguez-Martínez y Villareal-Sánchez, 2003).

Para el caso de Sierra La Fragua, su ladera sur es más corta y con echados más fuertes; éstos comienzan con el lineamiento W-E producto de la Falla de San Marcos; esta porción es geológicamente compleja, pues conforme a la información bibliográfica, se sabe que existen *Horses*, es decir que las secuencias estratigráficas en el evento Laramide se encimaron unas con otras, lo que dio como resultado una repetición en la estratigrafía. Estas estructuras asociadas a pliegues de dobles de falla, pueden ser descritas como desplazamientos inversos, que según los perfiles geológicos para esta ladera son más predominantes que los plegamientos; siendo esa la principal razón por la que entraron dentro de esta clasificación.

V.3.a.2.a.- Laderas de montaña altas del Cretácico Inferior de calizas

Se encuentran presentes en los sistemas de la sierras La Madera y La Fragua, y en menor medida en la Sierra San Marcos y Pinos (**Figura V.19**). Corresponden con sus laderas sur, siguen una orientación en general W-E; limitadas por fallas inversas. Las unidades de los sistemas Sierra La Madera, se caracterizan por tener pendiente pronunciada conforme se asciende altiméricamente y terminan abruptamente. Las unidades de Sierra La Fragua se caracterizan por tener rasgos de superficies cumbreles, a diferencia de las unidades de Sierra La Madera.

El SM08, en Sierra La Madera, presenta diferencias morfológicas que se pueden dividir en dos grandes subsistemas, oeste y este. En el primero, las laderas son uniformes y casi rectas presentando un tipo de curvilineamientos con control estratigráfico, mientras que en la parte este existen laderas más pronunciadas con un modelado más intenso, que tienen una configuración en “L” volteada de derecha a izquierda. En estos sistemas del oeste, se presenta la secuencia sedimentaria expuesta en paredes lo que confirma la existencia de la Falla La Madera (**Figura V.20**). Esta descripción encaja para los niveles topográficos

medios e inferiores, a excepción de que en estos últimos las unidades se caracterizan, porque algunas tienen superficies cumbrales, además de presentar una disección más pronunciada y un modelado diferente al de las otras laderas de este origen dentro de esta sierra. Su contacto con los piedemontes es difuso.

En la porción superior del SM13 se muestra un relieve abrupto y modelado, por influencia de la Falla La Madera, asimismo, un control estratigráfico sobre el piso de escarpe (**Figura V.21**). En el SM17 Sierra La Madera 2, existe lo que aparentemente es un gran flujo de derrubios con su cicatriz de desprendimiento. Presenta un kilómetro y medio de grosor en promedio con una longitud de casi cinco km, cubre parte del piedemonte del SM21, donde existe una morfología que se divide en dos flujos con forma de lenguas. Desde su punto más alto hasta la parte inferior de su depósito, hay aprox. 1,000 m (**Figura V.22**). La cicatriz de desprendimiento del flujo coincide con el lineamiento de la Falla La Madera.

En cuanto a la zona en que fue afectada por este proceso, su cicatriz de desprendimiento casi coincide con Falla La Madera; por lo que posiblemente tuvo influencia. Otra de las razones que influyó en este proceso, fue la inclinación del plano de estratificación, que es casi vertical en la parte sur de la Sierra La Madera, esto se corroboró mediante el análisis de las ortofotos y durante el trabajo de campo (**Figura V.23**).

En el SM51, dentro de *Sierra La Fragua* existen rasgos lineales pronunciados, reflejándose en cauces encañonados, característicos de este sistema, que van del NE al SW, con profundidades de 400 a 500 m y son representativos del sistema por tener cierta abundancia y su distribución paralela con separaciones no mucho mayores a 2 km. Para los niveles superiores la configuración de las unidades es de rasgos lineales, que delimitan cimas y superficies cumbrales. Por la influencia de la Falla de San Marcos, existen facetas triangulares. Para los niveles medios e inferiores, además de los cauces encañonados no se presenta otra distinción estructural. En los niveles inferiores nuevamente está la presencia de unidades con rasgos de superficies cumbrales (**Figura V.24**).

RELIEVE ENDÓGENO ESTRUCTURAL TECTÓNICO-PLEGADO MODELADO ALTO (ETPM)

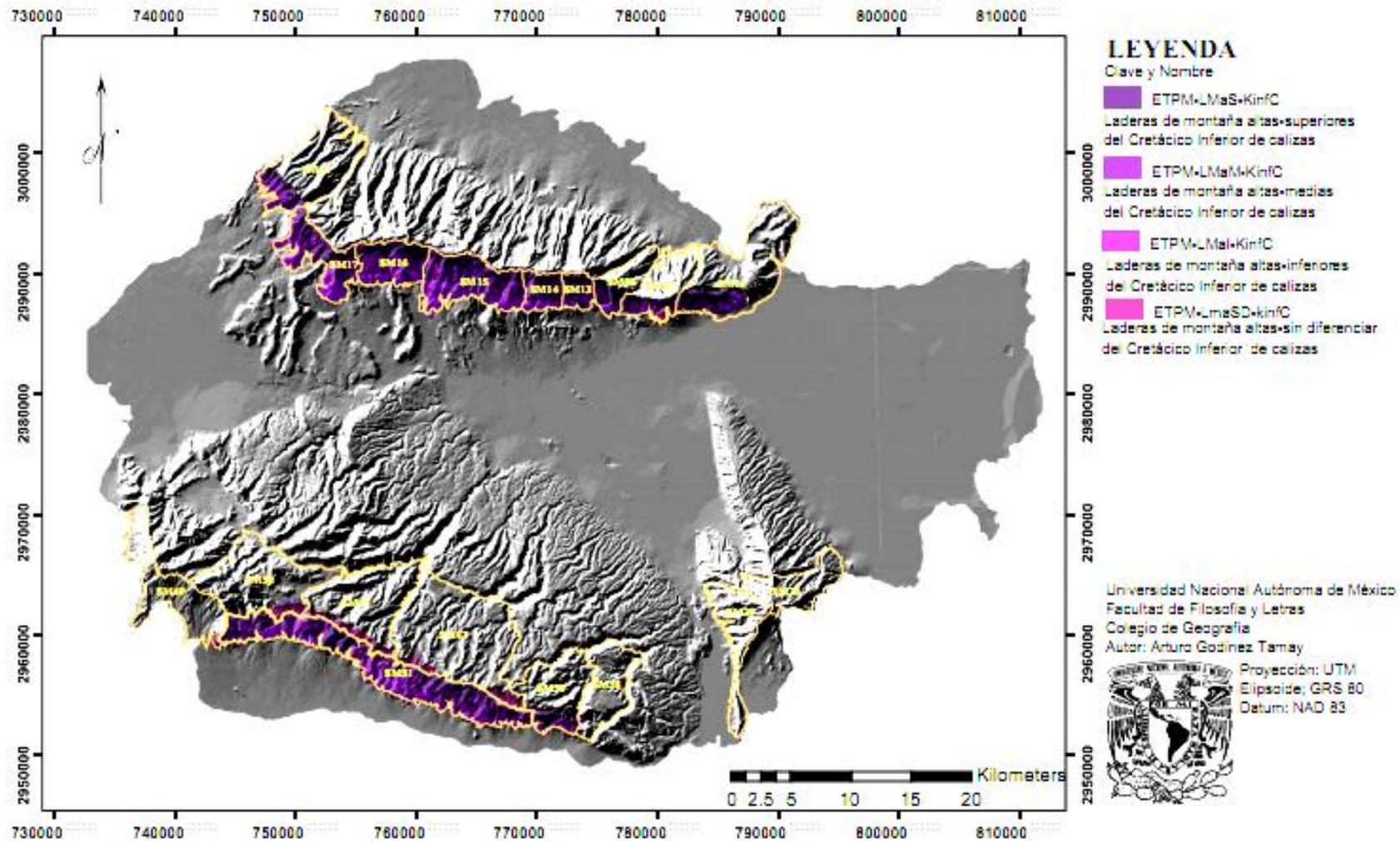


Figura V.19.A.-Delimitación de los sistemas, que en Sierra San Marcos es la menos abundante.

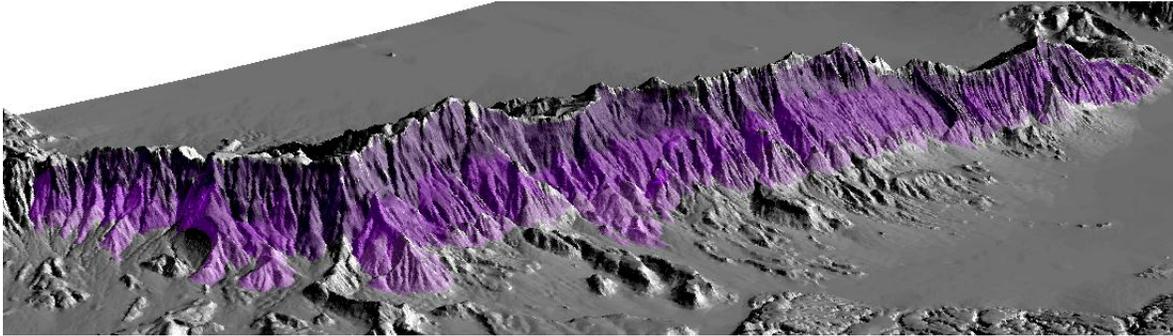


Figura V.19.B.- En esta imagen 3d con vista el NE, se aprecian las laderas meridionales de Sierra La Madera, destacando sus fuertes inclinaciones y su relativa homogeneidad; al argumento por el que estas unidades se clasificaron como ETPM fue el modelo estructural de esta sierra, pues la mayoría de las unidades se encuentran en lo que sería el plano de falla donde la secuencia sedimentaria se encuentra expuesta y modelada.

Modelo estructural simplificado de Sierra La Madera

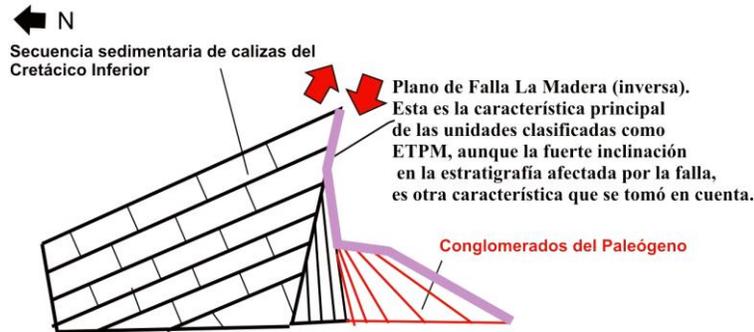


Figura V.19.C.- Se encuentra un modelo idealizado de como es el arreglo estructural de Sierra La Madera, en donde la porción que corresponde a las laderas Sur (delimitadas en color morado); la influencia de la falla inversa en el acomodo de los echados y su plano de falla dan las bases para la clasificación de Endógeno plegado tectónico modelado.

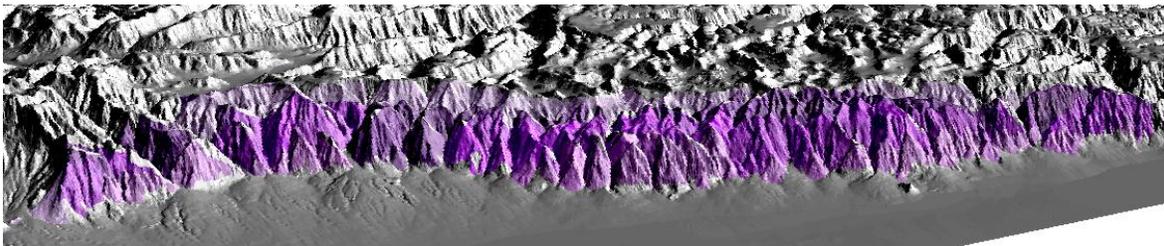


Figura V.19.D.- En esta vista hacia el Norte se aprecian las laderas meridionales de Sierra La Fragua, a diferencia de Sierra La Madera la razón por la que estas unidades entraron dentro de esta clasificación es que además de ser afectadas por una falla inversa (Falla de San Marcos), se encuentran afectadas por *Horses* o cabalgamientos que son fallas de carácter inverso que provocan una duplicación en la secuencia estratigráfica, estructuras que han sido documentadas por Chavez-Cabello (2005) y que se encuentran representadas en la figura III.14.

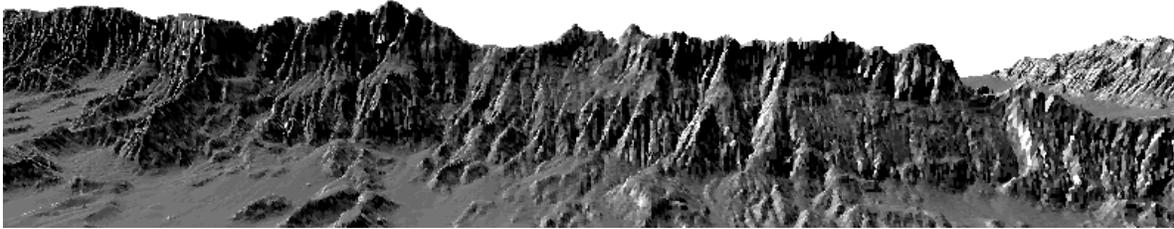
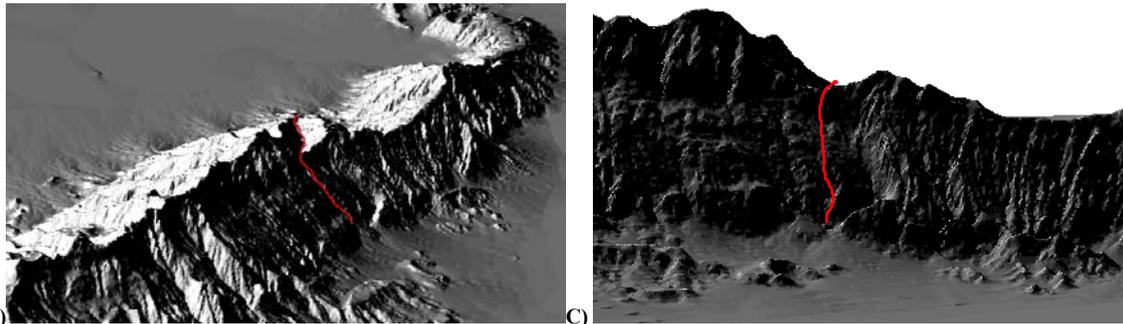


Figura V.20.A.- Ladera meridional de Sierra La Madera (vista hacia el norte). A la derecha de la imagen se aprecia el rasgo en “L” invertida, en cuya parte superior está un puerto topográfico.



B)
C)
Figura V.20. En B), se enmarca el lineamiento que divide a la Sierra La Madera en dos porciones, el cual genera el puerto topográfico o *abra*. En C) se señala que ese lineamiento coincide con un límite en el que la porción este de la sierra es inferior altitudinalmente.

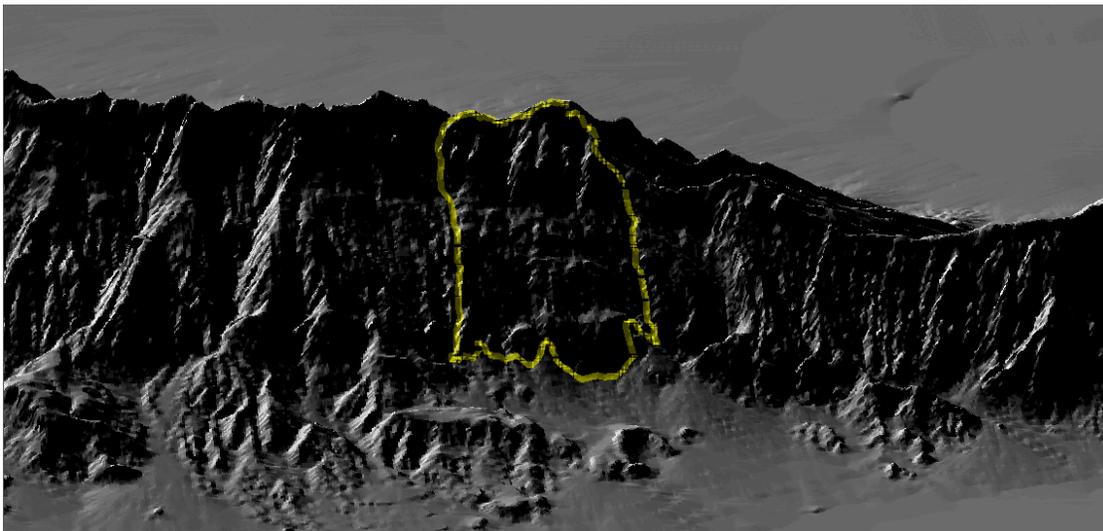


Figura V.21.- En la parte central de la imagen, en la porción superior de la zona delimitada, se aprecia la morfología que rompe on la homogeneidad del SM 13, cuya génesis está asociada a Falla La Madera; esto se piensa al ser escarpada, misma características que se encuentra en las porciones superiores de las laderas meridionales de la Sierra La Madera, que como se menciono en el capítulo de Medio Geográfico, muy probablemente este asociado a la falla inversa ya señalada.

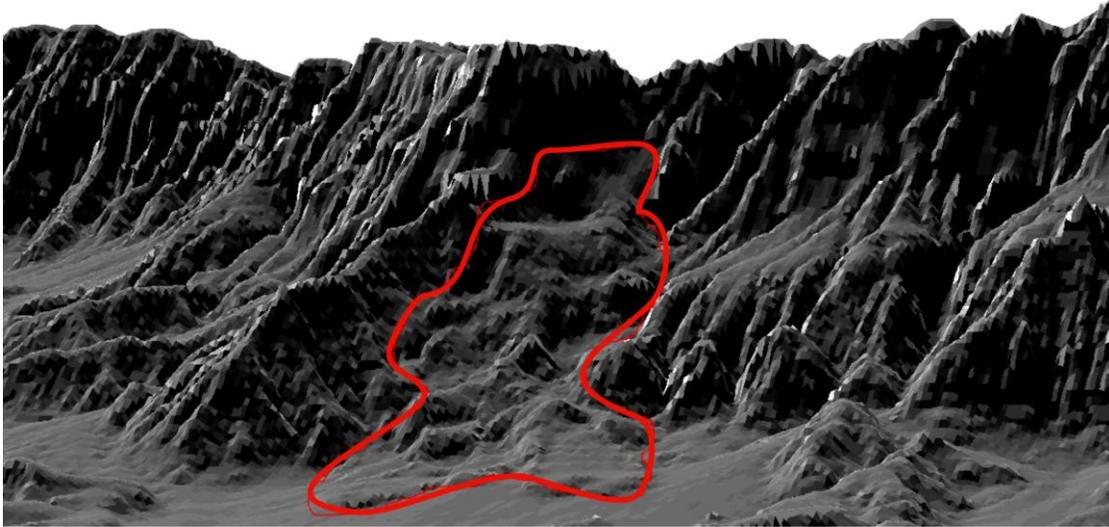


Figura V.22.- Ladera meridional de la Sierra La Madera (vista hacia el NW). En la porción central se percibe la cicatriz de desprendimiento del flujo de derrubios y en su parte inferior central está su depósito.



Figura V.23.- En A), vista hacia el W, se aprecia la inclinación casi vertical de los estratos y una ligera tendencia de los echados hacia el N. En B), una perspectiva diferente de la misma área.

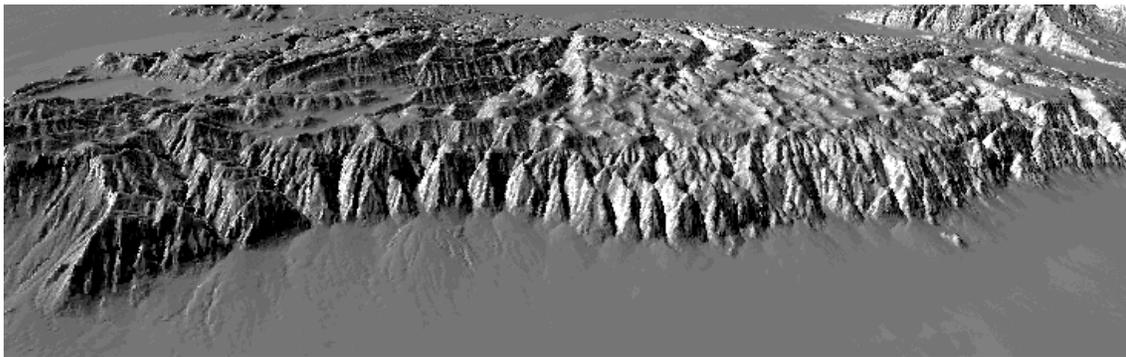


Figura V.24.- El SM51 (vista hacia el norte) es el que está más influenciado por la Falla de San Marcos. Presenta fuerte incisión vertical, lo que da lugar a las facetas triangulares formadas por los cauces encañonados casi paralelos con distancias entre ellos de 1 a 2 km.

El SM51 presenta una morfología distintiva, es alargado y claramente tiene influencia de la falla inversa de San Marcos, cuyo lineamiento lo limita al Norte. De acuerdo con Chávez-Cabello (2005), la estratigrafía que corresponde al SM51 se caracteriza por la presencia de “*horses*” o cabalgaduras, por lo que la estratigrafía se repite, aunado a esto los echados a la largo de esta zona son variables, variables. Otro conjunto de rasgos asociado con ello, es la presencia de las facetas triangulares (**Figura V.25**).

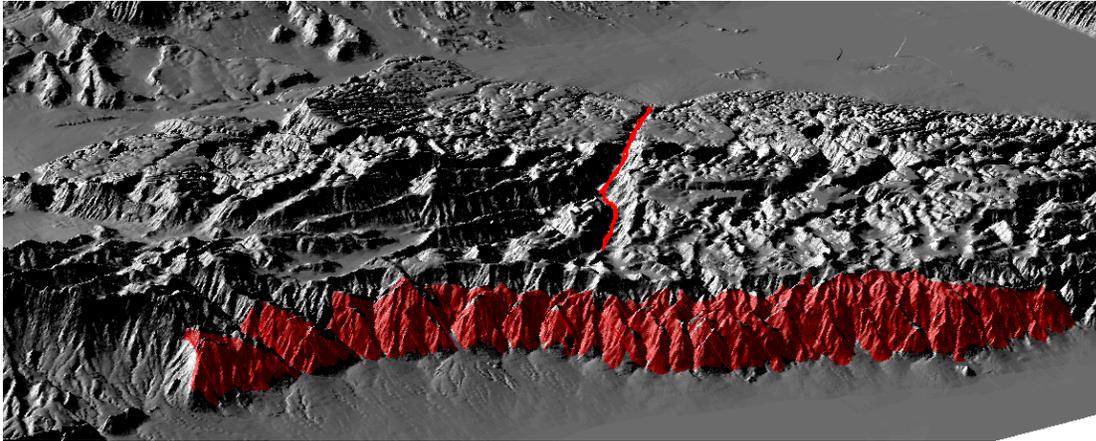


Figura V.25.- Se señalan las facetas triangulares del SM51 (vista hacia el norte), producto de la influencia de la Falla de San Marcos en la Sierra La Fragua, en la parte superior central existe un gran cauce encañonado con dirección N-S.

V.3.a.2.b.- Laderas de montaña bajas del Paleógeno de conglomerados

Se localizan en algunos sistemas al sur de *Sierra La Madera* siendo, en forma de laderas de montaña relicto o “cerros testigo” de carácter monoclinal, cubiertas parcialmente por depósitos aluviales calcáreos de los piedemonte. En la **Figura V.26** esta su localización; su litología corresponde a conglomerados del Paleógeno, respecto a las calizas de cretácico que predominan en las sierras. Presentan algunas superficies cumbrales (**Figura V.27**).

Aunque los conglomerados del Paleógeno son rocas más jóvenes las calizas; por la situación estructural del plegamiento, producto de la orogenia se encuentran a una altura inferior, debido a que el anticlinal La Madera se expresa topográficamente como una Sierra, las litologías más jóvenes estarán en los márgenes inferiores y las más antiguas adentro y con una altura superior. Estas unidades han sido modeladas por su poca

resistencia litológica a la acción fluvial. Existe alta densidad de cauces y algunos son estrechos. Por posición topográfica se determinaron laderas superiores e inferiores.

En el SM18, están piedemontes de Sierra La Madera, y en segundo término, de Sierra La Fragua. En sus niveles inferiores presentan rasgos fluviales, en las superiores su área tiende a ser angosta. En el SM19 hay mayor complejidad, por su morfología irregular que tiene en sus niveles superiores, donde tienen hechura de barra angosta, pero en los interiores se da en ensanchamiento del sistema, esto es, tres elevaciones divididas por cauces que tienen un amplio desarrollo.

El SM20 es homogéneo, con superficies cumbrales, tiene menor modelado, angosto en su parte superior y ancho en su base, tiene rasgos mesiformes, y en sus extremos tiene laderas muy modeladas. El SM21 tiene mayor complejidad con 16 subsistemas, con diferentes características de área, forma, modelado y rasgos morfológicos. Tienen poca disección además de que sus límites con los piedemontes son difusos. En la Sierra La Fragua están asociados a la Falla de San Marcos. Para la *Sierra San Marcos* lo que sucede es que son rocas más antiguas, que afloraron y se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos.

V.3.a.3.- Relieve estructural complejo modelado

En esta clase de relieve, se incluyen las unidades que tienen una complejidad en su génesis, pues no muestran un claro origen asociado a plegamiento o fallamiento, presentan fuerte influencia de ambas; además su estratigrafía es compleja, lo que dificulta su clasificación.

V.3.a.3.a.- Laderas de montaña altas del Cretácico Inferior de calizas

Localizadas dentro del área de Potrero Colorado, en el SM49 de la Sierra La Fragua-Potrero Colorado, las unidades se caracterizan por tener estructuras plegadas, fallas e incisión vertical fluvial, aunque son pocas en términos numéricos (**Figura V.28**).

RELIEVE ENDÓGENO ESTRUCTURAL TECTÓNICO-PLEGADO MODELADO BAJO (ETPM)

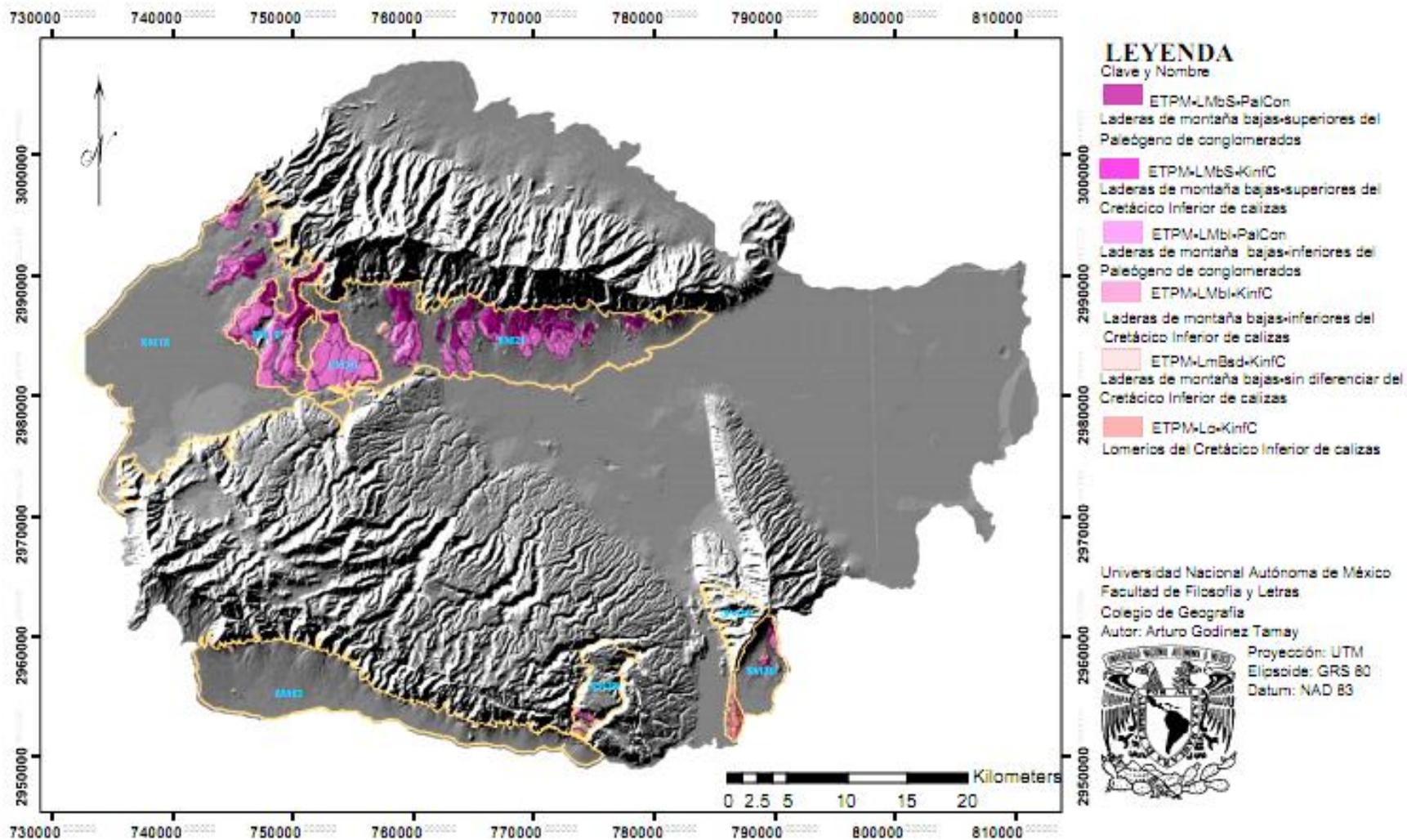


Figura V.26.- Las unidades principalmente se encuentran en la parte Sur de Sierra La Madera, rodeadas de depósitos.

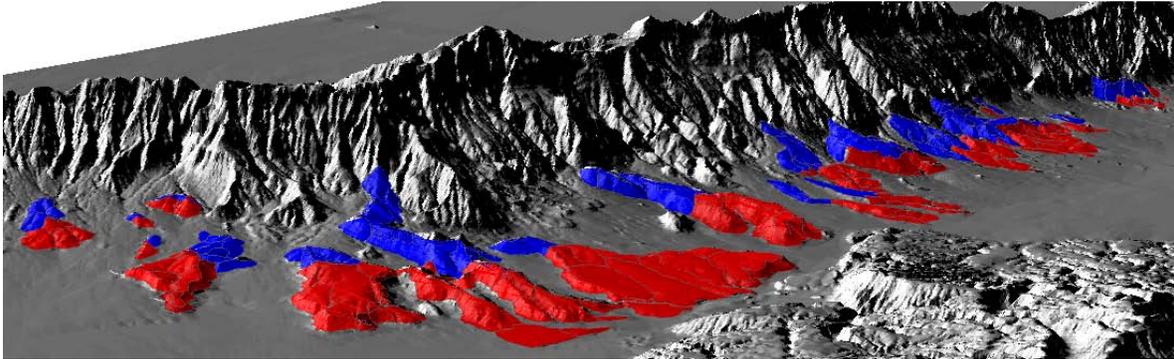


Figura V.27.- Vista el NE, al pie de Sierra la Madera se ubican las unidades mencionadas, enmarcadas en tonos; aclarando que los grandes cuerpos semi-mesiformes están divididos en dos niveles topográficos que son los superiores (azul) y los inferiores (rojo).

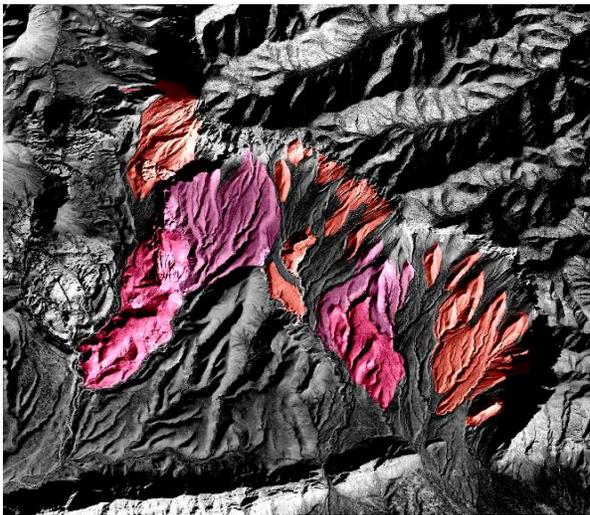


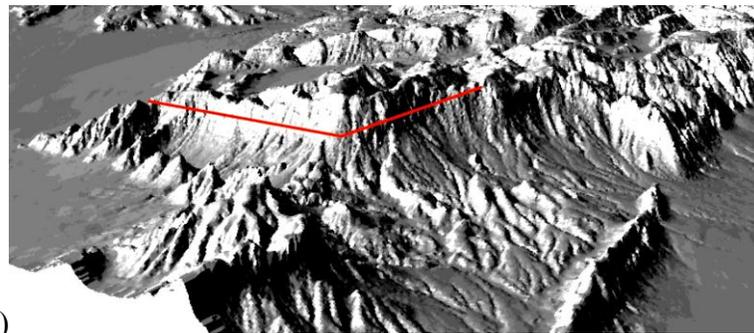
Figura V.28.- En color púrpura fuerte están las laderas superiores y en claro las laderas inferiores, son poco abundantes y se encuentran rodeadas de depósitos; en color rojo son laderas no diferenciadas por criterios de Altura relativa y Posición topográfica

Sus unidades se encuentran dentro del Anticlinal recumbente Sierra La Fragua Granizo. Son el producto del afloramiento del núcleo del anticlinal por la erosión, aunque este particular modelado está ligado a una característica casi única en el área que es la presencia de fallas normales antiguas, que se encuentran en las formaciones de finales del Jurásico e inicios del Cretácico, que antiguamente formaron morfologías de fosas y pilares.

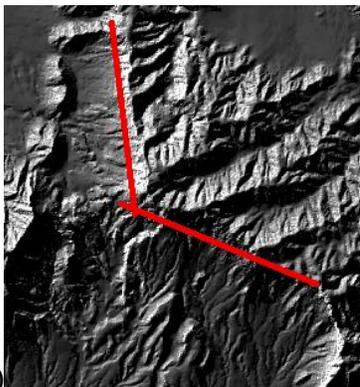
También está la presencia de fallas laterales derechas (Chávez-Cabello; 2005), estas fallas antiguas, que en la orogenia Laramide tuvieron influencia de la Falla de San Marcos, al ser modeladas, rompen con la homogeneidad del Anticlinal Sierra La Fragua-Granizo. La historia geológica la que tiene especial importancia para la mayoría de las unidades que tenemos en el SM49. En la **Figura V.29**, se aprecia la morfología amurallada, producto de la influencia de varias estructuras geológicas secundarias (**Figura III.9**).

V.3.a.3.a.- Laderas de montaña bajas del Cretácico Inferior de calizas

Es la clase menos abundante del área, y presentan las mismas condiciones geológicas para las laderas que son altas, sus unidades estratigráficas son del Jurásico, afectadas por fallas antiguas que fueron plegadas y reactivadas en Laramide (**Figura V.30**).



A)



B)

Figura V.29.- En A) se destacan los lineamientos convergentes, por las estructuras secundarias, formando una morfología *amurallada*. En B) se nota que las paredes tienden a hacer un ángulo casi ortogonal.

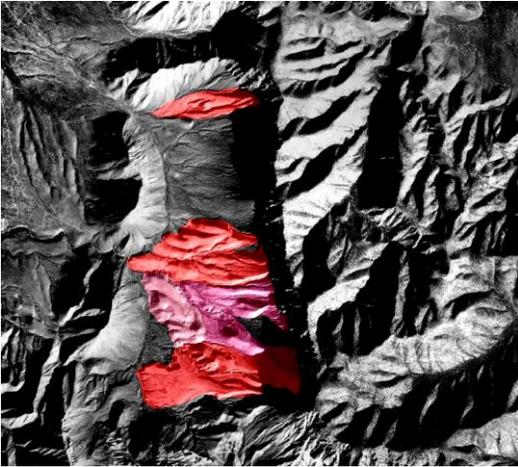


Figura V.30.- Se aprecian las unidades mencionadas, en purpura fuerte las laderas superiores y en claro las inferiores, en rojo las que no fueron diferenciadas, rodeadas parcialmente de depósitos.

V.3.a.4.- Relieve estructural modelado

Esta clase se determinó por la existencia de afloramientos aislados de las grandes fallas, aunque no forman parte de las grandes sierras plegadas; asimismo, no tienen amplia superficie, ni son abundantes, pero son representables cartográficamente.

V.3.a.4.a.- Lomeríos aislados en piedemonte del Cretácico de calizas.

Son elevaciones con altura relativa no mayor a 200 m, su origen estructural está asociado con cuerpos relictos de los eventos orogénicos, aunque no se precisó en esta clasificación, pues aunque tienen control estructural, pueden pertenecer simultáneamente a un dominio de plegamiento o de falla inversa. Se clasificaron de esta forma por su escasa cantidad y poca superficie. Otro factor que se tomó en cuenta es su lejanía de los lineamientos principales de las sierras y por su aislamiento.

V.3.a.4.b.- Lomeríos aislados en planicie del Cretácico de calizas

Se localizan en el Valle de Cuatrociénegas, corresponde al SM12, en su parte oeste. Son pocas las unidades de este sistema. Las que se encuentran al norte están próximas al piedemonte de Sierra La Madera y las unidades al sur están próximas al de Sierra La Fragua. Existen unidades aisladas localizadas en el extremo SW de la Sierra La Fragua. Por las tonalidades en las ortofotos y las que muestran los compuestos en color de la imagen

satelital, aparentan tener la misma litología, por lo que aunque están aisladas estratigráficamente, tienen una pertenencia evidente con las elevaciones aledañas.

V.3.b.- Relieve exógeno

En esta clasificación se encuentran las unidades que son producto de la erosión, transporte y depósito de material, siendo en estas unidades en donde se corrobora el hecho de que existe un balance de masa, en donde se involucra el ciclo de las rocas (intemperismo, transporte y depósito) y el ciclo del agua.

V.3.b.1.- Relieve exógeno acumulativo aluvial

Está conformado por conjuntos de abanicos aluviales y coluviales, al pie de los frentes montañosos, siendo estos cuerpos de depósitos similares a un cono en donde la parte más angosta o ápice es la fuente de material, mientras que la base del cono es el límite hacia donde llegan los depósitos. Al considerar el criterio de homogeneidad relativa (Tapia-Varela y López-Blanco, 2002), estos conos coalescentes delimitados se clasificaron como piedemontes. Estas unidades son variables en tamaño, inclinación, y forma. Las más próximas a las laderas de montaña son de origen coluvial. Además de estos depósitos, también están algunas planicies que se encuentran sobre todo en Sierra La Fragua y al Norte de Sierra La Madera. Las unidades que entran en esta clasificación están representadas en la **Figura V.31**.

V.3.b.1.a.- Piedemontes del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos

Entran en esta clasificación aquellos rasgos que tienen una área ápice bien delimitada y una porción distal con forma semicircular, esto es, un abanico aluvial. Se clasificaron estos piedemontes así, por tener sus rasgos bien conservados, es decir, que no estén tan disecados que se dificulte su reconocimiento y que no hayan sido truncados por otros abanicos sobrepuestos. Estos piedemontes se presentan en las tres sierras, siendo las unidades más abundantes dentro del área. Los piedemontes que se encuentran en Sierra La Madera (SM01 La Madera) forman parte del piedemonte inferior, y tienen una pendiente casi horizontal. Estas unidades se encuentran representadas en la **Figura V.31**. El SM18

Piedemonte Loma Redonda, se localiza en el extremo occidental del área de estudio. Tiene dos fuentes de material, las sierras La Madera y La Fragua, ocupan casi 240 km², siendo el sistema de piedemontes con mayor superficie, con una pendiente predominante de 2°. Asimismo, en los piedemontes que se forma al pie de la Sierra La Madera, están presentes cerros relictos, que tienen sus propios piedemontes.

Para el SM21 Piedemonte El Abra, se dividió en tres pisos topográficos. Los piedemontes de este sistema tienen cerros relicto, los cuales tienen una distancia desde su ápice hasta su nivel de base de siete km y una longitud de W-E mayor a 34 km, y sus pendientes de 2° hasta 8°. Parte de este sistema se caracteriza por tener lo que aparenta ser un depósito de flujo de derrubios, su frente está conformado por un depósito heterométrico con fragmentos de gran tamaño, que van de unos cuantos decímetros hasta 10 m de altura. Estos depósitos no presentan una estratificación visible. Como se señaló en la **Figura V.22**, el área que fue afectada por este proceso gravitacional es grande y el evento fue de magnitud significativa para que se pudieran transportar esos fragmentos a grandes distancias.

La fuente de material de este depósito proviene de las laderas inclinadas de sistema SM17, y como se menciona antes, el desplazamiento de esos grandes fragmentos de caliza fue largo e incluso depositó en porciones de piedemonte y planicie con inclinaciones casi horizontales. Por ser un depósito de flujo de derrubios es normal que sea caótico en su arreglo y heterométrico en sus fragmentos (**Figura V.32**). Aunque no se sabe qué desencadenó el proceso, es posible que haya sido una lluvia extraordinaria, debido a que la configuración de los depósitos, es semejante a la que se presenta cuando hay influencia hídrica torrencial (**Figura V.22**).

Es difícil estimar la edad del depósito, aunque se tienen algunos elementos, como la presencia de cactáceas y *lapiáz* en los fragmentos, cuyo desarrollo implica tiempo considerable. Por los rasgos morfológicos vistos en las ortofotos, el frente de este depósito de flujo de derrubios todavía es abrupto, lo cual ayuda a pensar que en términos geológicos es posible que sea reciente (**Figura V.33**).

RELIEVE EXÓGENO ACUMULATIVO ALUVIAL (EA)

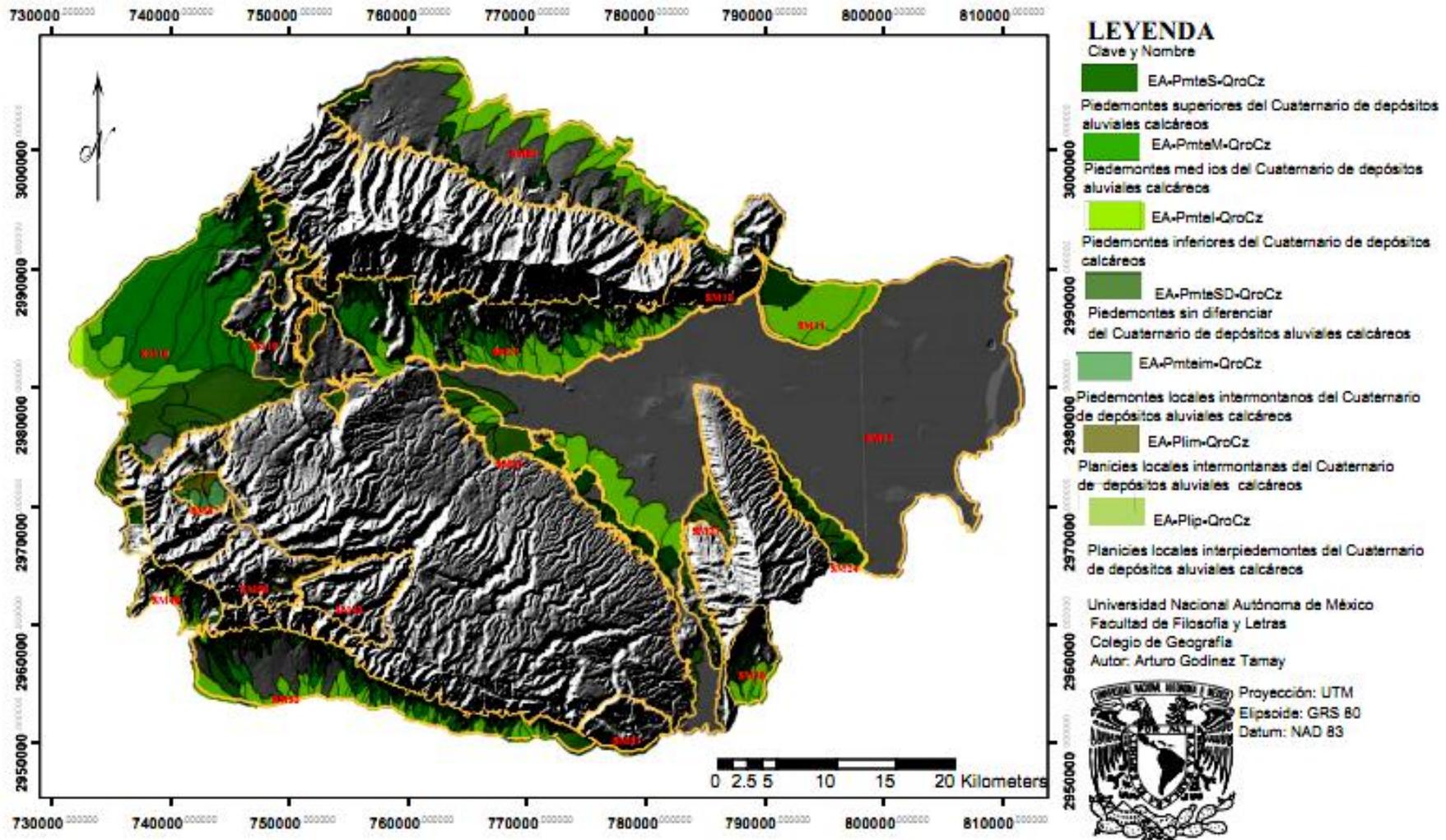


Figura V.31- Unidades que se encuentran en derredores de todas las sierras, siendo de los piedmontes más abundantes.



Figura V.32.- Tanto en las figuras A) y B) se dan idea del gran tamaño de los fragmentos, misma característica que es contrastante con el tamaño de los depósitos de piedemonte circundante.

El SM31 Piedemonte San Lorenzo, se encuentra al norte de Sierra La Fragua, la que funciona como su fuente de material, la mayoría de sus unidades son acumulativas. Desde su ápice hasta la planicie de Cuatrociénegas tiene una longitud aprox. de cuatro km con una dirección NW-SE de 25 km aprox. y con inclinaciones de 0° a 4° . Asimismo, presenta una transición gradual con la planicie.



Figura V.33.- Vegetación que ha crecido entre los fragmentos del flujo, siendo vegetación que necesita de varios años para crecer, además de la presencia de lapiaz en dichos fragmentos; aunque para saber una edad más precisa serían necesarias técnicas de datación

En el SM52 Piedemonte El Hundido, fue el sistema en donde se delimitó la mayor cantidad de piedemontes de abanicos y cuyas fuentes de material son también evidentes. Presentan una distancia máxima desde su sitio de aporte, hasta la planicie, de casi siete km, tienen en

conjunto una longitud de aprox. 34 km e inclinaciones de 2° a 8°. El SM23 Sierra San Marcos-Cañón San José, sirve de fuente de material de estos piedemontes. Este sistema de piedemontes en su límite con la planicie tiene sus frentes proluviales semicirculares característicos.

Para el SM23-Sierra San Marcos-Cañón San José, que sirve como fuente de material, estos piedemontes también son los más abundantes, aunque este sistema es de un tamaño menor respecto a los otros; en su límite con la planicie tiene las geometrías semicirculares mejor definidas, siendo la morfología de abanico la más representativa en estos sistemas a pesar de su menor tamaño; lo que está relacionado, a los lineamientos de la Sierra de San Marcos, que coinciden con las fuentes de aporte de material. Conforme se avanza al Norte, este sistema se hace angosto, al igual que la Sierra de San Marcos, haciendo una relación entre el tamaño de la fuente de sedimentos y sus lineamientos, pues en la parte SE donde la Sierra es más grande y con más cauces, el piedemonte es mayor, pero al Norte la Sierra ya no tiene estas características tan notoriamente por el angostamiento, ya mencionado.

El SM27 Piedemonte Nuevo Atalaya, tiene una situación particular dentro de la Sierra de San Marcos, ya que uno de los piedemontes sigue la dirección de esta sierra que geológicamente corresponden a dos pliegues recumbentes, y otro sigue la dirección NW-SE, esto se da por un fuerte control estructural. Además, está otro piedemonte que va en dirección SW en el sentido de la disección de las laderas.

En el SM11 está uno de los piedemontes más característico, ya que la configuración de sus unidades encaja con la de abanicos aluviales individuales, asimismo, es un sistema de piedemontes que mejor conserva su morfología original. Otra de las razones de su individualidad se da por la influencia humana, por la presencia de la localidad de Cuatrociénegas de Carranza, ubicada en el centro del abanico, con actividades agrícolas intensivas, con buena presencia de humedad, además de ser el área de desembocadura de los valles del norte, a través del cauce encañonado que cruza al SM10, en el oriente.

Una propiedad de esos piedemontes, además de su origen, es la variabilidad de su inclinación, conforme se va a la zona distal se vuelven menos inclinados, con valores que van de 4° a 16°. Asimismo, están algunos piedemontes que son de origen coluvial, esto es, son conos de deyección, con pendientes fuertes y que no tienen una clara zona de aporte de material; localizados generalmente, en las partes más próximas de las sierras.

V.3.b.1.b.- Planicie local intermontana del Cuaternario con depósitos aluviales calcáreos

Están entre las laderas de montaña, principalmente en los fondos de los cauces encañonados dentro de las sierras, corresponden a niveles de base locales debido a que los procesos fluviales terminan dejando depósitos que entraron dentro de esta categoría; se localizan principalmente al Sur y Oeste de Sierra La Fragua, su longitud y tamaño son variables como se aprecia en el *Mapa de unidades morfogénicas del área de Cuatrociénegas, Coahuila*

V.3.b.1.c.- Planicie local interpedemonte del Cuaternario con depósitos aluviales calcáreos

Se encuentran principalmente al Norte de la Sierra La Madera, su origen se asocia a la formación inicial de un piedemonte y a una disección fluvial posterior intensa, con la consecuente formación de una planicie aluvial cuaternaria de depósito en el fondo del cauce, aprovechando principalmente, las disyunciones estructurales para la incisión vertical fluvial.

V.3.b.2.- Relieve exógeno acumulativo-erosivo aluvial

Es una clase morfogénica compleja que resulta de un fuerte modelado fluvial cuaternario, inicialmente deposicional y posteriormente erosivo. Los límites de estos piedemontes se presentan de manera difusa, tanto hacia la parte superior, en relación con las laderas de montaña, como hacia la parte inferior en los límites con las planicies aluviales acumulativas. La pendiente, la configuración de la red fluvial y las tonalidades fotográficas aéreas, sirvieron de criterios delimitadores. Se encuentran representados en la **Figura V.34**.

Su presencia es mayor en los sitios en donde la distancia es grande desde el área de aporte de materiales hasta su depósito.

V.3.b.2.a.- Piedemontes del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos.

El número de piedemontes dentro del SM01 Piedemonte La Madera, es amplio, y se encuentran disecados y erosionados, ocupando varios pisos topográficos. Además de la Sierra La Madera, existen otras áreas de aporte de materiales, como son los piedemontes acumulativos mayores de este sistema. En el SM21 Piedemonte El Abra, esta clase de relieve es escasa y forma parte de los depósitos que provienen de las laderas relicto, correspondientes al SM19 Sierra La Madera-Cerro Veleta Grande y del SM17 Sierra La Madera 2. En el SM31 Piedemonte San Lorenzo existe una unidad con esta característica y su criterio para denominarla como compleja, fue que se encuentra truncada por el emplazamiento de otro depósito, pues dentro de ella tiene una unidad que es acumulativa.

En el SM52 Piedemonte El Hundido, se presentan en la parte oeste, esta es el área en que el piedemonte es más amplio desde el ápice a su zona distal, ocupando tres pisos topográficos, asimismo, se caracteriza por tener una disección intensa, por la cual su morfología original se ha perdido. Existe un pequeño piedemonte modelado que está en la parte septentrional extrema de la Sierra San Marcos y Pinos, el cual también se clasificó como unidad compleja.

V.3.b.3.- Relieve exógeno acumulativo fluvio-lacustre

Esta clase corresponde a unidades homogéneas, con una gran extensión, con poca variación en su altitud y pendiente. Se tiene como característica, el Río Mezquites, y los materiales depositados por el flujo hídrico generado por los manantiales que se forman en la planicie (**Figura V.35**).

RELIEVE EXÓGENO ACUMULATIVO-EROSIVO ALUVIAL (EAE)

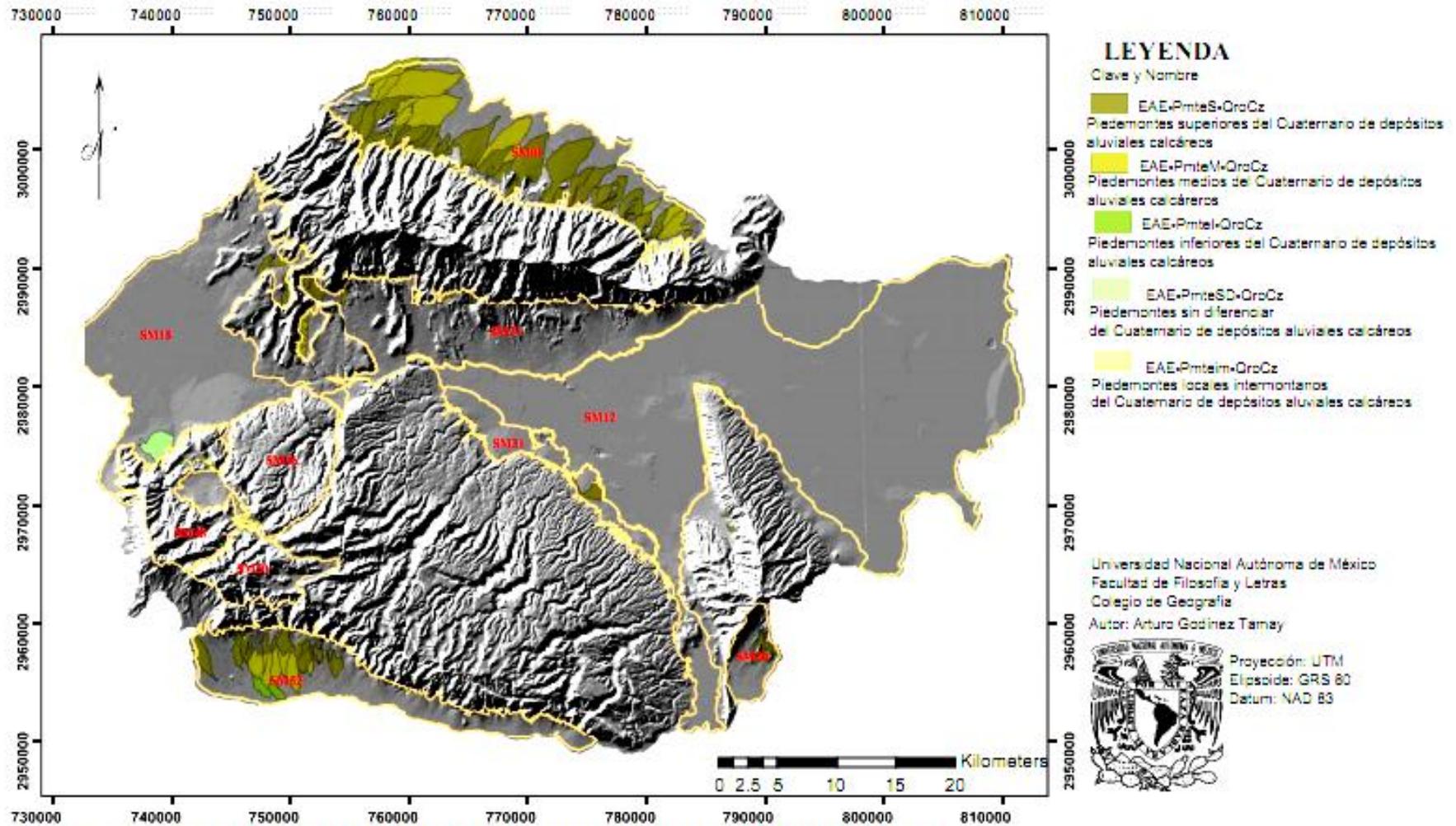


Figura V.34- Los piedemontes complejos son los menos abundantes y se encuentran principalmente en Sierra La Madera

V.3.b.3.a.- Planicie general superior del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos

Se localiza al oeste del valle de Cuatrociénegas, la litología no es homogénea, cuenta con vegetación por la presencia de humedad debido a la influencia de escurrimientos de los piedemontes, por estar en un nivel topográfico superior al del lado este el agua termina desplazándose siguiendo ese gradiente. Dentro de estas áreas se encuentran algunas colinas bajas y aisladas, además de los depósitos de yeso (**Figura V.35**).

V.3.b.3.b.- Planicie general no diferenciada del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos

Esta clase se encuentra rodeando la parte NW, N y el NE y E de la Sierra de San Marcos; pues tiene fuerte influencia de los depósitos de los escurrimientos de la misma sierra, de las pozas y del río Mezquites. Cuenta con una cobertura vegetal amplia, resultado del amplio aporte hídrico del escurrimiento superficial y subterráneo que recibe esa área. Estas unidades están al NE del valle de Cuatrociénegas. En estas unidades se localizan las pozas que se mencionaron inicialmente, cuyo origen no se ha explicado con claridad hasta ahora. Badino *et al.* (2004), distinguen dos tipos de pozas: las principales que son de color azul intenso, y las secundarias que son de color verde.

La mayoría de las pozas tienen en su base arena y grava; las que tienen estromatolitos son cónicas y tienen profundidades de hasta 10 m. Por las evidencias de campo y de la información antecedente, parece que existe una relación directa entre la Sierra de San Marcos y Pinos y la presencia de las pozas.

Las pozas se localizan al lado de la Sierra de San Marcos y Pinos, sobre todo de sus laderas W y E. Badino *et al.* (2004) describen que las pozas oeste se encuentran a mayor altitud que las del este, además de que éstas últimas están más alejadas de la sierra. Esto es por la morfología de las sierras, pues el flanco oeste tiene un echado con mayor inclinación, mientras que en el este es más suave (Badino *et al.*, 2004).

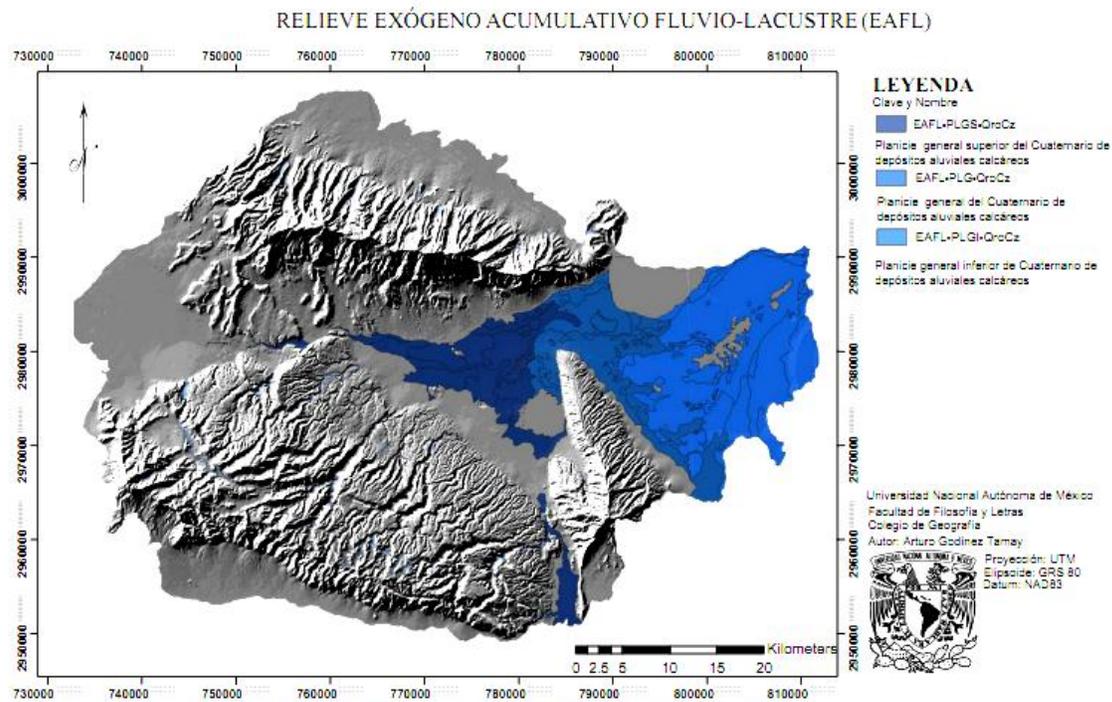


Figura V.35.- Estas unidades se encuentran principalmente en la parte centro-este, siendo las más homogéneas y de mayor tamaño

Se puede interpretar que las pozas son producto de procesos disolutivos o kársticos y presentan una morfología de dolinas. Se ha planteado un esquema evolutivo de tres fases: 1. Formación de pequeños conductos freáticos semicirculares de poca profundidad. 2. Los conductos se ensanchan generando un pequeño sumidero semicircular. 3. El nivel del agua descende y las paredes se suavizan.

El esquema evolutivo considera, que la disolución también se puede presentar en los depósitos fluvio lacustres calcáricos. Considerando las características hidrológicas del lugar, SPP (1981), en su carta de aguas subterráneas, clasifica a los conjuntos montañosos, como una unidad geohidrológica, en donde se tiene material consolidado con posibilidades bajas de contener agua, mientras que el Valle de Cuatrociénegas se encuentra en una de material poco consolidado con posibilidades altas de contener agua.

V.3.b.3.c.- Planicie general inferior del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos

Comparte características de las planicies anteriores, es muy homogénea y presenta depósitos de yeso más diseminados. Altimétricamente, se encuentra más abajo que las demás planicies, por lo que el agua de las planicies, superior y media, se deposita en esta área, por tanto tiene mayor cobertura vegetal.

V.3.b.4.- Relieve exógeno acumulativo fluvio-aluvial

En esta clase están las planicies que se formaron en el fondo de los cauces encañonados entre laderas de montaña, y que posteriormente a la actividad de incisión erosiva fluvial, fueron rellenadas por depósitos aluviales calcáreos.

V.3.b.4.a.- Planicies locales intermontanas del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos

Aunque son escasas, tienen una extensión considerable. En la Sierra La Madera están en el SM4 siguiendo los lineamientos. En el SM10 están dentro del extremo oriental de la sierra. Están señaladas en la **Figura V.36**.

V.3.b.5.- Relieve exógeno acumulativo eólico

Son las unidades más homogéneas en el área de estudio, además de ser de las más dinámicas, pues los procesos actuales de transporte y deposición son producto de la actividad eólica, aunque no tienen una extensión considerable.

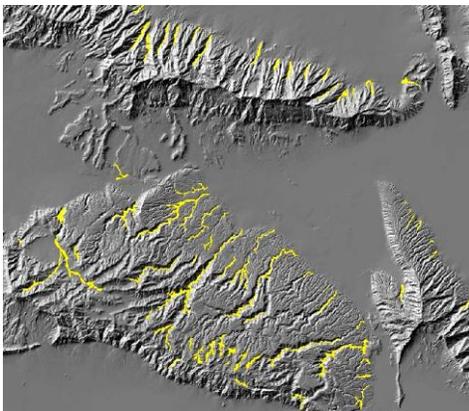


Figura V.36.- En color claro, se encuentran enmarcadas, asociadas a rasgos lineales correspondientes a cañones, aunque visualmente no son muy llamativas son abundantes, aunque para este caso solamente se delimitaron las de mayor tamaño

V.3.b.5.a.- Planicies del Cuaternario de depósitos de Yeso

Se encuentran dentro del valle de Cuatrociénegas, localizándose el depósito más grande en su lado oeste, cerca de la Sierra de San Marcos, ocupando una superficie de forma semicircular. Estas unidades de dunas están formadas por los depósitos de Yeso que se han generado por procesos intensos de evaporación del agua subterránea que asciende por capilaridad desde el manto hídrico, asimismo, asimismo retrebajado por la acción eólica constante del medio árido.

La Laguna Churince no es alimentada desde abajo, sino que es a partir de una surgencia, que se forma en el límite inferior del piedemonte de la Sierra San Marcos y Pinos. En su punto de nacimiento, forma una poza que tiene dimensiones de 60 m por 30 m, después drena hacia las dunas y posteriormente a la Laguna Churince en un recorrido de más de dos km (**Figura V.37**).

Del lado este de la Planicie, los depósitos son pequeños y tienen una aparente orientación SW-NE, están menos concentrados y sus límites son difusos. Estos depósitos anteriormente cubrían mayor extensión, pero han sido sobreexplotados por las compañías mineras, lo que ha influido negativamente en su extensión, aunque no se ha hecho un inventario de las pérdidas del Yeso. Otro elemento para entender el interés de explotación de estos importantes depósitos, es por su pureza, que es del 95%.

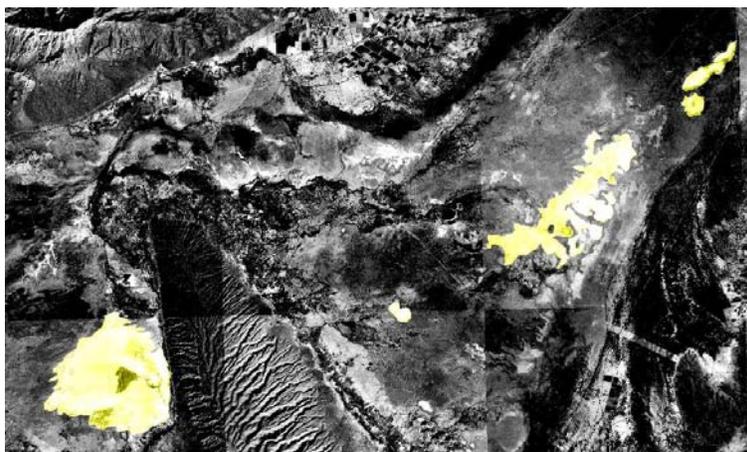


Figura V.37.- Enmarcadas en color amarillo se encuentran los depósitos eólicos, conocidos localmente como dunas de yeso, señaladas en el mosaico de ortofotos.

V.3.b.6.- Relieve exógeno erosivo

Esta clase morfogenética se refiere a unidades que muestran una clara evidencia de la actividad fluvial erosiva, coincidiendo estas unidades con las paredes de los cauces encañonados.

V.3.b.6.a.- Laderas de montaña de pared de cañón del Cretácico Inferior de calizas

Se encuentran en todas las sierras, siendo las más representativas las de la Sierra La Fragua. Están asociadas con una intensa actividad fluvial de incisión vertical, que disecó la secuencia sedimentaria. Se caracterizan por sus pendientes abruptas, con valores predominantes de más de 45°, están asociadas a las laderas de origen Estructural Plegado Tectónico Modelado. Estas laderas tienen, además de su componente exógeno de fuerte incisión fluvial, los depósitos aluviales calcáreos de las unidades aledañas que se clasificaron como Planicies locales intermontanas de origen Fluvio-Aluvial (**Figura V.38**).

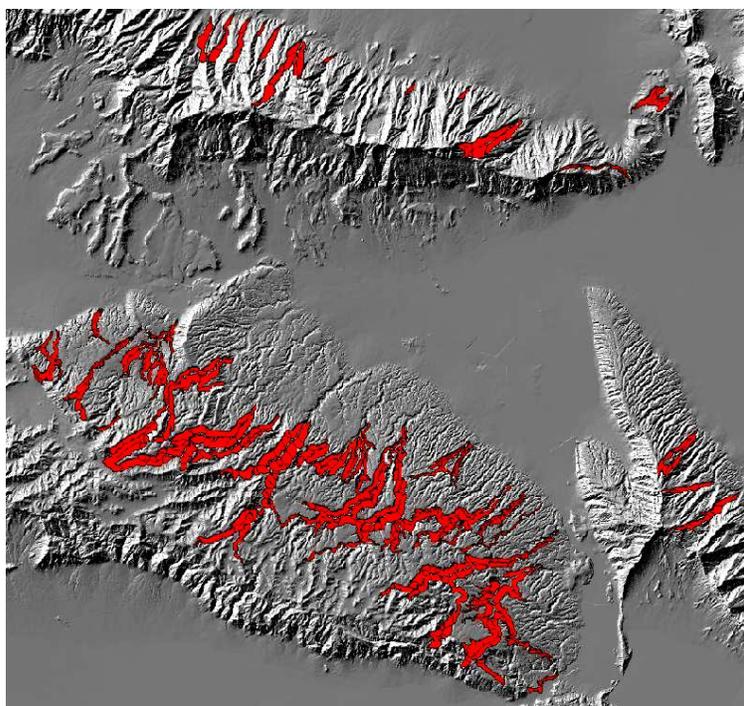


Figura V.38.- Resaltadas, se observan las unidades con rasgos los rasgos escritos anteriormente.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

A partir de la justificación para la realización de este estudio, los conceptos teóricos y metodológicos sobre los que está construida, los resultados obtenidos, tanto por la parte cartográfica y por el enfoque con el que se trató al relieve; y las conclusiones a las que se llegaron muestran coherencia con las metas planteadas. El enfoque metodológico de cartografía geomorfológica aplicado aquí, ofreció una visión adecuada para comprender el relieve y, en segundo término, el enfoque funcional es una perspectiva moderna, que brinda bases apropiadas para el estudio.

VI.1.- Conceptuales

Las estructuras geológicas secundarias mostraron una gran influencia en las clases morfogenéticas del relieve local, como lo es la Falla de San Marcos, con la singularidad de ser inversa, pero mostrar una expresión morfológica de falla normal, esto es, muestra facetas triangulares al Sur de la Sierra La Fragua.

La diversidad geomorfológica que presenta el área de estudio está dada, por plegamientos y fallamientos del evento Laramide, conjugados con la secuencia cretácica, lo que ha dado amplia heterogeneidad de clases morfogenéticas del relieve, presentándose fundamentalmente en la Geomorfología de la Sierra La Fragua y Sierra La Madera, siendo la delimitación de las unidades evidencia que corrobora lo formulado en la hipótesis.

Las Laderas de montaña de origen estructural plegado tectónico modelado fue la clase morfogenética más extensa, la cual está asociada con el modelo de cuña crítica, que propone Eguiluz de Antuñano (2000), en donde para esta porción del relieve mexicano, la presencia de capas de yeso en el evento Laramide, ayudó inicialmente al desplazamiento de las secuencias estratigráficas y posteriormente ocurrió el cabalgamiento, considerando esto, se puede afirmar que la actividad estructural por plegamiento para esta área fue la principal fuerza generadora del relieve.

La configuración del Valle de Cuatrociénegas, de dos triángulos invertidos es principalmente producto de la orientación de las estructuras resultantes de la orogenia Laramide, aunque, el arreglo estructural en el interior de los depósitos es complejo de representar, aun así se mostró su acomodo y orientación. Para este caso las estructuras expuestas y las sepultadas tienen un papel determinante en la morfología del valle.

Otro caso de cómo las estructuras sepultadas influyen en la geomorfología, lo es la Isla o Bloque de Coahuila, en parte porque su frente norte sirvió como alto estructural y simultáneamente como la Falla de San Marcos, siendo un cuerpo que desde el Jurásico influyó en la paleogeografía y durante la orogenia Laramide, funcionó como límite en los estilos de deformación de la región noreste y en la ubicación de la Falla de San Marcos. El rastro de esta falla sigue presente en la Sierra La Fragua.

Se encontró que el control estructural en la Sierra La Madera y La Fragua, es mucho más evidente en ciertas áreas, en donde los rasgos lineales coinciden con los cauces encañonados más visibles y con el desvío abrupto de la trayectoria de la red fluvial, en parte por la presencia de fallas normales, siendo esto razón para la presencia de los escalones altimétricos. Los lineamientos son aprovechados como líneas de debilidad para la actividad de incisión fluvial, aunque son abundantes en ambas sierras, no tienen una extensión importante.

La configuración del drenaje, en ciertas áreas, presentó patrones lineales (cauces de montaña rectos), es decir, conforme se desciende altimétricamente no cambian de trayectoria, incluso en las partes inferiores de algunas sierras, como en la Sierra La Fragua, en donde su red fluvial presentó homogeneidad marcada por la litología.

En la Sierra La Fragua se presentó una fuerte influencia estratigráfica, y dio como resultado la presencia de unidades y sistemas con rasgos mesiformes, también a nivel local se detectaron terrazas denudativas, asociadas con la poca inclinación de los estratos de las

calizas. Esos rasgos mesiformes se presentaron principalmente al sur de la sierra La Fragua. Mientras que en la porción norte de la misma sierra, la estratificación tiene un echado ligeramente más suave, en esa dirección, lo que generó un relieve de *cuestas*.

Aunque el trabajo está centrado en la morfogénesis, no se dejó de lado evidencias importantes de la dinámica que ha presentado el área en el holoceno, debido a que se detectaron procesos exógenos de gran magnitud, como lo demuestra el flujo de derrubios al suroeste de Sierra La Madera, cuyos depósitos heterométricos, con fragmentos de gran tamaño y de arreglo caótico, evidencian movimientos abruptos.

Por lo general, los piedemontes superiores son los que presentaron una mayor incisión vertical lo que genera el aporte de materiales para la formación de los piedemontes inferiores. El caso del piedemonte de abanico aluvial, en donde se ubica la localidad de Cuatrociénegas, es característico, porque muestra una relación funcional directa entre el tamaño del área de aporte de material (Valle de Calaveras) y el tamaño y forma del abanico generado.

Dentro de la diversidad morfogenética del área de estudio, también estuvo presente la generación de tipos de relieve formados por la disolución de las calizas. Una evidencia clara de ello está en el extremo nororiental de Sierra La Madera, en el SM10 existe una morfología circular que se interpretó como dolina. Las laderas de montaña de paredes de cauces encañonados que se encuentran principalmente en la Sierra La Fragua aparentemente no solamente están asociadas a procesos de incisión vertical fluvial, sino también a procesos de disolución, en donde el flujo hídrico aprovecha el fracturamiento de la roca caliza para erosionar y favorecer el proceso de disolución.

Directamente en campo se detectaron otros micro rasgos originados por la disolución de las calizas, que tienen importancia y que no están cartografiados, es el *lapiaz* que está presente en las sierras de San Marcos y Pinos y La Madera, lo mostraron los clastos de algunos depósitos de piedemonte.

En este contexto, el clima es una variable ligada directamente con la presencia de este modelado por la cantidad de agua para la disolución; incluso para el caso del área de Cuatrociénegas y su clima árido ha tenido influencia en la Geomorfología. Retomando lo que expresa Lugo-Hubp (1990), la parte Occidental de la Sierra Madre Occidental no tiene un Karst visible en el paisaje y el control estructural es mayor y existen rasgos conservados de estas estructuras; tocando este punto es importante retomar la influencia del relieve en el clima y viceversa; teniendo en cuenta que desde finales de la orogenia Laramide hace aproximadamente 40 M.a (Molina-Garza *et al.*, 2008), existía probablemente el efecto de la pared orogénica en las estructuras actuales y agregando que hace cinco millones de años se creó el Istmo de Panamá y con ello vino la creación de la corriente del golfo lo que trajo consigo humedad en el oriente de territorio actual. Ante estos dos elementos surge la posibilidad de que las condiciones atmosféricas actuales, que han estado actuando sobre el relieve, son recientes en términos geológicos y bajo esa proposición se corrobora la importancia de los agentes exógenos a través del tiempo, otro hecho que favorece esta idea son los hallazgos de huesos de osos grizzli, alces y bisontes lo que da a entender que el clima actual es relativamente reciente y contrastante con las condiciones anteriores, agregando la presencia de paleocanales que son aprovechados por la vegetación en temporada de lluvias (Badino *et al.*, 2004).

La presencia las pozas en las planicies, evidencian la presencia de un sistema kárstico subterráneo en funcionamiento, cuyo nacimiento es el resultado de una surgencia o manantial, por lo que está involucrado, de forma muy notoria en términos funcionales, el ciclo del agua, al haber una zona de recarga (Sierra de San Marcos y Pinos) y otra de descarga (las pozas en el Valle de San Marcos). Ese modelo del ciclo del agua puede funcionar para explicar la problemática actual del agua, entendiéndola como el efecto de la alteración de ese ciclo, es decir, las entradas del agua al sistema (áreas de recarga) no han sido afectadas, el problema está en la excesiva extracción y uso del agua de las surgencias (áreas de descarga).

El procesos de recarga hídrica subterránea que se da en la Sierra de San Marcos y Pinos es rápido en términos geológicos, lo demuestra la poca *edad* del agua (20 años) que se ha medido mediante dataciones isotópicas (Badino *et al.*, 2004). Existen tres principales fuentes de agua: la que alimenta la Poza Churince, la que fluye de Poza La Becerra y la de la Poza Azul, estas pozas se encuentran en la parte centro-oeste y aparentemente localizadas en un lineamiento NNW-SSE.

Los piedemontes presentan condiciones favorables para funcionar como áreas locales de recarga de agua subterránea, debido a que en sus porciones cercanas al ápice, es en donde sus fragmentos de depósitos son más grandes y angulosos lo que permite una mayor infiltración. Los piedemontes superiores son fuente de recarga y han permitido la agricultura de riego mecanizada.

No se observó gran influencia del Río Mezquites como agente morfogenético, debido a que no hay terrazas fluviales acumulativas visibles, además de que no presenta una configuración característica de su drenaje, sin embargo, la actividad fluvial está presente y ha actuado de manera sustancial, siendo prueba de ello, los depósitos fluviales del Valle de Cuatrociénegas.

VI.2.- Metodológicas

En este trabajo se alcanzaron los objetivos que se propusieron, desde el principal que consistió en la elaboración de la cartografía basada en el sistema del levantamiento geomorfológico del ITC, sobre unidades morfogenéticas, hasta los particulares que consistieron en la delimitación de estas unidades, mediante el criterio de homogeneidad relativa, siguiendo posteriormente su caracterización y clasificación, basada en la geología y en los criterios de altura relativa y posición topográfica. La descripción y el análisis del relieve estuvieron basados en el conocimiento geológico y topográfico del área.

Se expuso un análisis apoyado en las relaciones funcionales-causales, propuestas por Anhert (1998) y Hugget (2007), de la zona estudiada, entendiendo parte de su formación y desarrollo.

El criterio de homogeneidad relativa permitió una delineación y fragmentación del relieve, esto es, las unidades morfogénicas son fragmentos de relieve que, al ser vistos individualmente, permiten una descripción y análisis detallado y simultáneamente permiten agruparse para un análisis más general. Además de que sus límites coinciden con varias características geológicas, como son los lineamientos, que influyen en la red fluvial, por lo que estos rasgos, al coincidir en muchos casos como límites de unidades, sistemas y microbloques, quedan representados en la cartografía.

A causa de la gran extensión y heterogeneidad del área de estudio, que dieron como resultado una gran cantidad de unidades y clases morfogénicas, fue necesario hacer dos clases de agrupaciones, que fueron los sistemas morfogénicos y de microbloques. Esto partió de la necesidad de hacer una descripción, análisis e interpretación sencillas, sin perder el detalle deseado, para este caso, el concepto de sistema fue útil, pues ayudó a que la síntesis de clases morfogénicas tuviera una coherencia respecto a qué porciones del área de estudio se estaban analizando, evitando con ello una saturación de información, y destacando sólo los aspectos más relevantes para los objetivos del trabajo.

VI.3.- Operativas

Considerando las conclusiones conceptuales, metodológicas y el objetivo sobre el que se centró el trabajo, el sistema del levantamiento geomorfológico del ITC y el criterio de homogeneidad relativa, permitieron hacer una división del relieve del área de estudio, con bases geológicas, morfométricas y morfológicas, por lo que el concepto de unidades morfogénicas tienen fundamentos concretos, asimismo se consideraron los objetivos y las escalas temporales y espaciales del estudio.

El sistema tiene limitantes en su morfogénesis, pues depende en la información que se obtenga de la investigación bibliográfica y de su corroboración en campo, por lo que en áreas muy grandes y que presenten difícil acceso hay cierta incertidumbre y no se puede asegurar, en algunos casos, el contexto geológico en el que se encuentren las unidades; agregando que para algunas situaciones los límites de la morfogénesis son transicionales y no lineales. La percepción, conocimiento y experiencia que tenga el geomorfólogo al realizar el levantamiento en los resultados.

El sistema de clasificación morfogenética del relieve aplicado en esta tesis, da un orden que va de la general a lo específico, siendo este orden el que ayudó a que el informe de resultados tuviera una conexión que no se perdiera conforme se avanzaba en su desarrollo; no obstante, para este caso, la diversidad morfogenética que se encontró en el área, enlazada con su gran tamaño, generó complejidad en la construcción de la síntesis de resultados. El enfoque geomorfológico funcional resultó adecuado para estudios semi detallados, como el realizado aquí, aun cuando el tamaño del área de estudio fue considerable.

BIBLIOGRAFÍA

- Anhert, Frank. 1998. Introduction to Geomorphology. Arnold. U.K. 352 p.
- Badino, Giovanni, Tullio Bernabei, Antonio de Vivo, Italo Giulivo and Guisepe Savino. Bajo el desierto: El misterio de las aguas de Cuatrociénegas. La Venta Esplorazioni Geografiche, Italy, 2004. 288 p.
- Bolaños-Rodríguez, D. E. 2006. Análisis estructural en el Puerto de las sierras La Fragua, El Granizo, San Marcos-Pinos y áreas aledañas en la parte central de Coahuila. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. UNAM. México. 82 p.
- Campa, M.F., 1985, The Mexican Thrust Belt. Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific region: en Howell, D.G., Ed., Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas. Earth Sciences Series, n. 1, p. 200-313.
- Carrillo-Bravo, J., 1961, Geología del Anticlinorio de Huizachal-Peregrina al noroeste de Ciudad Victoria, Tamaulipas: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13(1-2), 1-98.
- Castillo-Rodríguez, M. E. 2006. Delimitación de unidades ambientales biofísicas en el Volcán La Malinche con base en el análisis de unidades morfogénicas. Tesis de Maestría. Posgrado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México. 135 p.
- Charleston, S., 1981, A summary of the structural geology and tectonics of the State of Coahuila, Mexico: in Schmidt, C. I., y Katz, S. B., Eds., Lower cretaceous stratigraphy and structure, northern Mexico, West Texas Geological Society Field Trip Guidebook, Publication, 81-74, pp. 28-36.
- Chávez-Cabello, G., 2005, Deformación y magmatismo del Cenozoico en el sur de la Cuenca de Sabinas, Coahuila, México: Juriquilla, Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Tesis Doctoral, 226 p.
- Chávez-Cabello, G., Aranda-Gómez, J.J., Molina-Garza, R.S., Cossío-Torres, T., Arvizu-Gutiérrez, I.R., y González-Naranjo, G.A., 2005, La falla San Marcos: una estructura jurásica de basamento multirreactivada del noreste de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario: Grandes Fronteras Tectónicas de México, tomo LVII (1), pp. 27-52.

- Chimal-Monroy, S. G. 1998. La cartografía en México, pasado, presente y Futuro. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México. 160 p.
- Comisión Nacional del Agua. 2009. Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional del Proyecto “Modernización del Riego del Valle de Cuatro Ciénegas Coahuila”. México
- Dickinson, W.R., and Lawton, T. F., 2001. Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico. *Geological Society of American Bulletin*, v. 113, n. 9, pp. 1142-1160.
- De Pedraza, G. J. 1996. *Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones*, Ed. Rueda. Madrid. 414 p.
- Eguiluz de Antuñano, S., Aranda G., M. y Marret, R., 2000, Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 53, pp. 1-26.
- Eguiluz de Antuñano, S., 2001, Geologic evolution and gas resources of the Sabinas basin in Northeastern Mexico: en C. Bartolini, R. T. Buffler, and A. Cantú-Chapa, eds., *The western Gulf of Mexico Basin, Tectonics, sedimentary basins, and petroleum systems: AAPG Memoir*, v. 75, p. 241-270.
- Garza, G. R. 1973., Modelo sedimentario del Albiano – Cenomaniano en la porción sureste de la Plataforma de Coahuila (Prospecto Parras, Estado de Coahuila): *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, v. XXV, pp. 311-340.
- Goldhammer, R. K., 1999, Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast México: *Geological Society of America*; en Bartolini, C., Wilson, J. R., y Lawton, T. F. Eds., *Sedimentary and tectonic history of North Central México, Special Paper*, v. 340, pp. 1-53.
- Gutiérrez E, M. 2008. *Geomorfología*. Pearson/Prentice Hall, Madrid. 898 p.
- Handschy, J. W. Keller, G. R., and Smith, K. J., 1987. The Ouachita system in northern Mexico. *Tectonics*, v. 6, p. 323-330.
- Hugget, R. J. 2007. *Fundamentals of Geomorphology*. New York: Routledge, 2nd edition. 381 p.
- Huizar-Álvarez, R., Oropeza-Orozco, O., 1989, Geomorfología kárstica de la región de Galeana, estado de Nuevo León: *Revista del Instituto de Geología*, 8(1), 71-83.

- Humphrey, W. E. 1956, Tectonic framework of northeast Mexico: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v.6, p. 25-35.
- Humphrey, W. E. and Diaz, G. T., 1956, Jurassic and lower Cretaceous stratigraphy and tectonics of northeast Mexico. Informe geológico NE-M-799. Inédito.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1974. Carta Topográfica El Venado G14-A51 Coahuila. Escala 1:50,000. México.
- 1974. Carta Topográfica La Victoria G13-B49 Coahuila. Escala 1:50,000. México.
- 1974. Carta Topográfica Lamadrid G14-A41 Coahuila. Escala 1:50,000. México.
- 1974. Carta Topográfica Reforma G14-A61 Coahuila. Escala 1:50,000. México.
- 1974. Carta Topográfica Rosario Viejo G13-B58 Coahuila. Escala 1:50,000. México.
- 1974. Carta Topográfica Valle El Hundido G13-B68. Coahuila. Escala 1:50,000. México.
- 2006. Carta Topográfica Cuatro Ciénegas G13-B59. Coahuila. Escala 1:50,000. México.
- 2009. Carta Topográfica Cerro de La Madera G13-B48. Coahuila. Escala 1:50,000. México.
- 2010. Carta Topográfica Tanque Nuevo G13-B69. Coahuila. Escala 1:50,000. México.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2004. Estudio hidrogeológico de los Acuíferos El Hundido y Cuatrociénegas. México.
- Imlay, W. R. 1936, Geology of the western part of Sierra de Parras, Coahuila., Mexico: Geological Society American Bulletin, v. 47, p. 1,091-1,152.
- Imlay, R. W., 1937, Geology of the middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico: Geological Society of America Bulletin, 48, 567-630.
- Imlay, R. W., 1940. Neocomian Faunas of Northern México. *Geol. Soc. America Bull.*, Vol. 51, pp.117-190, 21 pls., 7 figs.
- Imlay, R.W., 1944, Cretaceous formations of central America and Mexico, Am. Assoc. Petrol. Geol.v. 28, no. 8, pp. 1077-1195.
- Imlay, R.W, 1953, Las formaciones jurásicas de México: Boletín de la Sociedad Geológica de México, 16, 1-65.

- ITC. 2005. ILWIS 3.3. Academic User's Guide. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Enschede. 530 p.
- Jones, N. W., McKee, J. W., Marquez, D. B., Tovar, J., Long, L. E., and Laudon, T. S., 1984. The Mesozoic La Mula Island, Coahuila, México: Geological Society of American Bulletin, v, 95, pp. 1226-1241.
- Lehmann, C., Osleger, D. A., Montañez, I. P., Sliter, W., Arnaud-Vanneau, A., and Banner, J., 1999. Evolution of Cupido and Coahuila carbonate platforms, Early cretaceous, northeastern Mexico. Geological Society of America Bulletin, v. 111, no. 7, p. 1010 -1029.
- López-Blanco, J. 2005. Sistemas de información geográfica en estudios de geomorfología ambiental y recursos naturales, Facultad de Filosofía y Letras UNAM-CONACYT, Serie Seminarios, 187 pp.
- López-Ramos, E. 1979. Geología de México Tomo III. México, SEP. 466 p.
- Lugo-Hubp, J. 1990. El Relieve de la República Mexicana. Revista del Instituto de Geología., vol. 9. UNAM. México. pp. 82-111.
- Lugo-Hubp, J. 1988. Elementos de geomorfología aplicada: Métodos cartográficos. Instituto de Geografía. UNAM. México. 109 pp.
- Lugo-Hubp, J. 1986. Los métodos geomorfológicos. *Revista de Geografía*. INEGI. 1(1): 13-26.
- Martínez de Pisón, E. 1985. El relieve de la Tierra. Aula Abierta Salvat. Madrid.
- McKee, J. W., Jones, N. W., y Long, L. E., 1984, History of recurrent activity along a major fault in northeastern Mexico: *Geology*, v. 12, p. 103-107.
- McKee, J. W., Jones, N. W., y Anderson, T. H., 1988, Las Delicias basin: A record of late Paleozoic arc volcanism in northeastern Mexico: *Geology*, v. 16, pp. 37-40.
- McKee, J. W., Jones, N. W., y Long, L. E., 1990, Stratigraphy and provenance of strata along the San Marcos fault, central Coahuila, Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 102, pp. 593-614.
- McKee, J. W., Jones, N. W., y Anderson, T. H., 1999, Late Paleozoic and early Mesozoic history of the Las Delicias terrane, Coahuila, México: en Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F., (eds.), *Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-*

- central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper, v. 340, pp. 161-189.
- Mesomaya, Asociación Civil. 2007. Estudio sobre el cambio de uso de suelos en el Valle de Cuatrociénegas periodo 2002-2006. Programa de Desarrollo Regional Sustentable. SEMARNAT, CONANP. México.
- Molina-Garza, Roberto S. et al. 2008. Paleomagnetismo, estructura y geocronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ del plutón Cerro Mercado, Coahuila: Implicaciones para el término de la orogenia Laramide en el norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol.25, No.2, pp. 284-301.
- Morán-Zenteno, D.J., Silva-Romo, G., y Farias-Vera, H. 1976, Estudio geológico del área de Reforma, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 104 p.
- Padilla y Sánchez, R. J., 1986, Post-Paleozoic tectonics of North México and its role in the evolution of the Gulf of Mexico: *Geofísica Internacional*, v. 25, pp. 157-206.
- Peña-Monne, J.L. 1997. Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada. Geoforma Ediciones Logroño. Zaragoza. 227 p.
- Rodríguez-Martínez, J.M., Villareal-Sánchez, J, A. 2003. Disponibilidad de los recursos hídricos en el Valle de las Calaveras como una alternativa de abastecimiento de agua para el Municipio de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Departamento de Biotecnología. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo. México. 14 p.
- Santillán-Reyez, P. E. 2007. Estudio hidrogeoquímico del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila, Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. UNAM. México. 165 p.
- Secretaría de Planeación y Presupuesto. 1981. Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas. Escala 1: 250,000. Tlahualillo G13-6. Coahuila. México.
- 1981. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales. Escala 1: 250,000. Tlahualillo G13-6. Coahuila. México.
- 1983. Síntesis Geográfica de Coahuila. México, 165 p.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., y Speed, R. C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of México: *GSA Special Paper*, v. 278, 153 p.

- Servicio Geológico Mexicano. 2008. Carta Geológica. Ocampo G13-3. Escala 1:250,000 Coahuila. México.
- 2008. Carta Geológica Tlahualillo de Zaragoza G13-6 Coahuila. Escala 1:250,000. México.
- 2008. Carta Geológica Nueva Rosita G14-1 Coahuila. Escala 1:250,000. México.
- 2008. Carta Geológica Monclova G14-4 Coahuila. Escala 1:250,000. México
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Caliza Aurora. 4 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México. Formación Acatita. 3 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Formación Cupido. 4 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Formación Eagle Ford. 5 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Formación Indidura. 6 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Formación La Casita. 7 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Formación La Gloria. 6 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Formación La Mula. México. 4 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Formación La Peña. México. 3 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México. Formación Olvido. 4 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Formación San Marcos. 3 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México Formación Taraises. México. 6 p.
- 2010. Léxico Estratigráfico de México. Formación Treviño. 3 p.
- Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C.C., Campos-Madrigal, E. 2006. Elementos de Cartografía Geológica. Facultad de Ingeniería. UNAM. México. 292 p.
- Summerfield, Michael A. 2000. *Geomorphology and Global Tectonics*. Wiley. England.
- Tapía-Varela, G., López-Blanco, J. 2002. Mapeo Geomorfológico Analítico de la porción central de la Cuenca de México a escala 1:100,000. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol 19, núm 1., UNAM. pp. 50-65.
- USGS, 2005. Imagen Landsat ETM+ L71029041_04120051103_B10.TIF B10, tomada el 3 de Noviembre 2005, *United States Geological Survey*, acceso libre en: www.glc.f.umd.edu/index.shtml.
- Van Zuidam, R. A. 1986. *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. ITC, Smits Publishers, The Hague. The Netherlands.

442 p.

Verstappen, H.Th., 1983. Applied Geomorphology (Geomorphological Survey for Environmental Development). Elsevier, Amsterdam: 437 p.

Verstappen, H.Th., y Van Zuidan, R.A. 1991. El Sistema ITC para Levantamientos Geomorfológicos. Una Base para la Evaluación de Recursos y Riesgos Naturales. ITC publicación No. 10. Enschede, the Netherlands: 89 p.

Fuentes en Línea.

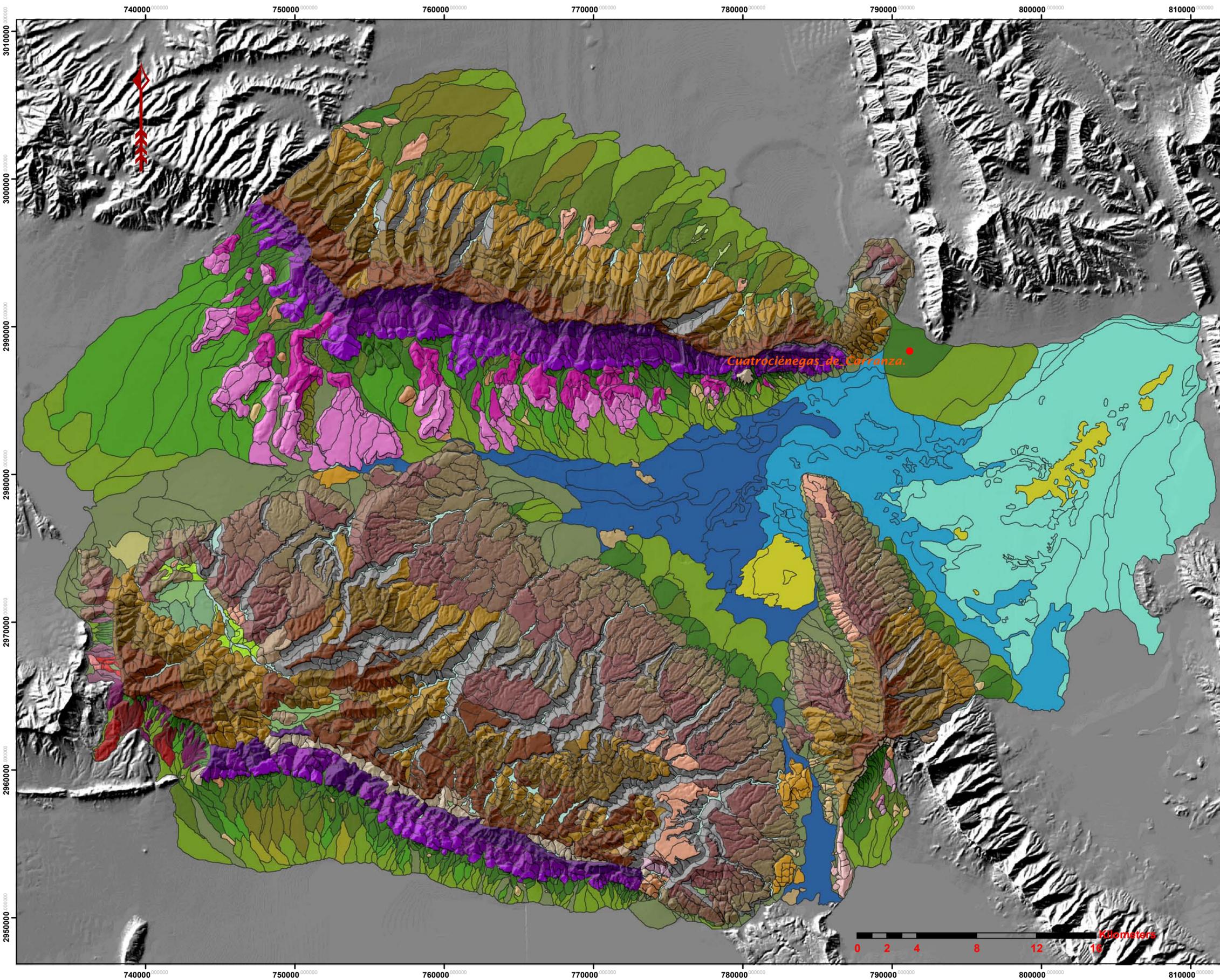
Consultada en Junio de 2010

www.inegi.org.mx

Consultada en Junio de 2010

www.glcg.umd.edu/index.shtml

MAPA DE UNIDADES MORFOGENÉTICAS DEL ÁREA DE CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA.



LEYENDA

- Cuatrociénegas de Carranza

Relieve Endógeno Modelado

1.-Estructural Plegado-Tectónico Modelado

- 1.1.- Laderas de montaña altas-superiores del Cretácico Inferior de calizas EPTM-LMaS-KinFC
- 1.2.- Laderas de montaña altas-medias del Cretácico Inferior de calizas EPTM-LMaM-KinFC
- 1.3.- Laderas de montaña altas-inferiores del Cretácico Inferior de calizas EPTM-LMaI-KinFC
- 1.4.- Laderas de montaña altas-sin diferenciar del Cretácico Inferior de calizas EPTM-LMaSD-KinFC
- 1.5.- Laderas de montaña bajas-superiores del Cretácico Inferior de calizas EPTM-LMbS-KinFC
- 1.6.- Laderas de montaña bajas-medias del Cretácico Inferior de calizas EPTM-LMbM-KinFC
- 1.7.- Laderas de montaña bajas-inferiores del Cretácico Inferior de calizas EPTM-LMbI-KinFC
- 1.8.- Laderas de montaña bajas-sin diferenciar del Cretácico Inferior de calizas EPTM-LMbSD-KinFC
- 1.9.- Lomeríos del Cretácico Inferior de calizas EPTM-Lo-KinFC

2.-Estructural Tectónico-Plegado Modelado

- 2.1.- Laderas de montaña altas-superiores del Cretácico Inferior de calizas ETPM-LMaS-KinFC
- 2.2.- Laderas de montaña altas-medias del Cretácico Inferior de calizas ETPM-LMaM-KinFC
- 2.3.- Laderas de montaña altas-inferiores del Cretácico Inferior de calizas ETPM-LMaI-KinFC
- 2.4.- Laderas de montaña altas-sin diferenciar del Cretácico Inferior de calizas ETPM-LMaSD-KinFC
- 2.5.- Laderas de montaña bajas-superiores del Paleógeno de conglomerados ETPM-LMbS-PalCon
- 2.6.- Laderas de montaña bajas-superiores del Cretácico Inferior de calizas ETPM-LMbS-KinFC
- 2.7.- Laderas de montaña bajas-inferiores del Paleógeno de conglomerados ETPM-LMbI-PalCon
- 2.8.- Laderas de montaña bajas-inferiores del Cretácico Inferior de calizas ETPM-LMbI-KinFC
- 2.9.- Laderas de montaña bajas-sin diferenciar del Cretácico Inferior de calizas ETPM-LMbSD-KinFC
- 2.10.- Lomeríos del Cretácico Inferior de calizas ETPM-Lo-KinFC

3.-Estructural Complejo Modelado

- 3.1.- Laderas de montaña altas-superiores del Cretácico Inferior de calizas ECM-LMaS-KinFC
- 3.2.- Laderas de montaña altas-inferiores del Cretácico Inferior de calizas ECM-LMaI-KinFC
- 3.3.- Laderas de montaña altas-sin diferenciar del Cretácico Inferior de calizas ECM-LMaSD-KinFC
- 3.4.- Laderas de montaña bajas-inferiores del Cretácico Inferior de calizas ECM-LMbS-KinFC
- 3.5.- Laderas de montaña bajas-inferiores del Cretácico Inferior de calizas ECM-LMbI-KinFC
- 3.6.- Laderas de montaña bajas-sin diferenciar del Cretácico Inferior de calizas ECM-LMbSD-KinFC

4.-Estructural Modelado

- 4.1.- Lomeríos aislados interpedemonte del Cretácico Inferior de calizas EM-LoIntPnte-KinFC
- 4.2.- Lomeríos aislados interplancicie del Cretácico Inferior de calizas EM-LoIntPL-KinFC

Relieve Exógeno

5.-Exógeno Acumulativo Aluvial

- 5.1.- Piedemontes superiores del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EA-PnteS-QroCz
- 5.2.- Piedemontes medias del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EA-PnteM-QroCz
- 5.3.- Piedemontes inferiores del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EA-PnteI-QroCz
- 5.4.- Piedemontes sin diferenciar del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EA-PnteSD-QroCz
- 5.5.- Planicies intermontanas del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EA-Pntelm-QroCz
- 5.6.- Planicies intermontanas del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EA-PLIm-QroCz
- 5.7.- Planicies interpedemontes del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EA-PLIP-QroCz

6.-Exógeno Acumulativo-Erosivo Aluvial

- 6.1.- Piedemontes superiores del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EAE-PnteS-QroCz
- 6.2.- Piedemontes medias del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EAE-PnteM-QroCz
- 6.3.- Piedemontes inferiores del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EAE-PnteI-QroCz
- 6.4.- Piedemontes sin diferenciar del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EAE-PnteSD-QroCz
- 6.5.- Piedemontes intermontanas del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EAE-Pntelm-QroCz

7.-Exógeno Acumulativo Fluvio-Lacustre

- 7.1.- Planicie general superior del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EAFL-PLGS-QroCz
- 7.2.- Planicie general del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EAFL-PLG-QroCz
- 7.3.- Planicie general inferior del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EAFL-PLGI-QroCz

8.-Exógeno Acumulativo Fluvio-Aluvial

- 8.1.- Planicies intermontanas del Cuaternario de depósitos aluviales calcáreos EAFA-PLIm-QroCz

9.-Exógeno Acumulativo Eólico

- 9.1.- Planicies del Cuaternario de depósitos de Yeso EAEDL-PL-QroYso

10.-Exógeno Erosivo

- 10.1.- Laderas de montaña de calizas de pared de cañon del Cretácico Inferior de calizas EE-LntPC-KinFC


Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad de Filosofía y Letras
 Colegio de Geografía
 Autor: Arturo Godínez Tamay
 Proyección: UTM
 Elipsoide: GRS 80
 Datum: NAD 83