



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA
ESPACIAL DE ALGUNAS CUENCAS DE
LAS SIERRAS MADRE ORIENTAL
OCCIDENTAL Y DEL SUR

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

SUSTENTA:

RITA MINERVA GARCÍA FORTIS

ASESOR:

DR. MARIO ARTURO ORTIZ PÉREZ

MIEMBROS DEL JURADO:

LIC. JORGE GONZALO SÁNCHEZ CABRERA
LIC. ANDRÉS FERNANDO BENÍTEZ OMAÑA
DRA. IRASEMA ALCÁNTARA AYALA
MTRO. EDUARDO DOMÍNGUEZ HERRERA





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.

A mis padres:

Pilar: Por darme todo de ti, por apoyarme, por creer en mí, por ayudarme en todo y para todo, por anteponer mis caprichos y necesidades a las tuyas, por convertirte en una amiga en estos últimos años.

Trinidad: Por apoyarme en todo lo que te fue posible, por hacerme madurar, por darme todo lo que necesité, por tus consejos y palabras, por tu cariño, por siempre impulsarme a seguir preparándome.

Y gracias a ambos por hacerme una mejor persona y por todo el amor que siempre me han dado.

A mi hermana:

Mónica: Por ayudarme cuando más lo necesité, por cuidarme, por hacerme ver mis defectos y virtudes, por compartir los momentos difíciles y llenarlos de alegría, por vivir esta vida conmigo.

A alguien muy especial:

Gerardo: Por soportar mis berrinches y frustraciones, por no dejarme derrumbar, por ayudar a la realización de esta tesis, por ser mi amigo y mi confidente, y después convertirse en mi novio, por siempre estar a mi lado sobre todo cuando más lo necesité, y por este amor que ambos compartimos.

A mis abuelos:

Miguel,[†] Adela y Lidia: Por el cariño inmenso que siempre me demuestran, y por llenarme de alegría y orgullo al verlos a mi lado.

Y una dedicatoria especial a **Vivi, Rufus, Pico y Cobi** por darme su amor incondicional, por no dejarme sola en mis peores momentos y por hacer de esta familia algo mejor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero extender mi más amplio agradecimiento al Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez y a su maravillosa familia (Giselle y Diego) por abrirme las puertas de su casa y recibirme siempre con gusto y alegría, por todo el apoyo brindado en la realización de esta tesis, por ser un gran ejemplo a seguir y por toda la orientación, apoyo y consejos que recibí de su parte para llevar a cabo la realización de esta tesis que sin sus amplias aportaciones no habría podido ser concluida.

Al Lic. Andrés Benítez Omaña por sus correcciones y aportaciones del tema, por su paciencia y por el interés y disposición que siempre me brindó en todo el proceso de elaboración y conclusión de la tesis.

Al Lic. Jorge Sánchez Cabrera por su orientación y contribución en los temas desarrollados en esta tesis, por la facilidad de comunicación que se pudo establecer entre ambos para poder concluir en tiempo y forma, y porque gracias a sus excelentes clases, mi tema de tesis llegó a interesarme aún más.

A la Dra. Irasema Alcántara por su participación en las correcciones hechas a esta tesis, por la accesibilidad que en todo momento mostró para la conclusión de los trámites, y por ser una extraordinaria profesora y enseñarnos que se pueden superar los errores que hayamos cometido.

Al Mtro. Eduardo Domínguez por la contribución de fondo y de forma hecha a esta tesis, por la amabilidad que siempre me brindó, por ser uno de los mejores profesores que he tenido, por dedicarnos su tiempo a enseñarnos a enseñar, y por ser de los pocos profesores que hacen que los alumnos mantengamos el interés de enseñar a las siguientes generaciones.

A todos los profesores de la carrera que nos aportaron sus enseñanzas, pero un agradecimiento especial al Dr. Francisco E. Denton, al Lic. Sergio Chimal, a la Mtra. Estela Rangel, y al Lic. Francisco Hernández (Prof. Panchito), por compartir sus conocimientos y haber hecho de la carrera de Geografía, la mejor de todas.

A mis amigos de la carrera (Julia, Gaby, Caro, Dalia, Reyna, Pau, Mireille, Alex y David) por hacer de las prácticas, las clases y las reuniones, los mejores recuerdos que tengo.

A Brenda y Anaid, por su amistad brindada en todos estos años.

A Mariana y Mayra, por haberme abierto las puertas de su casa y por el trato tan cálido y familiar que siempre me brindaron, ya que sin su ayuda esta tesis no habría sido concluida aún.

A Eve y Maggy, mis compañeras y mejores amigas de cubículo, por brindarme su amistad incondicional, y por ayudarme y apoyarme en la realización de esta tesis.

A Manuel Figueroa MahEng, por ser mi amigo, por escucharme, por darme consejos, por contribuir enormemente a esta tesis, por siempre brindarme su ayuda incondicional, y por ser una maravillosa persona que afortunadamente se cruzó en mi camino.

A Carlos C. G., una gran persona, incondicional, que estuvo conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, y por quien siempre voy a tener un gran cariño y aprecio por todo lo que hizo por mí.

Y finalmente agradezco al Instituto de Geografía, por abrirme sus puertas y haberme brindado su apoyo otorgándome la beca “María Teresa Gutiérrez de MacGregor”, sin la cual esta tesis no se hubiese podido concluir.

CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE MAPAS	XI
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES GEOGRÁFICAS Y CONCEPTUALES	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema	4
1.3 Fundamentación del tema	5
1.4 Objetivos	6
1.5 Hipótesis	6
1.6 Conceptos Operacionales	7
1.6.1 Definición de Cuenca	7
1.6.2 Tipos de Cuenca	7
MARCO TEÓRICO	
1.7 Delimitación Espacial	9
1.8 Delimitación Temporal	10
1.9 Categorización Ecogeográfica de Cuencas	10
1.9.1 Importancia Ecológica de la Clasificación entre cuencas Alóctonas y Autóctonas	11
1.9.2 Arreglo Fisiográfico de la Estructura Espacial en las Cuencas Alóctonas y Autóctonas	12
1.9.3 La Potencialidad la Cuenca en función de la Organización Espacial y del valor de su Capital Natural	15
1.9.4 Procedimientos para establecer la categoría de jerarquía de Valor Natural	16
1.10 Zonas Funcionales de una Cuenca	17

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS SIERRAS MADRE ORIENTAL, OCCIDENTAL Y DEL SUR

2.1 Sierra Madre Oriental	20
2.2 Sierra Madre Occidental	30
2.3 Sierra Madre del Sur	40

CAPÍTULO 3. VERTIENTES DE MÉXICO

3.1 Caracterización de las Vertientes	50
3.1.1 Relación de los Procesos Exógenos de las Vertientes	50
3.1.2 Tipos de Vertientes	51
3.1.3 Irregularidad Geomórfica de las Vertientes	52
3.1.4 Disposición y Arreglo de las Vertientes de México	54
3.2 Consideraciones Finales	56
3.2.1 Aislamiento de la Superficie del Parteaguas a la Disección Fluvial	57
3.2.2 Rango de Disección	58
3.2.3 Longitud Absoluta de la Divisoria	60
3.2.4 Altura Media de la Divisoria	60
3.3 Comparación de Resultados	61
3.4 Resultados Finales	62
3.3.1 Vertiente del Pacífico	62
3.3.2 Vertiente del Golfo	63

CAPÍTULO 4. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CASO

4.1 Metodología de los procedimientos utilizados en el manejo de las cuencas del estudio de caso	64
4.2 Estudio de Caso por Cuencas	67
4.2.1 Cuencas de la Sierra Madre Occidental	69
4.2.1.1 Cuenca del Río Fuerte	69
4.2.1.2 Cuenca del Río Acaponeta	71

4.2.1.3 Cuenca del Arroyo Masiaca	73
4.2.2 Cuencas de la Sierra Madre Oriental	75
4.2.2.1 Cuenca del Río Tecolutla	75
4.2.2.2 Cuenca del Río Jamapa	77
4.2.2.3 Cuenca del Río Arroyo Blanco	79
4.2.3 Cuencas de la Sierra Madre del Sur	81
4.2.3.1 Cuenca del Río Papagayo	81
4.2.3.2 Cuenca del Río San Nicolás	83
4.2.3.3 Cuenca del Arroyo Santa Clara	85
4.3 Análisis y Comparación de Resultados	87
Para la vertiente de la Sierra Madre Occidental	87
Para la vertiente de la Sierra Madre Oriental	88
Para la vertiente de la Sierra Madre del Sur	89
CONCLUSIONES	91
GLOSARIO	93
BIBLIOGRAFÍA	95
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	104
INSTITUCIONES CITADAS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Diferentes Tipos de Cuencas	8
1.2 Arreglo Fisiográfico de la estructura espacial de las cuencas alóctonas y autóctonas	13
1.3 Zonas Funcionales de una Cuenca Hidrográfica	17
2.1 Fisiografía de la República Mexicana	19
2.2 Fisiografía de la Sierra Madre Oriental	20
2.3 Columna estratigráfica de la Sierra Madre Oriental	26
2.4 Fisiografía de la Sierra Madre Occidental	30
2.5 Esquema tectónico de México mostrando la extensión del Terciario	32
2.6 Fisiografía de la Sierra Madre de Sur	40
2.7 Esquema regional de las principales placas y bloques tectónicos de la región de Jalisco	46
3.1 Arreglos básicos del modelado de laderas	51
3.2 Ejemplos de interpretación de rupturas de pendiente	53
3.3 Perfil longitudinal del río colector	53
3.4 Única carta de Vertientes de México	54
3.5 Disección Fluvial del Parteaguas	56
4.1 Liga entre altitud y latitud	64
4.2 Ejemplo de la imagen de la Cuenca del Río Fuerte	65
4.3 Perfil del Arroyo Masiaca ubicado en la Sierra Madre Occidental	65
4.4 Perfil del Río Tecolutla ubicado en la Sierra Madre Oriental	66
RÍO FUERTE	
4.5 Cuenca Clásica Polidireccional	69
4.6 Colector Fluvial Principal	70
RÍO ACAPONETA	
4.7 Cuenca Clásica Unidireccional	71
4.8 Colector Fluvial Principal	72
ARROYO MASIACA	
4.9 Cuenca Clásica Unidireccional	73
4.10 Colector Fluvial Principal	74

RÍO TECOLUTLA	
4.11 Cuenca Clásica Polidireccional	75
4.12 Colector Fluvial Principal	76
RÍO JAMAPA	
4.13 Cuenca Clásica Bidireccional	77
4.14 Colector Fluvial Principal	78
RÍO ARROYO BLANCO	
4.15 Cuenca Clásica Unidireccional	79
4.16 Colector Fluvial Principal	80
RÍO PAPAGAYO	
4.17 Cuenca Clásica Polidireccional	81
4.18 Colector Fluvial Principal	82
RÍO SAN NICOLÁS	
4.19 Cuenca Clásica Bidireccional	83
4.20 Colector Fluvial Principal	84
ARROYO SANTA CLARA	
4.21 Cuenca Clásica Bidireccional	85
4.22 Colector Fluvial Principal	86

ÍNDICE DE TABLAS

1.1 Cuencas de la Sierra Madre Occidental	9
1.2 Cuencas de la Sierra Madre Oriental	9
1.3 Cuencas de la Sierra Madre del Sur	9
3.1 Tipos de Vertientes	58
3.2 Vertiente del Pacífico	59
3.3 Vertiente del Golfo	60
3.4 Comparación de Resultados	61
4.1 Algunos elementos de caracterización para elaborar la diversidad natural en la cuenca	66
4.2 Tabla Comparativa	67
4.3 Grado de Aloctonía	67
RÍO FUERTE	
4.4 Pisos Fitoclimáticos	69
4.5 Variables descriptoras y de diagnóstico	70
RÍO ACAPONETA	
4.6 Pisos Fitoclimáticos	71
4.7 Variables descriptoras y de diagnóstico	72
ARROYO MASIACA	
4.8 Pisos Fitoclimáticos	73
4.9 Variables descriptoras y de diagnóstico	74
RÍO TECOLUTLA	
4.10 Pisos Fitoclimáticos	75
4.11 Variables descriptoras y de diagnóstico	76
RÍO JAMAPA	
4.12 Pisos Fitoclimáticos	77
4.13 Variables descriptoras y de diagnóstico	78

RÍO ARROYO BLANCO	
4.14 Pisos Fitoclimáticos	79
4.15 Variables descriptoras y de diagnóstico	80
RÍO PAPAGAYO	
4.16 Pisos Fitoclimáticos	81
4.17 Variables descriptoras y de diagnóstico	82
RÍO SAN NICOLÁS	
4.18 Pisos Fitoclimáticos	83
4.19 Variables descriptoras y de diagnóstico	84
ARROYO SANTA CLARA	
4.20 Pisos Fitoclimáticos	85
4.21 Variables descriptoras y de diagnóstico	86
ÍNDICE DE MAPAS	
Mapa 1 Tipos de Roca	106
Mapa 2 Vertientes de México	107
Mapa 3 Ubicación de Cuencas Hidrográficas del área de estudio	108

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES GEOGRÁFICAS Y CONCEPTUALES

1.1 ANTECEDENTES

Anteriormente nunca se había establecido una división hidrográfica unificada a nivel nacional y los criterios que cada una de las instancias gubernamentales habían establecido no concordaban con la delimitación de las cuencas, ya que se trabajaron a distintas escalas, con materiales cartográficos diferentes y con criterios distintos en la toma de decisiones en el momento de definir cuales subcuencas habría que tomar en consideración, además de que no había un acuerdo en la delimitación de las divisorias de agua, ni en el valor de las dimensiones, a fin de clasificar las diversas cuencas.

Cabe resaltar que nunca existió un análisis del contexto de la estructura espacial y mucho menos una concepción geográfica. Las evidencias que ponen en tela de juicio la problemática antes expuesta se ilustran con el trabajo realizado por CONAGUA con una base cartográfica de características muy generales, mientras INEGI realizó una división a nivel cuenca, subcuenca y región, pero nunca publicada de manera oficial.

Todo esto, tiene diversos antecedentes: En 1917 se crea la Dirección de Aguas, Tierras y Colonización. Tiempo después, en 1926 se instaura la Comisión Nacional de Irrigación; y veinte años más tarde se crea la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Es justamente en el año de 1946, que la Secretaría de Recursos Hidráulicos divide al país en 37 regiones hidrológicas a una escala de 1: 5, 000, 000, pero es hasta 1970 que se empieza a hacer pública esta información mediante la divulgación de Boletines Hidrológicos. Los principales temas que abordan dichos boletines, tratan a cerca de la delimitación y configuración de las cuencas, de la hidrología superficial (entendiendo a ésta como la red hidrográfica), de la localización de estaciones hidrométricas con las respectivas tablas de niveles, gastos y volúmenes de escurrimientos, sintetizando todo esto en hidrogramas; así mismo, empiezan a editarse los primeros mapas para dichos boletines. Este trabajo era muy laborioso, ya que la delimitación de cuencas se realizaba de forma visual y manualmente sin una base cartográfica adecuada y consistente y por lo mismo le restaban importancia y detalle a los elementos geográficos.

Treinta años después, en 1976 se crea la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), la cual fue el antecedente de la actual SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Dicho organismo gubernamental se instaura para fomentar las investigaciones agrícolas, estableciendo vínculos con

universidades; y elaborando, actualizando y difundiendo información acerca de los recursos hidráulicos del país.

Posteriormente, en 1981, el CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional), actualmente INEGI, edita la carta nacional de Hidrología de Aguas Superficiales con una escala de 1: 1, 000, 000. En 1987, la SARH crea una carta hidrológica del país, donde incluye las 37 regiones hidrológicas que desde 1946 la Secretaría de Recursos Hidráulicos, no había actualizado, sólo que esta vez, se le agrega información satelital y se incorporan diferentes escalas dependiendo del tamaño de la región hidrológica que se consulte. Así pues, también se le agrega información de datos hidrológicos, como el de estaciones hidrométricas, estaciones climatológicas, límites de regiones y estaciones de calidad de agua. Se integran también rasgos climáticos, hidrológicos de cuencas, ríos y cuerpos de agua y rasgos culturales como poblaciones, carreteras, etcétera.

Dos años más tarde, en 1989, se crea la CNA (Comisión Nacional del Agua), hoy CONAGUA, la cual, actualmente, delimitó el territorio nacional en 37 regiones hidrográficas, con la inclusión de un mayor detalle en la red hidrográfica.

En el 2001 surge el INE (Instituto Nacional de Ecología) el cual, se creó como un órgano desconcentrado de la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), y su función consistió en coordinar y generar proyectos de investigación ambiental que permitieran difundir e integrar información ambiental para contribuir al desarrollo sustentable del país, lo que serviría de base para las personas encargadas de tomar decisiones. Dicha institución se encargó de realizar diferentes cartas a diferentes escalas a cerca de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas, distinguiendo las zonas de recarga y captación, las emisión y un análisis de redes de drenaje del país.

Dadas las diferencias en las escalas de representación cartográfica y de criterios en la forma de delimitar las cuencas, se convoca la participación del INE, el INEGI y la CONAGUA, para llevar a cabo un proyecto, el cual tuvo como objetivo sustentar y crear una división de cuencas hidrográficas basada en función de su tamaño, y utilizando programas y recursos digitales que en teoría garantizaran una forma más precisa de trazar los parteaguas. Este proyecto sería único, puesto que esta vez se tendría una organización más eficaz, integral y con criterios considerados por las tres instancias con el fin de crear una cartografía hidrográfica nacional.

La consideración que se tomó en cuenta fue la de establecer una homogeneidad de información para todo país, dejando de lado variables como extensión, uso de suelo, vegetación, contaminación, etcétera. En aras de dicha homogeneidad se logró establecer la definición consensada del trazo de la delimitación de las cuencas, sin embargo, se limitó a

tener una unificación cartográfica, logrando establecer la base de una cartografía hidrográfica nacional dada a conocer en una reducción a escala 1: 5, 000, 000. Sin embargo, se consideró que los resultados fueron muy limitados, ya que finalmente consideraron el tamaño de las cuencas como el aporte utilitario teniendo únicamente una clasificación de cuencas por tamaño: grandes mayores a 20 000km², cuencas medianas de 1000 a 20 000 y chicas 6.25 a 1000km².

Posteriormente se utilizó la clasificación así obtenida, para subdividir las cuencas en primero, segundo y tercer orden, resultados que correspondieron al tamaño de subcuencas, microcuencas y nanocuencas. Con esto, se aseguraría mantener una visión global del territorio, y la obtención de una base cartográfica oficial a nivel nacional.

Esta clasificación de cuencas no consideró factores ambientales (que son parte importante y ayudan a brindar un conocimiento adecuado para el manejo de los recursos hídricos del país), lo que la hizo poco eficiente para la toma de decisiones con respecto a la funcionalidad de la cuenca; por lo que en este trabajo se contempla como una mejor opción la Clasificación Ecogeográfica de Cuencas propuesta por Ortiz, 2010; ya que tiene como base los conceptos de capital natural, el cual se define como "los componentes del ecosistema (estructura del ecosistema) y los procesos e interacciones entre los mismos (funcionamiento de los ecosistemas) que determina su integridad y resiliencia ecológica, generando un flujo constante en el tiempo de bienes y servicios útiles para la humanidad, que pueden ser valorados en términos económicos, sociales y ambientales, buscando la sustentabilidad de los recursos naturales", concepto que fue tomado y modificado de Constanza y Daily (1992); y el de patrimonio natural que son indispensables para ofrecer una mejor funcionalidad del recurso hídrico de las cuencas.

Esta información fue retomada de una de las ponencias de la Convención Nacional de Geografía, 2005.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La clasificación ecogeográfica intenta conocer con mayor proximidad el escenario espacial que es el soporte de los recursos naturales básicos, en suelos, vegetación, en recurso hídrico. En esencia, se examina la riqueza a través de la diversidad de escenarios. Por lo que esta clasificación busca valorar y sustentar la estructura espacial de la cuenca como soporte del capital natural. Así, ante este problema, se plantearon las siguientes preguntas para dar mayor claridad y definición al planteamiento del problema:

- ¿Qué problemas se podrían resolver elaborando un análisis comparativo de la estructura espacial de las cuencas y de las vertientes?
- ¿Qué relación existe entre la estructura espacial de las vertientes y el de las cuencas?
- ¿Qué tanto influye el sistema de vertientes en la propuesta de clasificación de cuencas?
- ¿Qué tanto interviene el impacto de la degradación antrópica en la transformación del estatus natural de la cuenca-vertiente?
- ¿Qué tan distinto es la estructura espacial entre las cuencas?
- ¿Se puede conocer en un análisis comparativo las propiedades y los atributos distintos entre las vertientes externas del Golfo y las del Pacífico?

Teniendo en cuenta estas preguntas, que ayudaron a estructurar la tesis del marco espacial de las cuencas, se pretende describir las diferentes características de la superficie de una cuenca hidrográfica y actualizar la información que hay sobre las condiciones de las regiones hidrológicas, así como elaborar nuevas formas de interpretación de cuencas y vertientes.

Con base en esta información, será posible precisar las potencialidades y limitantes del recurso agua, determinar las cualidades que lo hacen aprovechable para diferentes usos, los elementos que afectan su calidad y cantidad, las áreas que presentan restricciones de recursos, entre otros datos importantes para la toma de decisiones en la formulación del plan.

1.3 FUNDAMENTACIÓN DEL TEMA

El propósito o fundamentación de este trabajo es generar no solamente nuevas formas para clasificar las cuencas, sino que a futuro, se pretende que este tipo de estudios lleguen a aportar distintas maneras de analizar el funcionamiento, entendiendo esto como la captación, asimilación, combinación, emisión de energía (energía cinética de movimiento del flujo del agua y de los procesos gravitacionales), materia (sedimentos, escombros, materia orgánica, nutrientes) e información (la herencia que deja el tránsito y el abastecimiento de la materia y energía que se traducen en nuevas combinaciones en las características de la herencia morfoclimática para la preparación del paisaje elementos).

El análisis y la síntesis de la estructura espacial, llevará a determinar las características naturales de la cuenca. Se valorará al territorio en términos de los medios de su conservación, los cuales se basan en su significado y función de los elementos y procesos naturales que se dan en las zonas funcionales y en los pisos fitoclimáticos de las vertientes.

Por lo que los tres principales atributos que se encontraron, son los siguientes:

- Uno de los atributos que debe de poseer, es tener la capacidad llega a estimar la potencialidad de la cuenca en cuanto a recursos naturales, en términos de las oportunidades que ofrece y el soporte para cubrir las necesidades humanas.
- Debe de llegar a estimar la fragilidad o vulnerabilidad de la cuenca debido a las actividades humanas.
- Debe de considerar las amenazas de origen natural, los riesgos existentes y sus implicaciones humanas.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo General

Hacer un análisis comparativo de la estructura espacial de las cuencas y vertientes que comprenden las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, con el fin de relacionarlo con elementos geográficos (clima, suelo, vegetación, pisos altitudinales y fitoclimáticos), para conocer las limitaciones y fortalezas de los diferentes sistemas de cuencas desde el punto de vista de su funcionamiento ecosistémico.

(1) Objetivo Particular

Analizar la información del arreglo de vertientes para determinar las características que se les asignarán a cada región fisiográfica en cuestión: Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Sierra Madre del Sur.

(2) Objetivo Particular

Contar con las conclusiones que pueda tener una categorización de cuencas según las propiedades de aloctonía y la autoctonía que presenten las cuencas en cuestión.

1.5 HIPÓTESIS

Los fundamentos teóricos de la clasificación ecogeográfica tienen que ser validados con las observaciones y mediciones, y sus respectivas comparaciones entre las diferentes vertientes del estudio, con el fin de probar su consistencia.

1.6 CONCEPTOS OPERACIONALES

1.6.1 Definición de Cuenca

Una cuenca es un sistema natural delimitado por el parteaguas en un territorio determinado y que es drenada por un único sistema de drenaje natural. Está compuesta por elementos biológicos, físicos y antrópicos que se relacionan entre sí.

Así mismo, también se define como una depresión o forma relieve que hace que el territorio vaya perdiendo altura a medida que se acerca a nivel del mar. Cabe mencionar que esta definición únicamente aplica para aquellas cuencas que desembocan en el mar, las llamadas cuencas exorreicas.

1.6.2 Tipos de Cuenca

Existen diferentes tipos de cuencas, y aunque sólo se trabajaran las cuencas hidrográficas exorreicas alóctonas y autóctonas, me parece importante enlistar y dar a conocer los principales tipos de cuencas que existen:

- Cuenca Hidrográfica. Es un área fisiográfica delimitada por una línea divisoria conocida como “parteaguas” que une los puntos de mayor elevación del relieve, en donde fluyen corrientes superficiales de agua que desembocan en el mar; pero en dado caso de no poder alcanzar el nivel del mar, se aseguraran niveles de base local, formando lagunas o lagos, y que contribuyan al flujo de agua de un río. Definición tomada de SEMARNAT.
- Cuenca Hidrológica. Es un área fisiográfica delimitada por un “parteaguas” que contiene una corriente o un sistema de corrientes hídricas superficiales y toda la estructura hidrogeológica subterránea como una sola unidad. Está definida por la disposición y colocación de las capas geológicas, los límites geológicos de la cuenca pueden ser mayores a los de los topográficos y el agua interceptada de una cuenca puede fluir a otra cuenca vecina. Definición tomada de SEMARNAT.
- Cuenca Alóctona. Estas cuencas se caracterizan porque sus nacientes son altas y distantes al nivel base, son de tamaño usualmente grande y mediano, razón por la cual recorren diversos terrenos geológicos y topográficos con una mayor longitud de su red fluvial y se caracterizan por tener un escurrimiento base constante.

- Cuenca Autóctona. Por el contrario, estas cuencas se caracterizan porque sus nacientes son cercanas al nivel base y el río recorre tramos cortos de terreno y no cuentan con un escurrimiento base y por lo tanto, dicho escurrimiento es temporal e intermitente. Se distinguen del resto por presentar una homogeneidad ambiental en toda su extensión, es decir, domina un solo clima y no hay una diferenciación fitoclimática.



Figura 1.1. Diferentes tipos de Cuencas.

Esta imagen nos muestra distintos tipos de cuencas, principalmente las alóctonas cercanas y lejanas (las cuales llegan hasta el parteaguas principal), y las autóctonas (casi siempre atraviesan un solo piso fitoclimático y son más pequeñas). Imagen tomada de *Google Earth*.

MARCO TEÓRICO

De acuerdo con los objetivos de la tesis, en este apartado se describirá la delimitación espacial y temporal, y se explicará de forma breve la Categorización Ecogeográfica de Cuencas (Ortiz, 2010) y el porqué se tomará como base para este estudio.

1.7 DELIMITACIÓN ESPACIAL

Se trabajó con tres cuencas de cada Sierra Madre: una alóctona cercana, una alóctona distante y una autóctona con el fin de contar con una muestra de cada tipo de cuenca. A continuación se mostrará una tabla que señala las tres cuencas por Sierra Madre que se trabajaron para el estudio de caso, tomando en cuenta su extensión longitudinal y altitudinal, y sus características fitoclimáticas y geográficas observables en el mapa de cuencas ubicado en la parte final de la tesis.

Tabla 1.1 Cuencas de la Sierra Madre Occidental

Sierra Madre Occidental		
<i>Nombre de la Cuenca</i>	<i>Área en Km²</i>	<i>Tipo de Cuenca</i>
Cuenca del Río Fuerte	36,126.44 Km ²	Cuenca Alóctona Distante
Cuenca del Río Acaponeta	8,828.94 Km ²	Cuenca Alóctona Cercana
Cuenca del Arroyo Masiaca	1,323.49 Km ²	Cuenca Autóctona

Tabla 1.2 Cuencas de la Sierra Madre Oriental

Sierra Madre Oriental		
<i>Nombre de la Cuenca</i>	<i>Área en Km²</i>	<i>Tipo de Cuenca</i>
Cuenca del Río Tecolutla	7,785.75 Km ²	Cuenca Alóctona Distante
Cuenca del Río Jamapa	4,061.73 Km ²	Cuenca Alóctona Cercana
Cuenca del Río Arroyo Blanco	523.16 Km ²	Cuenca Autóctona

Tabla 1.3 Cuencas de la Sierra Madre del Sur

Sierra Madre del Sur		
<i>Nombre de la Cuenca</i>	<i>Área en Km²</i>	<i>Tipo de Cuenca</i>
Cuenca del Río Papagayo	7,553.51 Km ²	Cuenca Alóctona Distante
Cuenca del Río San Nicolás	2,329.23 Km ²	Cuenca Alóctona Cercana
Cuenca del Arroyo Santa Clara	382.47 Km ²	Cuenca Autóctona

1.8 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Debido a que se trabajó con una nueva base de datos de cuencas realizada recientemente por Ortiz, (2010), la temporalidad que se manejó para llevar a cabo este estudio, fue de dos años (a partir del 2011), teniendo en cuenta que en este lapso de tiempo no hubo un cambio drástico o determinante en el curso de los ríos o en el acomodo de las cuencas que hubiese hecho que se reinterpretaran los resultados finales del estudio.

1.9 CATEGORIZACIÓN ECOGEOGRÁFICA DE CUENCAS

El ordenamiento ecológico del territorio requiere del conocimiento de la estructura de distribución espacial de las zonas funcionales de la cuenca para estar en posición de abordar el análisis e implementación de su diagnóstico, proyección de escenarios y formulación de plan de desarrollo.

Según la propuesta de Ortiz, (2010), se sugiere que los recursos y el capital natural de una cuenca están íntimamente ligados con el arreglo de la estructura espacial. Así, el agua como recurso, juega un papel esencial como uno de los atributos de dependencia que marcan y guían la disposición de las zonas funcionales de una cuenca, en específico, las variables morfológicas que podrán ser expuestas en función de su orientación, exposición, disposición, tamaño y proximidad entre la fuente y el nivel de base. De esta forma, nos daremos cuenta de que los distintos tamaños y diferencias altitudinales e hipsométricas de cada cuenca están ligadas ecológicamente.

Las cuencas pueden ordenarse conforme a la magnitud de sus dimensiones, ya que como sabemos, el recurso hídrico proviene de distintos lugares, ya sea cercanos al nivel de base, o más lejanos a éste, lo cual dará diferentes resultados ya que las condiciones naturales que se presenten no serán las mismas. Con esto se creará que el comportamiento de las cuencas va ligado al recorrido que el escurrimiento base realiza en ellas, ya que si son más distantes respecto al nivel base, tendrán más oportunidades de recorrer una mayor diversidad de terrenos de naturaleza heterogénea, ya sea desde el punto de vista geológico, climático, geomorfológico, hidrográfico y biológico; lo que dará como resultado una gran variabilidad ecológica. Por el contrario, las cuencas cercanas o próximas entre el nacimiento y el nivel base, tienen una estructura espacial de menor magnitud, ya sea por tamaño o por altitud, por pendiente, factores que contrarrestan la diversidad de escenarios, ya que en su corto recorrido sólo tendrá colectores fluviales cortos, que drenan a una sola cuenca vertiente. Usualmente este tipo de cuencas no tienen suficiente altitud, y por lo tanto, no podrán tener una diferenciación fitoclimática.

Al drenar una vertiente, usualmente la red hidrográfica se dispone en sentido unidireccional, limitando el espacio de acción hacia los flancos laterales. Todas estas condicionantes apuntan hacia una homogeneidad fisiográfica y monótona del paisaje, lo que nos habla de la pobreza en la diversidad natural, dando así, lugar a las cuencas autóctonas en las cuales existe una proximidad estrecha entre el nacimiento de la zona productora de agua y el nivel base.

Sin embargo, también puede existir aloctonia cercana cuando se drena una sola vertiente que tiene una cierta altitud, y que le permita una diferenciación de pisos fitoclimáticos. Se ha seleccionado usar un enfoque bioclimático en la distinción o diferenciación de escenarios, ya que supone que a una unidad análoga de vegetación dada, responde a condiciones homogéneas tanto de clima, de suelo, de pendiente y de materiales geológicos” (Ortiz, 2010).

Cuando haya una diferenciación de condiciones, se reflejarán en la diversidad de vegetación, estableciendo así un indicador más objetivo y sencillo de observar, además de servir como vínculo con el tipo de ecosistema que se esté trabajando. Así pues, también puede haber una diferenciación de climas, sin que asegure necesariamente la existencia de una diferenciación de la cobertura vegetal. Esto se debe a la perturbación por cambio de uso del suelo que se generalizó para casi todas las vertientes de México al ser impactadas por las quemas, el desmonte y probablemente la influencia del cambio climático; induciendo la existencia de vegetación secundaria desde la zona alta de la cuenca, hasta la desembocadura en el nivel base, contribuyendo a homogeneizar toda la superficie de la cuenca. De esta forma, las cuencas más extensas tampoco aseguran la diversidad, porque pueden ser amplias espacialmente, pero son limitadas altitudinalmente, lo cual nos daría como resultado que no se presentara alguna diferenciación fitoclimática.

1.9.1 Importancia Ecológica de la Clasificación entre Cuencas Alóctonas y Autóctonas

Existe una diferenciación básica entre cuencas, principalmente cuando se habla de la escala espacial. A esto nos referimos cuando hablamos de la dimensión que tiene las cuencas, por ejemplo, las cuencas más extensas y que tienen distancias más largas que recorrer entre la zona productora del recurso hídrico y el de su almacenamiento en la parte baja de la cuenca. Con esto, se asegura un gasto base a lo largo del año, lo que nos indica que es un medio de flujo de amplio rango temporal, que garantiza la conectividad para captar, almacenar, concentrar, asimilar, transformar y transferir energía y materia mediante los canales abiertos que se diseminan en las riberas de forma lateral, y

posteriormente con los acuíferos, lo cual nos traerá consigo bienes y servicios ambientales del agua a gran parte de la red hidrográfica con escurrimiento perenne (Ortiz, 2010).

Ahora bien, hablando de las cuencas autóctonas, sabemos que éstas no cuentan necesariamente con un escurrimiento base, pues en la mayoría casi siempre existe un escurrimiento temporal intermitente; y es justamente este atributo el que hace que las cuencas autóctonas y alóctonas se puedan diferenciar, lo cual es bastante significativo desde el punto de vista ecológico, porque independientemente de la transferencia de material y energía a través del caudal del escurrimiento, se cuenta con toda la información genética (dilución de sales minerales, germoplasma, materia orgánica, nutrientes, transferencia de sedimentos, escombros y de corredor biológico), todas con una herencia significativa, ligada a su vez con el papel que juega la dispersión y la distribución biogeográfica (Ortiz, 2010).

Así pues, las cuencas autóctonas, a diferencia de las alóctonas, como se desprenden de una sola vertiente (la cual muchas veces es de mucho mayor pendiente), cuentan con un escurrimiento torrencial o rápido, de régimen temporal, en donde los procesos son distintos y se llevan a cabo con magnitudes desiguales, tanto espacial como temporalmente. Así, la cuenca alóctona, tendrá una diferenciación altitudinal mayor entre las nacientes y el nivel basé, propiciando que tenga gradientes de pendientes más fuertes. Este arreglo de relieve de mayor altura dará oportunidad a que se incremente la diversidad de los diferentes pisos bioclimáticos, y los ecosistemas representativos de las fajas latitudinales. Así, a una mayor altitud de la cuenca, se incrementan las posibilidades de captar agua, considerando sobretodo las cuencas que se encuentran enclavadas en los meso-climas del trópico seco y semiárido.

1.9.2 Arreglo Fisiográfico de la Estructura Espacial en las Cuencas Alóctonas y Autóctonas

Cuando se habla de la relación que existe entre las cuencas y la disposición espacial y el arreglo geomorfológico, se observan patrones muy interesantes, sobretodo analizando la orientación de la red hidrográfica de los colectores de orden mayor con respecto a la posición del eje orográfico y el frente montañoso de la vertiente. Todos estos aspectos, nos dan la posibilidad de encontrar cuatro tipos de formas de organización espacial.

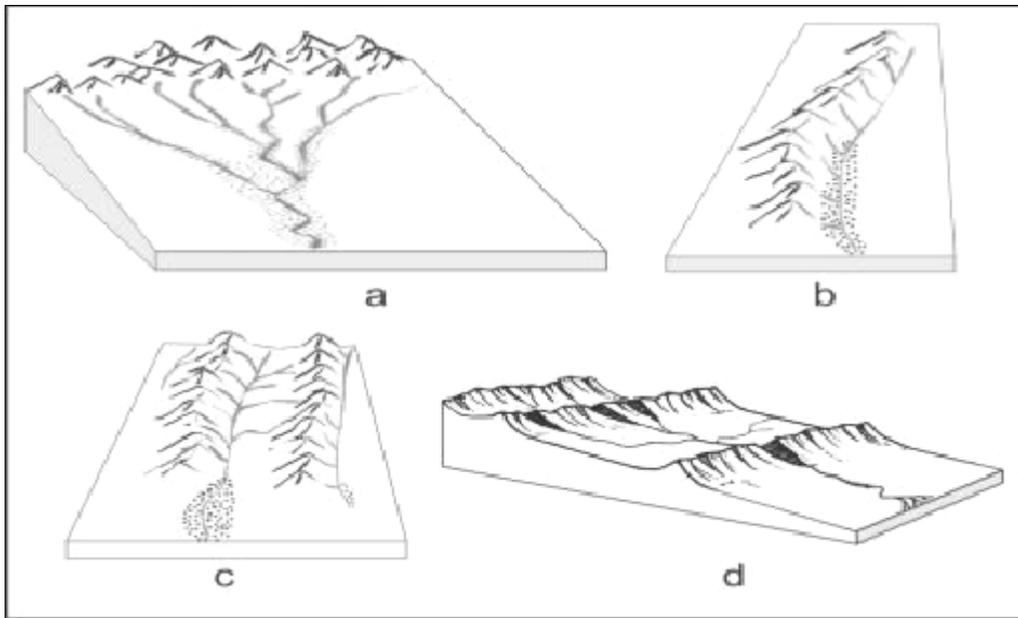


Figura 1.2. Arreglo fisiográfico de la Estructura Espacial de las cuencas alóctonas y autóctonas. (Ortiz, 2010)

La figura 1.2.a, consiste de una cadena montañosa con planicie costera marginal en la que simplemente la corriente del colector principal desemboca en una llanura de nivel base. El arreglo espacial consiste en una amplia y larga cadena de montañas en la cual, la vertiente del flanco externo, reconoce y drena hacia el nivel base general del océano o local del continente. El modelo de disección fluvial en su conjunto presenta una red hidrográfica de diseño unidireccional con alto grado de asimetría, al contar con la fuente productora de agua dominante en el extremo de la cadena montañosa. En cuestiones de variabilidad ambiental, ésta se ve reducida si pensamos que prácticamente todo el drenaje recorre una vertiente del frente montañoso y una llanura dilatada de extensión mucho mayor, cuya relación por dimensión con respecto a la superficie ocupada por la cadena puede ser de uno a diez, o incluso mucho mayor (Ortiz, 2010).

El figura 1.2.b, se refiere a la vertiente de una cadena montañosa en cuya base, se establece una cuenca marginal con dirección paralela al eje orográfico de la sierra. La captación de agua se verifica en las reducidas dimensiones de las laderas receptoras en el nivel superior y la menor captación se recibe en las laderas medias de carácter emisor. La abundancia o recurso del agua dependerá de la orientación que guarde el eje orográfico y la exposición de las vertientes.

La figura 1.2.c es una variante del segundo caso, que representa el diseño de cadenas montañosas paralelas con cuencas que se intercalan siguiendo de forma paralela a las cadenas montañosas, sean de plegamiento o de un estilo de bloques. La estrategia en la

captación del recurso hídrico dependerá de su localización que comprende tanto, la orientación y disposición de mayor altura, y del perfil longitudinal del colector de mayor longitud o distante con respecto a la amplitud horizontal y vertical de la vertiente. Conviene considerar el papel que ejerce el interfluvio principal como barrera orográfica, ya sea para captar humedad e impedir su traslado tierra adentro (Ortiz, 2010).

En la figura 1.2.d, se observa que la cuenca con una superposición del drenaje, corta por disección fluvial a las cadenas montañosas, conectando y cruzando cuencas y montañas escalonadas en donde su origen se relaciona a la historia geológica de carácter tectónico. El arreglo fisiográfico de este tipo de patrón permite el encadenamiento de una serie de pisos fitoclimáticos, formados en las vertientes, que le imparten una alta diversidad y heterogeneidad, posible gracias a las características de amplitud vertical de la altitud, aunada a una mayor extensión espacial y a la baja posición del nivel base.

Cuando el escurrimiento desciende y recorre la llanura costera, tiene mejor oportunidad de intercambio de sustancias por crecidas, desbordes e inestabilidad del cauce con relaciones de vecindad de paisajes adyacentes, como el caso de la asociación con los humedales, los estuarinos y los diferentes ámbitos costeros que propician una riqueza y diversidad de ambientes. Se identifica así a una variante del subtipo conocida como cuenca compuesta cuando existe una llanura de por medio antes de llegar al nivel base (Ortiz, 2010).

Otra característica de la cuenca alóctona o distante, es que las trayectorias de la red fluvial mantienen rumbos multidireccionales. La red aparenta una desorganización hidrográfica, sin embargo la presencia de valles transversales indican lo contrario: la existencia de un fuerte control estructural. En este sentido las observaciones hechas hasta ahora, indican que todas las cuencas alóctonas distantes, en la realidad comparten secciones de cursos de valles longitudinales o subsecuentes, cuya dirección cambia de rumbo drástico a valles transversales que se liga a un fuerte control geológico estructural.

Por el contrario, las cuencas autóctonas son más simples dado que se caracterizan por tener tamaños reducidos, pues es muy común que permanezcan en una sola vertiente, ya que muchas veces se trata de cuencas hidrográficas autóctonas cercanas o que pertenecen a la misma región. Por esto mismo, se puede esperar que exista una menor diferenciación en la estructura horizontal de los paisajes, porque poseen condiciones muy regulares y su clima muy pocas veces varía. Otra de sus particularidades, es que el recorrido que realizan las corrientes fluviales es mucho más corto y torrencial, ya que dominan los patrones de ríos con riberas erosivas y un corte de disección profunda que se establece en el fondo del

lecho. De forma atípica pertenece al mismo terreno geológico en donde recorren solo una vertiente, que cumpla la ley de la orientación de la red hidrográfica en sentido unidireccional, descendiendo en un declive de mayor pendiente de régimen torrencial de disección profunda que origine una desembocadura al nivel de base local o hasta llegar al mar, de esta manera la incisión del cauce es confinado y no tiene la oportunidad de relacionarse horizontalmente con los paisajes vecinos.

Un mayor grado de complejidad en el arreglo fisiográfico de la cuenca se concibe como sinónimo de heterogeneidad de paisajes, con una mayor diversidad de escenarios y ambientes que albergan una gran biodiversidad (Priego, 2004). Esto ocasionaría una mayor productividad ecológica y una cuantiosa exportación de nutrientes y de germoplasma. Todo ello, son una prueba determinante de que existen procesos que son herencias del modelado geomorfológico sobre los sedimentos, los suelos y la vegetación, los cuales reflejan el curso histórico de la evolución de etapas sucesivas del paisaje.

1.9.3 La Potencialidad de la Cuenca en función de la Organización Espacial y el Valor de su Capital Natural

La potencialidad se define como el grado de complejidad o aloctonía a través del número de vertientes que crucen con el colector principal, esto es si se quiere ver desde el punto de vista de la erosión o de su historia geológica, y desde el enfoque ecológico del capital natural a través del valor acumulativo del número de pisos fitoclimáticos que posean el desnivel absoluto de la cuenca (Ortiz, 2010). Así pues, una de las formas para medir el grado de complejidad, sería contar el número de veces que la corriente principal corta y atraviesa interfluvios y vertientes, ya que dichos flancos de laderas separan y dividen a la red hidrográfica en subcuencas escalonadas.

Así, podemos reconocer la jerarquía del tamaño de la cuenca en cuatro grandes categorías, de mayor a menor: a) La alóctona distante (macrocuena); en ella, el escurrimiento proviene de diferentes conjuntos de vertientes que involucran a diferentes dominios bioclimáticos; b) alóctona cercana (cuenca media); ésta proviene de terrenos con diferente geomorfología, pero que pertenecen a una misma vertiente, la cual, por altitud, contiene dos o más asociaciones de pisos fitoclimáticos que aseguran una diversidad ambiental; c) autóctona (cuenca vertiente); es aquella que pertenece a una vertiente, con una historia geológica semejante, condicionada con el mismo tipo de mesoclima y asociación vegetal; d) valle vertiente (nano-cuenca); ésta se caracteriza por estar ocupada por la superficie de un valle donde se unen una mayor homogeneidad del paisaje con una composición reducida de facies o divisiones de unidades naturales menores. Solamente cabe señalar

que tanto la subcuenca como la microcuenca son divisiones convencionales hechas para poder manejar mejor una superficie mayor como es la macrocuenca o la cuenca vertiente.

Recapitulando, se podrá decir que la complejidad y la homogeneidad que se pueda tener en una cuenca, se basa en la organización espacial de su estructura geológica, así como en la disposición geomorfológica del relieve y de su red hidrográfica y desde luego de la diversidad de paisajes que pueda haber guiados por la diferenciación de los pisos de asociaciones fitoclimáticas como una apreciación aproximada del valor y riqueza de su biodiversidad.

1.9.4 Procedimientos para establecer la categoría de jerarquía de Valor Natural

Una valoración se obtiene directamente de la visualización del acomodo o arreglo de la estructura hidrológica del paisaje y consiste en recorrer o barrer la cuenca que se esté trabajando, con la imagen de satélite, la fotografía aérea, e incluso, tomar como herramienta el uso del *Google Earth*. Todo esto permitirá examinar las cuencas desde la parte cumbral de las cabeceras, hasta el nivel de base de la desembocadura, con objeto de relacionar la disposición de las laderas e interfluvios con la disposición de la trayectoria de la red hidrográfica. Desde luego, se podrá hacer uso de la cartografía temática de INEGI en escalas 1:50 000 y 1: 250 000 como forma de apoyo o sustento para este tipo de trabajos.

Para hacer una diferenciación entre las cuencas distantes, cercanas y autóctonas, se necesita observar si la red hidrográfica y el colector se drena en varias vertientes o si sólo forman parte de en una. Es decir, si son alóctonas cruzarán por varias vertientes, separando aquellas cuencas con laderas de una sola vertiente cuenten con diferentes fitoclimas y relacionarlas con las laderas que en su superficie y a lo largo de su perfil longitudinal presenten una fisionomía continua de homogeneidad, reconociendo de esta forma a las cuencas autóctonas. Las cuencas alóctonas cercanas, se distinguen porque la red hidrográfica recorrerá sola vertiente, pero en ella existirá la diferenciación fitoclimática.

Otra observación de importancia a examinar en la disposición de los flancos de las vertientes, es su orientación, considerando para ello el rumbo de las laderas y sobretodo la dirección de la pendiente, con la finalidad de comparar de forma directa el rumbo de la red fluvial y comprobar si se establece un patrón en su trayectoria de forma unidireccional con un solo sentido, o por el contrario, cuando el patrón hidrográfico se exprese con cambios o cursos en la trayectoria de la red hidrográfica con respecto a la disposición de las vertientes, y una vez hecho esto, se continua a identificar el tipo de valles, y si son

conformes o consecuentes con la estructura del relieve o por el contrario, atraviesan o cortan transversalmente a las estructuras.

En conclusión, podemos decir que por el número de interfluvios, de vertientes, de pisos fitoclimáticos, de cambios en el rumbo de la red hidrográfica, de número de valles que atraviesan interfluvios, número de subcuencas escalonadas dispuestas por encima de la llanura de nivel de base, se podrá marcar el grado de aloctonía o diversidad natural.

1.10 ZONAS FUNCIONALES DE UNA CUENCA

Su identificación y delimitación es de vital importancia si se piensa en los procesos. La división permite entender las relaciones espaciales del ciclo hidrológico.

En el siguiente diagrama se mostrarán las tres zonas funcionales de una cuenca que se pueden identificar.

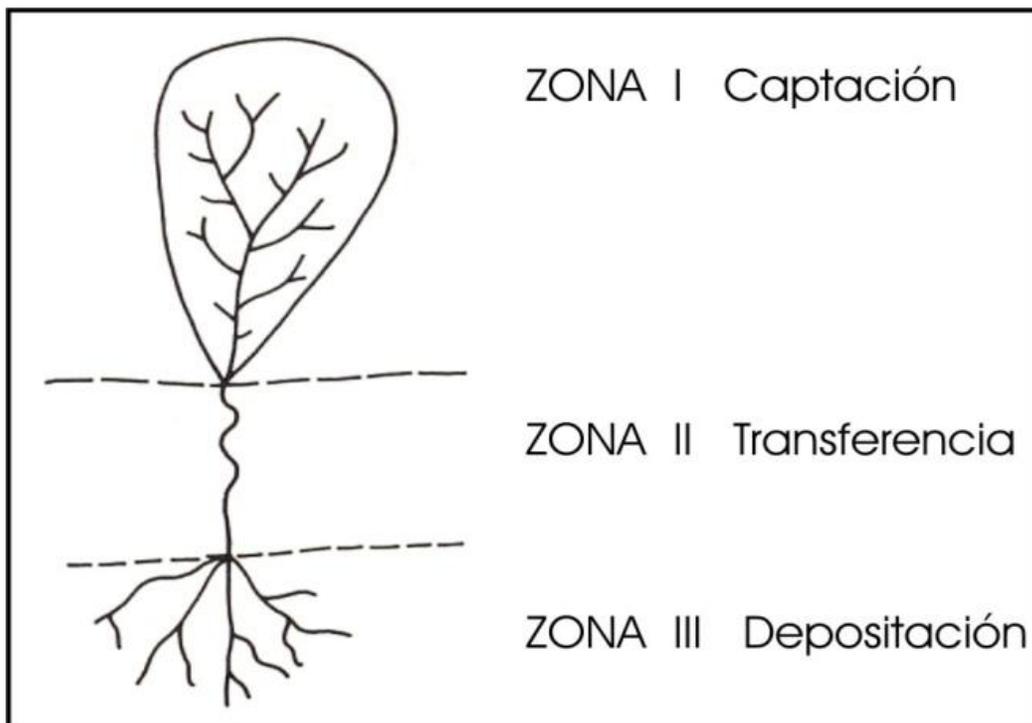


Figura 1.3. Zonas Funcionales de una Cuenca Hidrográfica, (Modificado de Schumm, 1977)

Zona Alta

Forma la captación-recepción en donde se concentra gran parte del caudal líquido.

- Mayor altitud
- Al ser las zonas más elevadas, habrá una menor evapotranspiración potencial que en el resto de la cuenca.
- Son zonas con declives pronunciados y de fuerte pendiente.
- Se concentran mayores precipitaciones
- La red fluvial contará con gradientes hidráulicos pronunciados
- La red fluvial se caracterizará por disección lineal profunda
- Son zonas productoras de sedimentos
- Son zonas de captación y recarga de agua.
- Son cursos fluviales con una respuesta rápida de avenida o crecida.

La red hidrográfica constituye la unidad básica de funcionamiento. Predomina la erosión, la mayor parte de los sedimentos provienen de la zona alta.

Zona Media

Cumple con la misión de transmisión del escurrimiento a través de las corrientes de orden mayor, emitiéndolo en dirección convergente al colector principal. También cumple con la misión de la zona de recarga de acuíferos y de agua subterránea.

Zona Baja

Tiene una conducta contraria y distinta a la zona alta.

- Menor precipitación
- Menor intensidad
- Vegetación natural escasa
- La erosión se reduce
- Domina la acumulación sedimentaria
- Sujeto a inundaciones

Estas tres zonas nos ayudaron a una mejor delimitación espacial de las cuencas dándole otro enfoque a la forma tradicional de trabajarlas.

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS SIERRAS MADRE ORIENTAL, OCCIDENTAL Y DEL SUR

Este capítulo tiene como principal objetivo presentar la geología y la geomorfología de las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, por lo tanto se anexa en la parte final de la tesis el mapa geológico de la República Mexicana. Esto es de suma importancia debido a que, conociendo esto, veremos los diferentes cambios y comportamientos que presentan tanto las cuencas, como las vertientes e incluso los ríos.

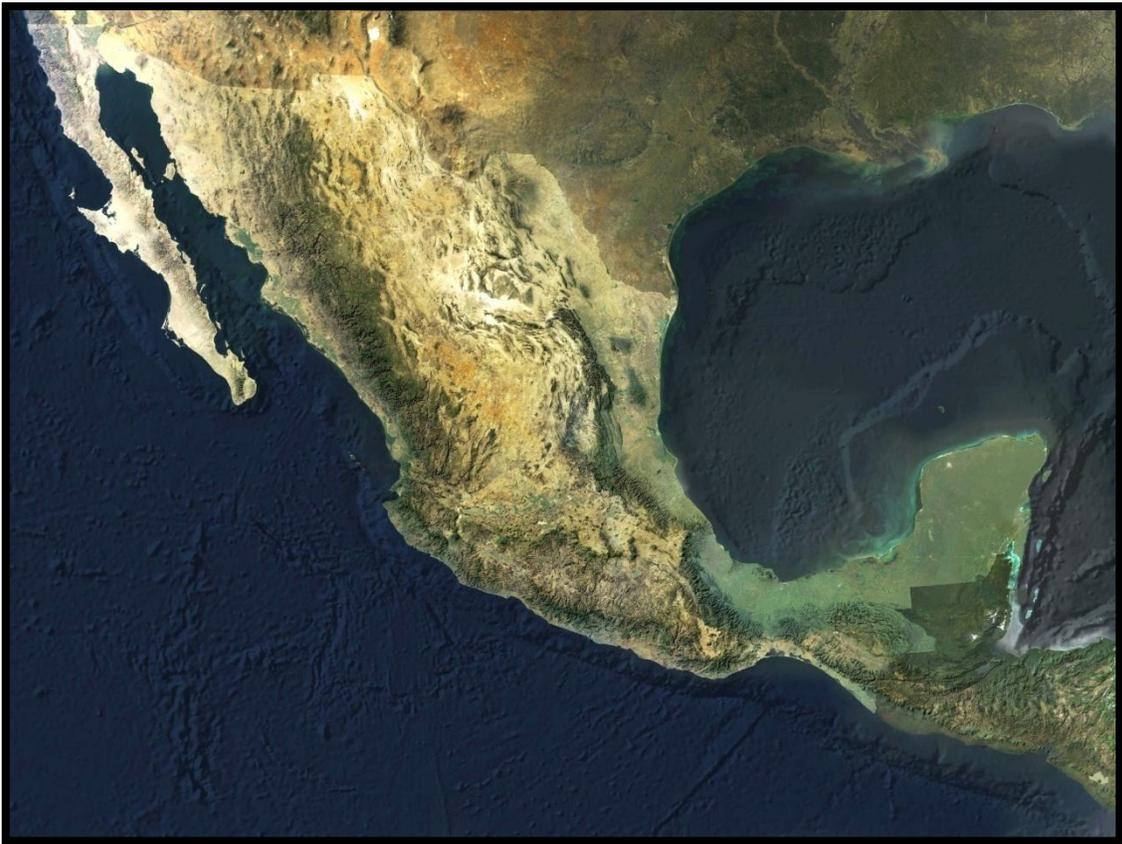


Figura 2.1, Imagen que muestra la fisiografía de la República Mexicana.

2.1 SIERRA MADRE ORIENTAL

La Sierra Madre Oriental (SMO), corresponde a una cadena montañosa situada en el oriente de México, extendiéndose desde Parral, Chihuahua hasta Zongolica, Veracruz; está compuesta de rocas sedimentarias marinas clásticas y calcáreas del Mesozoico que sobreyacen a rocas del Precámbrico, Paleozoico y Mesozoico que integran el basamento del NE de México (Padilla y Sánchez, 1982; Goldhammer *et al.*, 1991; Michalzik y Schumm, 1994; Goldhammer, 1999; Torres *et al.*, 1999).



Figura 2.2, Imagen de la fisiografía de la Sierra Madre Oriental.

Esta cadena montañosa representa a un cinturón plegado y cabalgado generado principalmente por deformación de cobertura temprana y de forma subordinada por la influencia de deformación de basamento tardío (Padilla y Sánchez, 1982; Marrett y Aranda-García, 1999).

El basamento de la SMO y su antepaís presentan rocas que varían en litologías y edades, como gneises de edad Precámbrica, en Peregrina, Tamaulipas. (De Cserna *et al.*, 1977,

Ramírez, 1978; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1995) o el núcleo del anticlinorio de Huayacocotla (Carrillo, 1965), esquistos de edad preoxfordiana, esparcidos en la región del transpaís (Córdoba, 1965; Carrillo, 1961;). Además, también existen sedimentos del Paleozoico (King, 1934; Carrillo, 1961). Por otro lado, rocas de edad Permo-Triásico en el basamento de los altos estructurales (*i.e.* Bloque de Coahuila y el Arco de Tamaulipas) han sido reconocidos por Mckee *et al.* (1988) y Torres *et al.* (1999) como el producto de subducción en el margen oeste de Pangea.

El paquete sedimentario que compone a la SMO fue depositado durante el desarrollo de una margen pasiva relacionada con la formación del Golfo de México. A partir del Triásico Tardío en el NE de México, inició la fragmentación de la Pangea que condujo a la generación de fosas y pilares que fueron paulatinamente invadidos por el mar y que controlaron ampliamente las facies sedimentarias marinas, depositándose primero gruesas secuencias de evaporitas y posteriormente rocas calcáreo-arcillosas, calcáreas y finalmente clástico-calcáreas durante la regresión marina regional disparada por el inicio de la orogenia Laramide en el norte de México (Padilla y Sánchez, 1982; Michalzik y Schumann, 1994; Goldhammer *et al.*, 1991; Goldhammer, 1999).

El depósito relacionado al *rifting* (depresión asociada a la tectónica), consiste de secuencias de capas rojas y acumulaciones volcánicas del Grupo Huizachal (Mixon *et al.*, 1959). La sedimentación marina empezó con el depósito de gruesas secuencias de evaporita dentro del Golfo de México durante el Calloviano (Humphrey, 1956; Winker y Buffler, 1988) y se extendieron hasta el Kimmeridgiano en el noreste de México (Minas Viejas-Olvido; Longoria, 1984; Goldhammer y Johnson, 2001). Estos depósitos jugaron un papel importante ya que funcionaron como un despegue regional controlando las geometrías de las estructuras generadas por acortamiento asociadas a la orogenia Laramide (Padilla y Sánchez, 1982; Gray y Johnson, 1995; Marrett y Aranda-García, 1999).

El depósito de la Formación La Casita representa un periodo de influjo clástico mayor, su distribución y espesor varía geográficamente en función de la proximidad con el Bloque de Coahuila (Smith, 1987; Salvador, 1987, 1991a, 1991b; Michalzik y Schumann, 1994). Durante el período Berriasiano-Valanginiano inició el depósito de la Formación Taraises constituida de caliza y marga de ambiente de plataforma marina abierta, salvo en el área de Galeana, N.L., donde aflora el miembro Galeana, compuesto de arenisca de estratos medianos a gruesos de ambiente deltáico con sedimentos provenientes de la Isla de Terán (Alvarado-Molina, 2004). Durante el Cretácico Temprano se desarrollaron extensas plataformas carbonatadas (Wilson, 1990), representadas por la Formación Cupido y su equivalente de cuenca, la Formación Tamaulipas Inferior del Barremiano-Aptiano, y la

Formación Aurora y su equivalente de cuenca, la Formación Tamaulipas Superior del Albiano; cada una comprende una serie de parasecuencias cíclicas en un ambiente somero separadas por una secuencia transgresiva de lutita, de estratificación delgada de aguas profundas, representadas por la Formación La Peña (Goldhammer *et al.*, 1991).

La Formación Cuesta del Cura, de edad Albiano tardío al Cenomaniano, consiste de carbonato pelágico de aguas profundas, lutita acumulada enfrente del borde de la plataforma e intercalaciones con bandas de pedernal (Goldhammer *et al.*, 1991). Para finales del Cenomaniano al Turoniano, Eguiluz de Antuñano y Campa (1982) reconocieron cambios en las facies sedimentarias en el NE de México, al parecer relacionadas con un levantamiento regional; lo anterior, dio lugar a la deposición de la secuencia de carbonato de agua profunda con material arcilloso de la Formación Agua Nueva en la SMO. Posteriormente, en el Coniaciano-Santoniano, un ligero cambio en las condiciones tomó lugar y se depositaron carbonatos y lutitas de agua somera de la Formación San Felipe.

El levantamiento de la SMO ha sido interpretado como producto de un *décollement* regional y despegue de la secuencia marina del Mesozoico superior, disparado por la acreción del Terreno Guerrero-Alisitos y la isomerización del ángulo de subducción que controló la migración del magmatismo de arco del oeste de México hacia la parte interna del continente en un intervalo de tiempo semejante a lo que ocurrió en el SW de los Estados Unidos de Norteamérica (Coney, 1976; Coney y Reynolds, 1977; Dickinson y Snyder, 1978; Clark *et al.*, 1981); lo anterior, aceleró la regresión marina regional en el NE de México. Las estructuras asociadas al *décollement* representan una deformación típica de cobertura culminando con el cabalgamiento de la secuencia sobre altos de basamento hacia el NE en Chihuahua, hacia el norte en el sur de Coahuila y hacia el E-NE entre Monterrey y Teziutlán, Puebla (Ye, 1997).

Durante la etapa tardía de la deformación en el NE de México, fallas de basamento antiguas como la falla de San Marcos y fallas secundarias asociadas a ésta, fueron reactivadas con componente inverso (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000; Chávez-Cabello, 2005; Zhou *et al.*, 2006). Chávez-Cabello (2005), propuso que la reactivación inversa de las fallas de basamento debió terminar aproximadamente a los 41 millones de años, con base en que esta edad corresponde a la edad que separa intrusivos sin-tectónicos antiguos de intrusivos post-tectónicos más jóvenes del Cinturón de Intrusivos Candela Monclova en Coahuila.

En cuanto a estilos estructurales se refiere, el cinturón de la SMO consiste de una cadena de pliegues elongados, con flancos de verticales a subverticales, con fallas y cabalgaduras

en su mayoría con transporte tectónico hacia el antepaís, aunque en ocasiones se presentan vergencias opuestas (Padilla y Sánchez, 1985). El rumbo de las estructuras a nivel regional presenta cambios en su dirección; entre Parral, Chihuahua y Torreón, Coahuila, la orientación es NW-SE y cambia a WNW-ESE entre Torreón y Saltillo, Coahuila, NE-SW entre Saltillo y Monterrey, Nuevo León, y NNW-SSE entre Monterrey y la región de Zongolica, Veracruz; así mismo, se distinguen variaciones en la longitud de onda de sus pliegues y cambios en la amplitud de la cadena deformada. A continuación, se describen los estilos estructurales de zonas cercanas al área de estudio como lo son La Sierra de Parras y la Saliente de Monterrey.

El Sector Transversal de Parras, es aquel que consiste de pliegues orientados N 70° W con inmersión hacia el SE, caracterizados por ser angostos y alargados. La parte sur de la sierra de Parras presenta pliegues de despegue con planos axiales verticales; en su parte central se presenta una zona triangular definida por pliegues por doblez de falla con transporte opuesto; además, en su parte frontal se observan pliegues de despegue convergentes hacia el NNE, atrás de una zona de cabalgadura intercutánea (Price, 1986 en McClay, 1992), convergencia de la cabalgadura profunda hacia el NNE y de la más superficial hacia el SSW; finalmente, existe una cabalgadura emergente que corta a los sedimentos del antepaís de la cuenca de Parras, indicando que la deformación es más joven hacia el NNE (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000).

De manera subordinada, se presentan pliegues por propagación de falla en el sur (anticlinal sombrerillo) y en el frente tectónico dentro de la cuenca de Parras. En general, se puede interpretar que las estructuras están controladas por despegues y propagación de fallas desde el despegue regional compuesto por la evaporita jurásica, acentuándose la deformación en la zona donde las evaporitas se acuñan hacia el bloque de Coahuila. En ese punto, las evaporitas son reemplazadas por rocas terrígenas, en las que se desarrolla la zona de cabalgadura intercutánea, emergiendo la cabalgadura hasta cortar niveles estratigráficos más jóvenes dentro de lutita de la Formación Parras del Cretácico Superior. Se ha interpretado que en esta zona el transporte tectónico general es N 18° E (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000).

Ahora bien, otro de los estilos estructurales que se deben citar, es el de la Saliente de Monterrey, que está definida por un cambio en la dirección de las estructuras plegadas de NNW-SSE, cerca de Linares, a SW-NE, al oriente de Saltillo, Coahuila, incluye los pliegues y cabalgaduras ubicados entre las ciudades de Saltillo, Monterrey, Linares y Concepción del Oro (Padilla y Sánchez, 1985). Se sugiere que factores como: altos de basamento, el depocentro (canal de Monterrey) y el espesor de la secuencia de evaporitas en la base de

las rocas sedimentarias marinas, controlaron la geometría y los estilos de la deformación (Padilla y Sánchez, 1982; Marrett y Aranda-García, 1999; Chávez-Cabello *et al.*, 2004).

Los pliegues de la Saliente de Monterrey son principalmente alargados con longitudes de hasta 65 km (*i.e.* anticlinal Los Muertos), frecuentemente isoclinales, doblemente buzantes en sus extremos, con planos axiales verticales o con vergencia ligera hacia el NNE y NE. Se ha interpretado que en la parte occidental de la Saliente los pliegues se escalonan y pueden estar controlados por fallas no emergentes que se propagan o cortan los flancos frontales de los pliegues (Melnyk, 1997; Marrett y Bentham, 1997; Camerlo, 1998; Fischer y Jackson, 1999; Marrett y Aranda-García, 1999), aunque éstas pueden ser visibles entre Monterrey y Aramberri (Díaz *et al.*, 1959; Padilla y Sánchez, 1985; Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000). En general, dentro de la saliente de Monterrey predominan los pliegues de despegue nucleados en el paquete de evaporita del Calloviano-Oxfordiano.

Por otro lado, existen dos cabalgaduras bien definidas dentro de la Saliente entre Monterrey y Aramberri, aquí definidas como la cabalgadura frontal, discontinuamente expuesta en el frente de la SMO, y la cabalgadura secundaria, localizada generalmente en el flanco frontal del penúltimo pliegue regional localizado hacia el frente tectónico entre estas mismas localidades. La cabalgadura secundaria está bien expuesta en los cañones Santa Rosa, Hualahuises, Potosí y La Boca, entre Rayones y Linares, N.L. (Torres-Ramos, 2011), mientras que la cabalgadura frontal es emergente en el camino a Rayones, en el Cañón Santa Rosa y entre Aramberri y Villa Hidalgo, Tamaulipas, como lo señalan Eguiluz de Antuñano *et al.* (2000), donde rocas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior se sobrepone a rocas del Cretácico Superior. Marrett y Aranda-García (1999) consideran que la cabalgadura frontal pudiera ser un pliegue de despegue roto (*break thrust fold*), debido a que las geometrías observadas en el frente de la sierra no son congruentes con pliegues por doblez o por propagación de falla.

A escala regional se conoce que la unidad que le subyace es de origen sedimentario marino y corresponde a la evaporita de la Formación Minas Viejas, expuesta ampliamente en la región de Galeana, N.L. y en algunos núcleos de anticlinales brechados como los expuestos en Potrero Prieto, en Iturbide, N.L., aproximadamente a 12 km al NW del área cartografiada, a 15 km al SW en la región de Puerto El Encinal de La Poza, Galeana, N.L., e inclusive ésta unidad ha sido cortada por pozos de PEMEX en la región del antepaís muy cerca de Linares, N.L., por el pozo Trincheras 1 (Eguiluz de Antuñano y Aranda-García, 1984). En general, se ha reportado que la Formación Minas Viejas está compuesta por anhidrita, yeso y en el propio anticlinal de Minas Viejas se reportó halita en el pozo Minas Viejas. En el área de Galeana se ha reportado caliza, anhidrita, yeso y hasta estratos

clásticos intercalados que componen hasta 700 m de espesor (Cross y Marret, 2008), en su conjunto esta unidad corresponde al despegue regional que controló gran parte de los estilos de deformación observados dentro y en el frente de la SMO.

La otra unidad sedimentaria jurásica expuesta en el área de estudio corresponde a la Formación La Casita. Esta unidad está integrada por dos miembros, el miembro arcilloso más antiguo compuesto de lutita carbonosa y un miembro superior clástico-arenoso fosfatizado, en conjunto presentan 278 m de espesor y subyacen concordantemente a marga (*mudstone*) intercalada con lutita de la Formación Taraises, cuyo espesor medido es de 310 m. A la Formación Taraises le sobreyace concordantemente la Formación Tamaulipas Inferior, correspondiente de cuenca de la Formación Cupido de carácter arrecifal en la plataforma al NW, compuesta de *mudstone* de espesores entre 0.3 y 1.5 m, que se intercalan en la base y cima con horizontes delgados de lutita de espesores < 5 cm. Esta formación presenta hasta 510 m de espesor y configura los relieves más prominentes en el área de estudio y en general dentro de la SMO. Sobreyaciendo a la Formación Tamaulipas Inferior aparece la Formación La Peña, ésta presenta un espesor de 53 m de margas con nódulos de hierro aislados y fósiles de amonites, estas capas se intercalan con lutita calcárea de espesor delgado y caliza hacia su base y cima. La Formación Tamaulipas Superior está compuesta de intercalaciones de caliza con lutita de espesor delgado alcanzando 75 m de espesor. La caliza presenta nódulos de pedernal negro abundantes cerca de su cima hacia la Formación Cuesta del Cura que le sobreyace de manera concordante. Esta última unidad presenta caliza de estratificación ondulada intercalada con lutita calcárea, bandas y lentes de pedernal, su espesor alcanza los 156 m. Otra de las unidades del Cretácico Superior aflorantes es la Formación Agua Nueva, compuesta de lutita gruesa de color negro rica en componentes orgánicos, intemperiza a color beige y se intercala con marga de espesor delgado, característicamente desarrolla un fracturamiento laminar paralelo a la estratificación. Esta Formación subyace a la Formación San Felipe, compuesta de intercalaciones de lutita calcárea intercalada con horizontes verdes de bentonita, caliza blanca silicificada de espesor delgado y limolitas. Finalmente, la secuencia marina termina con la aparición de la Formación Méndez, compuesta de lutita masiva con una estratificación bien desarrollada. Las formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez se agruparon como una sola unidad en la sección geológica y los espesores utilizados fueron los publicados por Michalzik (1988), quien reportó 103, 131 y más de 500 m de espesor respectivamente.

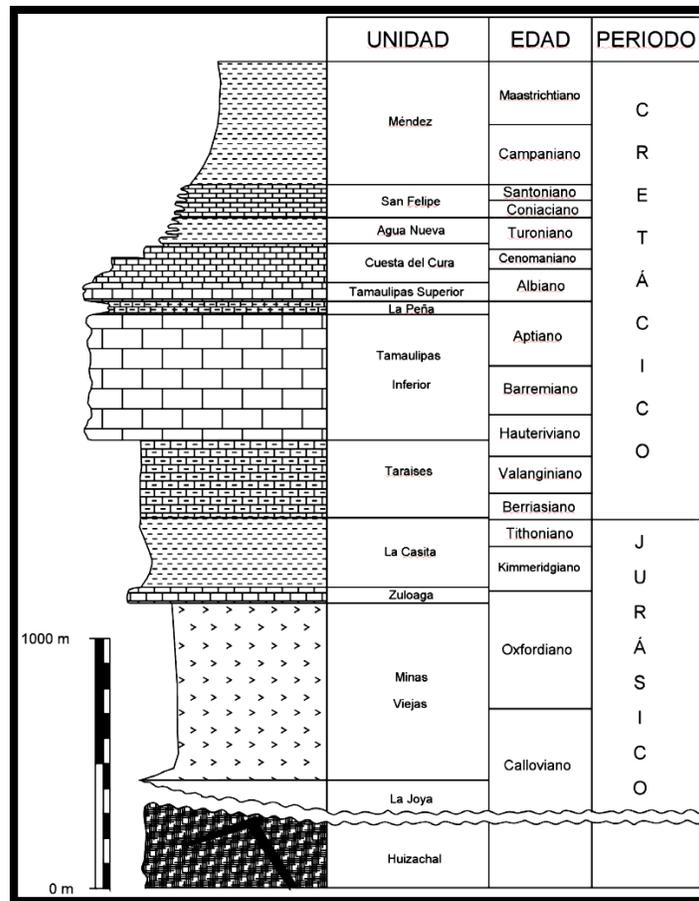


Figura 2.3, Columna Estratigráfica de la Sierra Madre Oriental, (Milchalsik, 1988)

La amplitud y la longitud de onda de muchos de los pliegues regionales en la parte Norte de la SMO, obedece a la existencia de un paquete potente de evaporita que presentan un espesor mínimo de 600 m en Galeana, N.L. (Götte, 1990) y según Goldhammer y Johnson (2001) alcanzan hasta 1000 m en zonas donde la deformación es baja; en general esta unidad subyace a la secuencia sedimentaria marina del Mesozoico, es discordante a gneises del basamento Precámbrico, a sedimentos del Paleozoico y a Lechos Rojos (Michalzik, 1988; Götte, 1990). Este paquete evaporítico controló, durante la orogenia Laramide, el deslizamiento y despegue de la secuencia hacia el Norte y Noreste (Díaz *et al.*, 1959; Padilla y Sánchez, 1982, 1985, 1986; Meiburg, 1987; Marrett y Aranda-García, 1999; Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000; Higuera-Díaz *et al.*, 2005; Wilkerson *et al.*, 2007).

En el cañón Santa Rosa, en orden estratigráfico, además de la evaporita de la Formación Minas Viejas, se cree que el miembro arcilloso inferior de la Formación La Casita funcionó como superficie de despegue para controlar el relieve estructural presente en el anticlinal de Guadalupe y en el propio anticlinal frontal de Jaures, roto por cabalgamiento. Otro nivel de despegue notorio lo compone la Formación La Peña, la cual define pliegues de

despegue en la Formación Tamaulipas Superior, muy notorios en el flanco trasero del anticlinal de Juárez; por el nivel estratigráfico de esta unidad, la longitud de onda de estos pliegues es de centenas de metros como máximo y su amplitud menor a los 300 m.

Para el caso de la Formación Cuesta del Cura, se hace una aclaración aparte, ya que ésta se despegue de la Formación Tamaulipas Superior que le subyace, pero a su vez la Formación Cuesta del Cura contiene un plegamiento no armónico con el resto de la secuencia que le sobreyace (formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez), ya que particularmente presentan longitudes de onda y amplitudes de pliegues más grandes.

Ahora bien, la estratigrafía que se presenta en la zona es altamente heterogénea y condicionó, como es común, en el desarrollo de las estructuras principales. Del SW hacia el NE se presentan los anticlinales de Guadalupe, Santa Rosa y Jaures, con sus respectivos sinclinales intermedios. La longitud de onda de estos pliegues varía entre 3.3 y 4.4 km, mientras que la amplitud de 3.6 a 4.2 km. En general, la longitud de onda se reduce hacia el frente de montaña y puede haber longitudes y amplitudes menores cuando ocurren despegues más someros, como el caso del anticlinal de Guadalupe. Existen tres cabalgaduras, éstas son: a) cabalgadura trasera, b) cabalgadura secundaria y, c) cabalgadura frontal, las cuales reducen su ángulo de inclinación en dirección del frente tectónico. Además, se muestran dos fallas laterales izquierdas, una de ellas corta el núcleo del anticlinal de Juárez y a la cabalgadura frontal en el frente tectónico y es visualizada como una falla de arrastre típica, y la otra fue reconocida; ésta funciona como una barrera donde termina una cabalgadura y dos pliegues, por lo que se interpreta como una falla de acomodo o transferencia dentro del cinturón. Existe un número grande de estructuras plegadas menores desarrolladas en los flancos frontales de los pliegues rotos por cabalgamiento, como lo son las estructuras asociadas a la cabalgadura secundaria y frontal.

Se puede apreciar también que los pliegues incrementan su acortamiento hacia el frente y las fallas reducen su inclinación en esta misma dirección. Las estructuras plegadas en vista en planta definen ejes de pliegues cóncavos hacia el SW y en sección muestran planos axiales inclinados en la misma dirección, definiendo transporte tectónico hacia el NE (Díaz *et al.*, 1959; Padilla y Sánchez, 1982).

A continuación se hace una descripción más detallada de cada una de las estructuras. Comencemos por el Anticlinal de Guadalupe, el cual es una estructura que contiene en su núcleo lutita del miembro inferior de la Formación La Casita como unidad más antigua, es un pliegue con plano axial inclinado vergente hacia el ENE, flanco trasero inclinado en

promedio 67° hacia el WSW y flanco frontal ligeramente invertido con inclinación de 80° hacia el WSW. La amplitud de este pliegue alcanza los 3.5 km. El flanco frontal está cortado por una falla inversa que yuxtapone a la Formación Taraises sobre la Formación Tamaulipas Inferior, definida aquí como la cabalgadura trasera en nuestra área de estudio. Se interpreta, con base en su geometría, estratigrafía y estructuras presentes en el núcleo de esta estructura, que corresponde a un pliegue de despegue clásico fallado tardíamente y despegado en un nivel estratigráfico más alto que corresponde al miembro inferior arcilloso de la Formación La Casita, esto debido a que no contiene en su núcleo a la caliza Zuloaga así como tampoco evaporita del Calloviano-Oxfordiano de la Formación Minas Viejas.

Ahora bien, el Anticlinal de Santa Rosa, es una estructura que contiene en su núcleo caliza oolítica y mudstone característico de la Formación Zuloaga como unidad más antigua, es un pliegue con plano axial inclinado vergente hacia el ENE, presenta su flanco trasero inclinado en promedio 72° hacia el WSW y su flanco frontal fallado y complejamente plegado. Por el cierre estructural observado en la Formación Zuloaga, se puede inferir que el pliegue antes de romperse en las unidades más jóvenes, el pliegue fue invertido alcanzando una inclinación de su flanco frontal de aproximadamente 75° hacia el WSW. La amplitud de este pliegue alcanza los 3.6 km. El flanco frontal está cortado por dos fallas inversas. La más joven de ellas es de alto ángulo (aproximadamente 60°) y localizada casi en el núcleo de la estructura; se infiere que en profundidad corta a la cabalgadura secundaria, la cual presenta una inclinación promedio de 45°. Esta falla yuxtapone caliza masiva de la Formación Tamaulipas Inferior sobre caliza-lutita-pedernal de la Formación Cuesta del Cura.

Con base en la geometría, estratigrafía y estructuras presentes en el núcleo y flanco de ésta estructura, se interpreta que corresponde a un pliegue de despegue fallado tardíamente pero despegado en el nivel estratigráfico regional que corresponde a la evaporita de la Formación Minas Viejas. La falla inversa más antigua presente en esta estructura, se interpreta que fue generada durante el incremento del acortamiento en la zona que derivó que el pliegue de despegue se rompiera en su flanco frontal. La falla tardía de ángulo alto en la estructura y localizada muy cerca del núcleo, y cercanamente paralela al plano axial, se interpreta que representa una falla propagada desde el basamento, producto de su reactivación en la etapa tardía de la deformación; esto se fundamenta en que el relieve estructural del sinclinal de Los Pinos, ubicado hacia el WSW, es más somero que el relieve estructural del sinclinal El Ebanito, localizado hacia el ENE de esta falla.

Finalmente se encuentra el Anticlinal de Juárez, que es una estructura que corresponde al anticlinal regional más externo del cinturón, contiene en su núcleo lutita negra característica del miembro inferior de la Formación La Casita: ese trata de un pliegue complejo con geometría escalonada en su flanco trasero y un flanco frontal intensamente deformado. Las inclinaciones de las capas en el flanco trasero pasan de sub-horizontales hasta 80° hacia el WSW. El flanco frontal de esta estructura está cortado por una falla inversa mayor conocida como la cabalgadura frontal de la SMO, muestra una inclinación promedio de 22° al WSW y, a partir de ésta, se propagan por lo menos dos fallas más que generan plegamiento complejo en el flanco frontal. El fallamiento en el flanco frontal yuxtapone lutita negra de la Formación La Casita sobre margas, calizas, lutita negra y pedernal de las Formaciones Cuesta del Cura y Agua Nueva, presentes en la transición de estas unidades litológicas. La zona de falla tiene un espesor de aproximadamente 100 m, observándose brecha de falla, rocas cataclásticas y salbanda alternadas en la zona de deformación.

Así, el pliegue anticlinal y la cabalgadura frontal están cortados por una falla lateral izquierda que desplaza a estas estructuras cerca de 500 m, interpretándose esta falla como una falla de arrastre tardía en la deformación. Se interpreta, por la geometría, estratigrafía y estructuras presentes en el núcleo y flancos de ésta estructura, que corresponde a un pliegue de despegue fallado tardíamente, despegado originalmente en la Formación Minas Viejas y con la secuencia transportada sobre el miembro arcilloso inferior de la Formación La Casita, la cual aflora cabalgando al Cretácico Superior en la cabalgadura frontal. La falla inversa más antigua presente en esta estructura se interpreta que fue generada durante el incremento del acortamiento en la zona que derivó que el pliegue de despegue se rompiera en su flanco frontal. Las fallas tardías que generan deformación compleja del flanco frontal pudieron ser sincrónicas al inicio del fallamiento y la alteración de la geometría del flanco trasero haber sido producto del transporte de la secuencia sobre una rampa escalonada sepultada.

Con esto podemos concluir que la SMO, tiene dos tipos de comportamientos: en la región centro su comportamiento obedece a una sierra plegada de carácter monolítico con estribaciones, y en la región norte (de la huasteca hacia el N) es una sierra de plegamientos que en su última etapa fue la base para que se formaran cuencas de tracción. Así pues, también cuenta con fallas trascurrentes inversas.

2.2 SIERRA MADRE OCCIDENTAL

La Sierra Madre Occidental (SMW) es un sistema fisiográfico ubicado al occidente de México, caracterizada por una meseta volcánica con una elevación promedio de más de 2,000 m, y aproximadamente 1,200 km de largo, por una franja de entre 200-400 km de ancho, la cual se extiende desde la frontera con los Estados Unidos hasta el Sistema Volcánico Transversal y limitada al oeste por el Golfo de California y al este por el Altiplano Central y Septentrional. En el extremo de a porción sur-sureste colindando con el Sistema Volcánico Transversal prácticamente desaparece de la planicie costera.

Es una estructura tabular que se extiende en la costa occidental del zócalo continental, siguiendo una dirección NNW a SSE; su estribaciones inician a 50 km. al sur del límite con Estados Unidos para terminar en la porción meridional el río Santiago, donde cruza con el Sistema Volcánico Transversal.

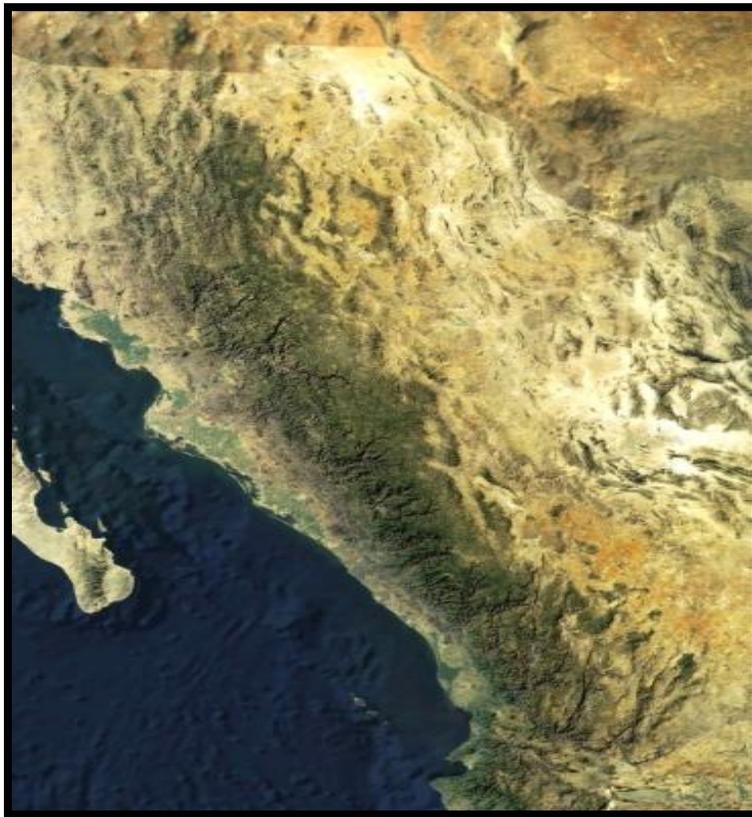


Figura 2.4, Imagen de la fisiografía de la Sierra Madre Occidental.

Algunos autores lo consideran como una prolongación de las Montañas Rocallosas en Estados Unidos, ya que su origen geológico es el mismo, pero la inexistente continuidad en el relieve hace que desde el punto de vista estructural no se les pueda considerar como la misma unidad geológica.

La altura media de la SMW es de 2,250 m. y sus cimas que alcanzan los 3,000 m. en la región Tarahumara y de Tepehuanes.

Ahora bien, hablando de su estructura geológica, se puede decir que es el resultado de diferentes episodios magmáticos y tectónicos durante el Cretácico-Cenozoico, asociados a la subducción de la placa Farallón debajo de la placa de Norteamérica.

El dominio de las unidades litológicas están constituidas por: 1) rocas intrusivas y volcánicas del Cretácico Superior-Paleoceno; 2) rocas volcánicas andesíticas y, en menor medida, dacítico-riolíticas del Eoceno; 3) ignimbritas silíceas del Oligoceno temprano y el Mioceno temprano; 4) coladas basálticas-andesíticas con la ocurrencia de episodios volcánicos del Mioceno tardío, Plioceno y Cuaternario (Padilla y Sánchez, 1982).

También está integrada por algunas formaciones premesozoicas plegadas. Este tipo de formas, podemos observar que solamente aparecen en la parte occidental de la cordillera. Después, en el Mesozoico, estos materiales fueron cubiertos por materiales extrusivos, producto del magma superficial de vulcanismo de fractura, así como batolitos, lacolitos y diques.

Debido a la intensidad de esfuerzos tectónicos, en ciertas partes de la SMW se han formado montañas con desplazamiento de bloques a lo largo de fallas a diferentes alturas, tal como se observa en las vertientes de la zona occidental, ya que no es un plano inclinado continuo, sino que se interrumpe por grandes bloques de disposición diferencial. Se cree que en la vertiente interior seguramente ocurrió lo mismo, pero debido a los sedimentos que se han ido depositando en esa zona, es probable que esas evidencias hayan cubierto algunas de las serranías de ese lugar (Coney, 1976).

Mientras que en la vertiente externa que reconoce al Pacífico, los principales ríos que bajan de la cordillera, forman numerosos valles profundos de paredes acantiladas conocidas como quebradas y cañones, por eso se observa que los afluentes siguen direcciones paralelas al eje de la SMW así como a las líneas de fracturas. Estos cañones o quebradas son producto de depresiones tectónicas que siguen direcciones paralelas al eje longitudinal de la SMW debido a hundimientos derivados de fallas transcurrentes con el mismo rumbo paralelo.

En cuanto a la edad geológica, podemos decir que la SMW inicia su levantamiento en el cretácico; y continuó subiendo en el cenozoico, debido a las fracturas y su manifestación volcánica, han formado las serranías fueron cubiertas por materiales extrusivos.

Durante el fin del Cretácico y el principio del Terciario, el magmatismo en el norte de México estuvo dominado por la actividad de un arco nombrado "Laramide" por ser contemporáneo con el periodo en que se desarrolló la deformación laramídica en Norteamérica. La actividad de este arco produjo una gran cantidad de rocas intrusivas y volcánicas, que fueron agrupadas en el llamado Complejo Volcánico Inferior por McDowell y Keizer (1977). El complejo está constituido por grandes batolitos graníticos compuestos, que varían en composición desde diorita y cuarzo-diorita a granito alcalino (e. g., Roldán-Quintana 1991; Valencia-Moreno *et al.*, 2001), y por una secuencia volcánica de composición predominantemente andesítica, conocida como Formación Tarahumara (Wilson y Rocha, 1949).

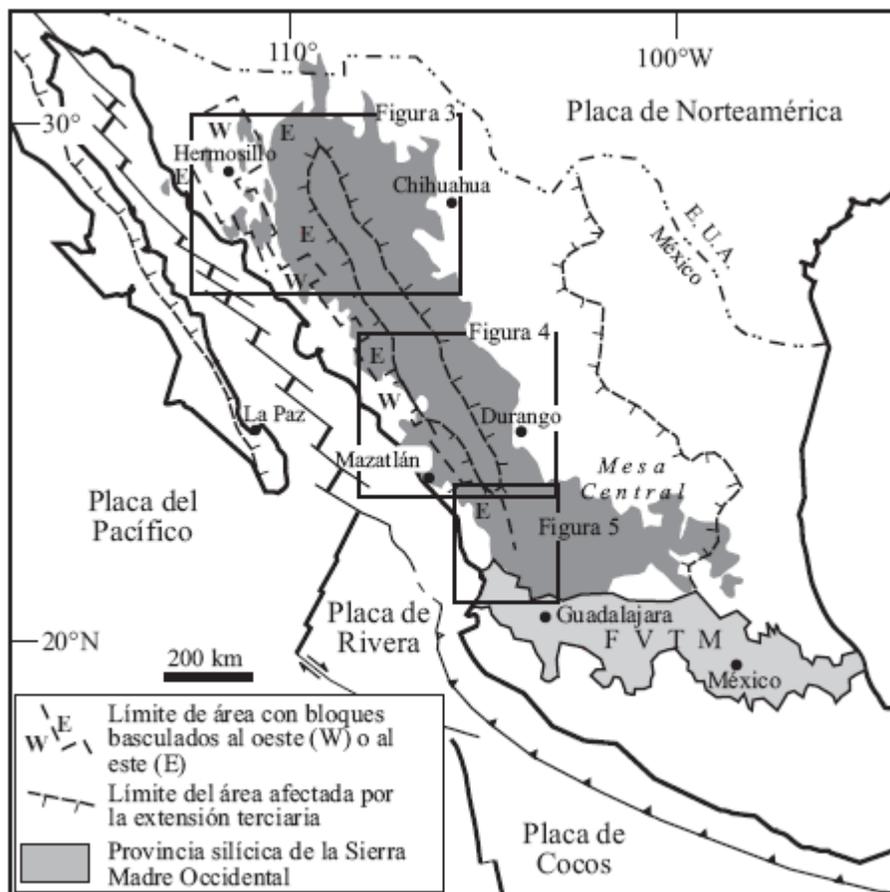


Figura 2.5, Esquema tectónico de México mostrando la extensión del Terciario (tomado de Henry y Aranda-Gómez, 2000 y Ferrari *et al.*, 2002)

En la zona centro de la SMW, el magmatismo del Cretácico-Paleoceno ha sido estudiado de manera más detallada en la margen oeste de la Sierra, en Sinaloa, donde la extensión asociada a la apertura del Golfo de California ha expuesto de manera más continua los batolitos debajo del Complejo Volcánico Inferior. De esta manera, los batolitos del Cretácico-Paleoceno subyacen a buena parte de la SMW, dado que cuerpos dioríticos cretácicos son reportados también en el área de Nazas, en el occidente de Durango (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991).

En la zona sur, existen cuerpos intrusivos de edad Cretácico-Paleoceno afloran de manera aislada en el borde oriental de la Sierra de la Sierra en Zacatecas. En el área de La Tesorera-Zacatón, 20 km en el borde de Zacatecas, afloran rocas de composición granodiorítica. Estos cuerpos plutónicos intrusionan regularmente a rocas sedimentarias marinas del Cretácico Temprano. Hacia el oeste, en Jalisco occidental y Nayarit no existe reporte de rocas magmáticas pre-cenozoicas. La escasez de afloramientos del arco Cretácico-Paleoceno en el sector sur de la Sierra puede deberse a la extensa cobertura de las ignimbritas del Oligoceno y, sobretudo, del Mioceno temprano, que tienen su máxima extensión en esta región (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991).

Hablando de las ignimbritas que se encuentran en la SMW, se puede decir que en la parte central con mayor espesor de rocas de edad eocénica, se encuentra en el límite Sinaloa-Durango, en el área de Tayoltita (Henry y Fredikson, 1987). En esta área el río Piaxtla ha disectado un profundo cañón que expone por lo menos 1 500 m de la secuencia eocénica con importante mineralización de oro y plata (Horner, 1998; Horner y Enríquez, 1999; Enríquez y Rivera, 2001).

Por analogía con la estratigrafía del valle del río Piaxtla, rocas andesíticas reportadas en muchas áreas de Sinaloa por debajo de la cubierta ignimbrítica de edad oligo-miocena. Sin embargo, no existen datos geocronológicos que comprueben de manera segura esta correlación. (Horner y Enríquez, 1999) Otra área donde se ha podido documentar una importante actividad del Eoceno se encuentra en la margen oriental de la SMW, en la región de Nazas, donde la secuencia incluye lavas andesíticas separadas por lavas riolíticas e ignimbritas y cubiertas por riolitas (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991).

Ahora bien, la SMW como provincia volcánica es comúnmente asociada a la inmensa sucesión ignimbrítica con espesores de hasta más de 1 000 metros que cubre gran parte del occidente de México (McDowell y Clabaugh, 1979). Esta secuencia, conocida también como el Supergrupo Volcánico Superior, fue emplazada de manera discordante sobre las rocas del Complejo Volcánico Inferior (McDowell y Kaizer, 1977). El Supergrupo

Volcánico Superior está compuesto por una potente secuencia de tobas de flujos piroclásticos, tobas de caída y lavas de composición silícica a intermedia, y en menor proporción, flujos de composición máfica particularmente expuestos en los bordes de la provincia volcánica (McDowell y Clabaugh, 1979).

Por su parte, en cuanto a la tectónica se refiere, una buena parte de la SMW ha sido afectada por una deformación predominantemente extensional durante diferentes episodios que se remontan al Oligoceno o, quizás, hasta el final del Eoceno. La deformación no parece afectar al núcleo de la Sierra, que constituye la meseta volcánica (Henry y Aranda-Gómez, 2000).

La reconstrucción de la tectónica que afectó a la SMW en el sector norte es compleja, particularmente debido a la presencia de varios eventos de episodios ígneos asociados cuya actividad se traslapa parcialmente en tiempo y espacio. No se puede excluir que una tectónica extensional haya empezado en el Eoceno, ya que existe una discordancia angular moderada entre la serie volcánica y las ignimbritas oligocénicas al sur de Chihuahua (Megaw, 1990).

Las cuencas geológicas asociadas a la extensión de corteza en la porción centro-oriental de Sonora, proporcionan otra indicación sobre la edad de la extensión. En esta región, las cuencas están limitadas por fallas normales de alto ángulo, generalmente orientadas NNW-SSE y N-S, y contienen gruesos espesores de conglomerados y areniscas bien consolidados, los cuales han sido asignados a la Formación Báucarit (King, 1939). Comúnmente, hacia la base de estas secuencias clásticas se depositaron flujos de lavas basálticas y andesíticas cuya edad indica un rango común, es decir son contemporáneas ambas unidades de roca. Hacia la parte superior, las secuencias clásticas son menos consolidadas y están intercaladas con aglomerados, tobas y derrames de riolita y riolacita del Mioceno medio. La extensión en estas cuencas es notablemente menor que en los principales núcleos complejos del vulcanismo, lo que sugiere que éstos se haya concentrado en zonas con un basamento previamente debilitado y que la tectónica de extensión en Sonora llegó a un umbral de paroxismo para ciertas áreas (McDowell *et al.*, 1997; Paz-Moreno *et al.*, 2003).

En el sector central, la tectónica extensional ha afectado la SMW, principalmente en los bordes dejando la zona de la divisoria central como un macizo monolítico de meseta volcánica. En el borde oriental, en Durango, se han desarrollado fallas normales de alto ángulo que definen estructuras tipo “cuencas y sierras” (*basin and range*) del todo similares a las que se encuentran en Chihuahua. La edad de la deformación extensional en esta

región se remonta por lo menos al principio del Oligoceno y se caracteriza por un alargamiento general (Aguirre-Díaz y McDowell, 1993).

La parte occidental de la SMW en Sinaloa está profundamente afectada por fallamiento extensional de dirección general NNW con formación de depresiones tectónicas de tipo semi-graben. La vigencia del proceso de basculamiento cambia en correspondencia de una zona de acomodo al norte de Tayoltita, Durango, siendo el acomodo con una inclinación hacia el ENE en la porción septentrional y al WSW al sur Tayoltita, Durango.

En la parte sur, la estructura mejor estudiada es el semi-graben limitado al oeste por la falla Concordia. La falla tiene dirección NW, una inclinación de 40°-70° al NE, y desplazamiento vertical estimado en 5 km a través de métodos geofísicos (Aranda-Gómez *et al.*, 2003). En el piso del bloque caído de esta falla afloran rocas intrusivas del Cretácico Tardío-Paleoceno del batolito de Sinaloa; mientras que en el techo del bloque, lo constituyen ignimbritas del Oligoceno y Mioceno temprano cubiertas por depósitos poco consolidados y mal clasificadas, correspondientes al tamaño de las gravas. Estas ignimbritas a su vez son intrusionados por diques máficos, (Henry y Aranda Gómez, 2000). Sin embargo, el hecho de que algunos diques también se encuentren basculados indica que la extensión continuó un poco más después de su emplazamiento. La extensión en esta región puede haber sido de entre 20% y 50% dependiendo si la geometría de las fallas es lítrica o plana, respectivamente (Henry, 1989).

En el sector sur, la tectónica extensional afecta sistemáticamente a toda la SMW. Por otra parte, el sur de Zacatecas y norte de Jalisco está afectado por una serie de depresiones tectónicas ó grabens que constituyen la continuación occidental de las estructuras extensionales que afectan a la Mesa Central mientras que más al occidente, en Nayarit, dominan las depresiones tipo semi-grabens. Ferrari *et al.* (2002) agrupan las estructuras de la parte sur de la Sierra en tres dominios principales: oriental, occidental y meridional. El dominio oriental está constituido por grabenes de dirección NNE a N-S y longitud variable entre 40 a 120 km, que afectan a ignimbritas del Oligoceno tardío o Mioceno temprano.

Por su parte, el dominio occidental se caracteriza por los semigrábenes Alica, Pajaritos y Jesús María, y los sistemas de fallas normales de Pochotitán y San Pedro. Estas estructuras tienen dirección de N-S a NNW-SSE y basculan sistemáticamente bloques de ignimbritas del Mioceno temprano. A lo largo del río Mezquital existe una zona de acomodo con inversión del basculamiento, ya que al norte, en Sinaloa, la vergencia es al WSW. Las fallas de los semigrábenes cortan a ignimbritas de la serie del Nayar (Ferrari *et al.*, 2002); sin

embargo, no se cuenta con una edad mínima. Los sistemas de fallas de San Pedro y Pochotitán son el resultado de una extensión de dirección ENE a NE-SW y pueden considerarse parte de la Provincia Extensional del Golfo. Las fallas del sistema Pochotitán cortan a rocas y están cubiertas por basaltos (Ferrari y Rosas-Elguera, 2000).

Así, en el dominio meridional la secuencia del Oligoceno y el Mioceno inferior de la SMW está deformada en pliegues abiertos con arreglo escalonado, pequeñas cabalgaduras y fallas izquierdas desarrolladas en el Mioceno medio (Ferrari, 1995). Estas estructuras están distribuidas en una franja de orientación WNW-ESE en el límite de la SMW con el bloque Jalisco. Los pliegues están cortados por diques máficos verticales que proporcionan una edad mínima de la deformación. Ferrari (1995) interpreta esta deformación como una zona de transpresión izquierda producto del movimiento opuesto entre la Sierra, durante las fases finales de la subducción de la microplaca Magdalena, y el bloque Jalisco, donde continuaba la subducción de la placa de Cocos (Ferrari *et al.*, 2002).

Ahora bien, la estructura del manto superior por debajo de la SMW es conocida a grandes rasgos por medio de estudios de tomografía sísmica regionales o globales que utilizan diferentes tipos de ondas y de procesado (Grand, 1994; Alsina *et al.*, 1996; Van der Lee y Nolet, 1997). Un rasgo general de todos estos estudios es que la raíz litosférica por debajo de la Sierra es modesta o hasta ausente. Aunque en forma variable, todos los modelos tomográficos muestran una zona de baja velocidad que se extiende desde 80 km hasta 250 km. Esta anomalía negativa de velocidades se extiende desde el Golfo de California hasta la Meseta Central y desde la provincia de “cuencas y sierras” (*basin and range*) de Estados Unidos hasta la frontera sur de la SMW a la latitud 20°N. Estimaciones de la estructura térmica basada en modelos tomográficos indican que en esta región el manto tiene temperaturas de 500 °C más elevadas que bajo el cratón de Norteamérica al este (Goes y Van der Lee, 2002).

En un estudio reciente Persaud (2003) establece la profundidad de la Moho basándose en funciones de receptor en tres puntos de la margen occidental de la SMW, donde esta última ha sido adelgazada por la extensión que llevó a la formación del Golfo de California. En este estudio se estiman espesores de 28 km en el área al este de Hermosillo y de 22 km tanto para el área de la costa del sur de Sonora (Navojoa) como al norte de Sinaloa en Culiacán. Couch *et al.* (1991) integrando datos gravimétricos y de refracción sísmica estiman un contraste un poco menor en la parte centro-sur de la Sierra. Para estos autores el espesor de la corteza al centro de la SMW es de 40 km pero se reduce a 25 km en la costa este del Golfo de California.

Considerando los 55 km en el núcleo no extendido de la SMW como un máximo para la profundidad de la Moho al término del pulso ignimbrítico y tomando en cuenta un espesor promedio de 25 km en la costa de Sonora y Sinaloa, el adelgazamiento continental del Oligoceno-Mioceno en el flanco occidental de la SMW debe haber sido superior al 100% si la extensión fuera uniforme. Este valor es comparable con la extensión calculada en superficie para la región de los núcleos complejos en Sonora, pero contrasta con las estimaciones de la geología de superficie en otras áreas de Sonora (McDowell, 1997) y en Sinaloa (Henry, 1989), que indican una extensión inferior al 50% y más probablemente del orden de 20-30%. Este contraste sugiere que la extensión extrema estimada en ciertas áreas de Sonora puede ser un valor local que se dio en áreas con basamento predispuesto a focalizar la deformación. Otra posibilidad que sugiere Persaud, (2003), es que en esta región pudo haber ocurrido un desacoplamiento entre corteza frágil y corteza inferior dúctil, donde esta última habría fluido hacia la zona del Golfo de California durante las fases iniciales de la extensión continental.

La historia magmática de la SMW está estrechamente relacionada con la evolución de la margen occidental de la placa Norteamericana y la historia de subducción de la placa Farallón. En un contexto general, la evolución del magmatismo de la SMW se inserta en el patrón de migración del arco volcánico hacia el interior del continente y su posterior regreso hacia la trinchera que ha sido reconocida desde hace tiempo para el suroeste de la Cordillera Norteamericana entre el Cretácico Tardío y el presente (Coney y Reynolds, 1977; Damon *et al.*, 1981; Damon *et al.*, 1983). A principio del Cretácico Tardío, el arco se encuentra próximo a la trinchera (Sierra Nevada, batolitos peninsulares de Baja California y del Complejo Volcánico Inferior), luego empieza paulatinamente a migrar hacia el este conforme el bloque (*slab*) se vuelve subhorizontal. Durante este periodo tiene lugar la orogenia Laramide. Una vez cesada la contracción, a finales del Eoceno, iniciaría el regreso del arco a medida que la placa subducida aumenta su ángulo. Este patrón general de migración puede aplicarse, con ciertas limitaciones, a la SMW. La migración inicial hacia el este del arco es más evidente en Estados Unidos y norte de la SMW, donde alcanza los 1 000 km desde la trinchera (Damon *et al.* 1981), que en su parte centro y sur. Henry *et al.* (2003) muestran que en el sector central de la SMW el arco sólo llegó a unos 400 km de la paleotrinchera y que la migración hacia el este del magmatismo ocurrió a una tasa de un orden de magnitud menor que su regreso hacia la trinchera.

Para la parte sur de la SMW la mayor distancia de la paleo-trinchera es alcanzada en el Oligoceno, cuando el arco llega a distancias máximas de 600 km de la paleo-trinchera (Nieto-Samaniego *et al.*, 1999). Durante esta migración al este, el volcanismo de la parte norte de la SMW aparece posteriormente a la deformación compresiva. Las rocas

volcánicas del Complejo Volcánico Inferior tanto en Sonora (Formación Tarahumara) como en Chihuahua (*Peñas Azules volcanics*) sólo están basculadas y no presentan evidencias claras de que esto se haya debido a un acortamiento. Por otro lado en la parte central de la Sierra la deformación en las rocas del Complejo Volcánico Inferior (plutones sintectónicos de Sinaloa) antecede la deformación laramídica de la Sierra Madre Oriental, que tiene edades del Paleógeno (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000). Finalmente, el arco Eoceno en toda la Sierra no tiene evidencias de una deformación contractiva. La presencia durante el Cretácico Tardío-Paleógeno de un arco magmático ubicado entre la paleotrinchera y el frente de la deformación impide extender el modelo de subducción subhorizontal mencionado para explicar la orogenia Laramide tanto en Estados Unidos como en México, ya que el acoplamiento entre placa subducida y placa superior cierra la cuña del manto donde se genera el magmatismo de arco (Coney y Reynolds, 1977, Bird, 1984, 1988; Saleeby, 2003).

Este argumento es válido tanto para el sector mexicano como para el sector canadiense de la cadena Laramide (English *et al.*, 2003) y plantea la necesidad de un modelo alternativo para explicar esta deformación en México. Una alternativa es que la deformación Laramide pueda haber sido producida por la subducción de un sector engrosado y discreto de la placa Farallón y que la cuña del manto se haya restablecido mientras la subducción de dicho sector seguía hacia el este.

La evolución geográfica de la tectónica extensional resumida en la sección anterior, indica claramente una progresión de la extensión a través de episodios discretos que afectan a toda la región comprendida entre la Sierra Madre Oriental hasta el Golfo de California. En este sentido, es difícil establecer un límite entre la Provincia Extensional del Golfo y el “cuencas y sierras” (*Basin and Range*) mexicano. En sintonía con esta idea, Henry y Aranda-Gómez, (2000) proponen que la Provincia Extensional del Golfo sea parte de la provincia “cuencas y sierras” (*Basin and Range*), y que sólo en la parte central el núcleo relativamente no extendido de la Sierra separa geográficamente las dos provincias. Esta visión indica que el proceso de extensión continental fue un fenómeno general que afectó toda la margen sur-occidental de la placa Norteamericana, pero que tuvo desenlaces distintos en Estados Unidos y en México. Mientras que en la parte occidental de los Estados Unidos la deformación terciaria llegó a formar una provincia extensional de más de 1 000 km de ancho sin llegar a la ruptura de la litósfera, en México, la extensión se localizó en la región del Golfo de California provocando la formación de un *rift* con formación de corteza oceánica desde el Plioceno. En este marco la región de Sonora, con una extensión superior a la del resto de la SMW, representaría una zona de transición entre los dos dominios.

A escala continental hay dos causas complementarias que pueden explicar esta diferencia de comportamiento: 1) el contraste en la geología de la corteza, y 2) un debilitamiento térmico de la zona del futuro Golfo de California. La primera causa ha sido propuesta por Langenheim y Jachens, (2003), quienes han sugerido que la presencia de un bloque cortical de mayor resistencia constituido por los batolitos peninsulares (junto con su parte más profunda de composición máfica) provocaría la localización de la deformación a lo largo del límite oriental del bloque batolítico peninsular, provocando la separación de Península Baja California con respecto a la porción continental de México. La otra explicación sugiere que la extensión se localizaría en la zona del futuro Golfo de California debido a que el arco estuvo activo en esta región durante el periodo inmediatamente anterior a la apertura del *rift*.

Esta hipótesis está sustentada por la edad del volcanismo del denominado Arco Comondú en Baja California Sur. Aunque la presencia de rocas volcánicas del Mioceno temprano-medio ha sido reportado en Baja California (Stock y Lee, 1994) la parte más antigua de este volcanismo es frecuentemente constituida por depósitos masivos (conglomerados fluviales producto de la erosión del arco) y por ignimbritas en facies distales (Hausback, 1984; Dorsey y Burns, 1994; Umhoefer *et al.*, 2001).

En realidad, es durante el Mioceno medio-tardío cuando un arco andesítico se encuentra activo en las inmediaciones de la costa este de Baja California. El debilitamiento térmico de la corteza provocado por la presencia del Arco Comondú pudo finalmente ser la causa de la focalización de la extensión del futuro Golfo de California.

Finalmente, a forma de conclusión, podemos decir que la SMW, es una estructura unidireccional. Esto hace que su morfotectónica obedezca a tres características: 1) la zona norte es bidireccional a las sierras, 2) el centro es perpendicular a las estructuras, y 3) la parte sur es unidireccional. De ahí que a lo largo de este apartado se haya hecho referencia a las tres zonas por separado, ya que poseen características diferentes en cuanto a geología, estratigrafía, tectónica y geomorfología.

2.3 SIERRA MADRE DEL SUR

La Sierra Madre del Sur (SMS), es una estructura marginal a la costa del pacífico, ocupa una longitud de 1,200 km aproximadamente, desde la Bahía de Banderas, Jalisco, hasta el Istmo de Tehuantepec. La altitud promedio es de 2000 m, y las máximas oscilan entre 2600 y 3200 m. Es una geoestructura en bloques de composición y edades diferentes, cuyas morfoestructuras son el resultado de una tectónica activa desde el Neógeno. La compleja constitución litológica y la variedad cronológica de las rocas es la característica de esta Sierra.



Figura 2.4, Imagen de la fisiografía de la Sierra Madre del Sur.

La formación de la SMS, se explica por un proceso de subducción de edad Neógeno-Cuaternaria; a esta idea se suman otras opiniones que complementan la teoría original. Tal es el caso de Campa, (1983), que propone el crecimiento de los continentes por unión de grandes bloques como respuesta al movimiento de placas. En este mismo sentido, Mooser, (1972), propone un esquema estructural en cinco grandes bloques para toda la SMS, con una serie de alineamientos que cortan el sistema montañoso con dirección NE, según de Cserna, (1989).

De acuerdo con Morán, (1983), es una región de alta complejidad estructural ya que se observan varios dominios tectónicos yuxtapuestos, representados por secuencias sedimentarias de plataforma, así como vulcanógeno-sedimentarias de tipo arco insular del Jurásico y Cretácico, parcialmente metamorfoseadas, cubiertas por secuencias volcánicas y

sedimentos continentales del Cenozoico. Al mismo tiempo, estas rocas se encuentran deformadas por emplazamientos batolíticos del Mesozoico superior y aun del Cenozoico.

El carácter diferenciado de los movimientos neotectónicos verticales ha determinado un espectro geomorfológico longitudinal (NW-SE) en alturas (140-250m), premontañas (300-600m) y montañas (800-900m y más).

Ahora bien, la región Pacífico-Sur es una zona sismogeneradora de gran actividad. La actividad sísmica de la región tiene una manifestación directa en el relieve. Después de los sismos de 1985 fueron reportados varios ascensos en la línea costera occidental de Guerrero oriental y de Michoacán, con levantamientos de 50 y 60 cm, según Corona-Esquivel *et al.* (1988).

La porción pacífico-meridional del territorio mexicano, presenta una intensa actividad tectónica, que se origina en la depresión oceánica paralela a la costa, conocida como trinchera o Fosa Mesoamericana. Esta actividad es resultado de la subducción de las placas oceánicas de Cocos por debajo de la Placa Continental de América del Norte.

Es una zona de sutura de interacción interplacas: son regiones con mayor movilidad, sismicidad y vulcanismo planetario. En este caso, la tectónica de la margen Pacífico-Meridional está dada por el movimiento de cuatro placas oceánicas respecto a la placa continental de América del Norte, éstas son: Pacífico, Rivera, Cocos y del Caribe. Resultado de esto es la presencia de las fosas del Golfo de California, la trinchera Mesoamericana y la trinchera Caimán (Bartlett), siendo las dos últimas, las más activas, lo que se manifiesta en el margen continental de cada región con actividad volcánica.

En la actualidad, la litósfera oceánica que subduce a lo largo de la trinchera de Acapulco está dividida en los segmentos correspondientes a la placa de Cocos y a la placa de Rivera. La placa de Cocos tiene un desplazamiento relativo con respecto a la zona continental de México definido por un polo de rotación ubicado frente a las costas de Baja California (DeMets y Traylen, 2000), y por su parte, la placa de Rivera subduce a la placa de Norteamérica a lo largo del segmento de trinchera correspondiente a la zona de Jalisco y según un polo de rotación ubicado cerca de la boca del Golfo de California (DeMets y Stein, 1900; DeMets y Wilson, 1997).

Por otra parte, en la SMS, en el Cretácico Tardío, hay un evento mayor de deformación progresiva por acortamiento de corteza, con dirección de transporte predominante hacia el rumbo este-noreste que provocó el plegamiento y cabalgamiento de las secuencias marinas del Mesozoico y anteriores. En SMS, las evidencias del acortamiento se presentan en una amplia zona entre los estados de Michoacán y Veracruz, aunque es en el estado de

Guerrero donde ha sido estudiado recientemente con mayor detalle (Lang *et al.*, 1996; Cabral-Cano *et al.*, 2000; Salinas-Prieto *et al.*, 2000; Elías-Herrera *et al.*, 2000)

Con respecto a la Regionalización del relieve de la zona de sutura de transición marginal interplacas oceánico-continental Cocos-Norteamérica, existen tres categorías: 1. Unidades territoriales (megabloques, mesobloques y bloques); 2. Zona de morfoalineamientos longitudinales y transverso-diagonales (primero, segundo y tercer rango); 3. Nudos morfoestructurales (Hernández, 1987).

La unidad septentrional (Jalisco a Guerrero Occidental) de la SMS tiene un carácter longitudinal, Oaxaca Occidental y Oaxaca Oriental tiene un diseño rotacional, la unidad Cocos-Norteamérica tiene un mecanismo subductivo geotectónico, y Tehuantepec tiene un modelo transpresivo transversal (Hernández, 1987).

Las placas tectónicas en cuestión, son la de Cocos, que tiene un mecanismo subductivo, y la del Caribe, que tiene un mecanismo transformante.

Los basamentos más antiguos se encuentran en el “Complejo Oaxaqueño” (gneis del precámbrico) (Pantoja y Robinson, 1967). Pero hubo un evento metamórfico al sur de México, similar a la orogenia Grevilliana del Oriente de Canadá, lo que aquí se le nombró “Orogenia Oaxaqueña” y tuvo lugar en el Precámbrico tardío (De Cserna, 1970). Los depósitos que ahí existen, se interpretan como la evolución de un Rift con sedimentación en la corteza continental antigua, con un metamorfismo posterior debido a una colisión continental (Ortega, 1981).

La unidad Mixteca, tiene como basamento al complejo de Acatlán del Paleozóico inferior, cuya época de acreción fue durante el Devónico. Está integrado por rocas metamórficas, subyacidas por rocas no metamorizadas del Jurásico y Cretácico. Estas secuencias sedimentarias mesozoicas, atestiguan el desarrollo de cuencas a partir del Jurásico inferior (centro sur de Puebla y este de Guerrero), (Ortega 1981). El complejo de Acatlán es una agrupación de unidades petrotectónicas, producto de la apertura y el cierre de una cuenca oceánica (Campa y Ramírez, 1979).

Urrutia, (1980) y Coney, (1983) identificaron la formación del arco insular andesítico con la acreción por obducción de un sistema de arco insular desarrollado en el Pacífico y desplazado hasta su colisión con la corteza continental mexicana. El mismo mecanismo fue propuesto por Charlestone, para explicar la existencia del Complejo Metamórfico Oaxaqueño Precámbrico, a partir de bloques alóctonos provenientes del este y remontados sobre el continente, sólo que este autor les atribuye edad Mesozoica-Cenozoica temprana. Este proceso, además explica la distribución de la yacencia de secuencias mesozoicas en

pliegues de dirección norte-noroeste, con cierta correspondencia con el relieve actual de este sector central, más antiguo, de la SMS. Durante el Oligoceno existieron manifestaciones volcánicas locales en todo este territorio, que ocultaron parcialmente su estructura circundante.

Al norte de este núcleo central, ocupando el noroeste del estado de Guerrero, al oeste del Estado de México y el sur del estado de Michoacán, se extienden afloramientos de secuencias mesozoicas, tanto sedimentarias como vulcanógeno-sedimentarias de tipo arco insular volcánico-marginal, parcialmente metamorfizadas y sobreyacidas por rocas volcánicas y sedimentarias continentales del cenozoico. Toda esta región septentrional de la SMS, limita al este, a la altura de Ixtapan de la Sal-Taxco-Iguala, con la plataforma mesozoica de Guerrero-Morelos (INEGI, 1985).

La región Pacífica de la SMS, en su extensión por los estados de Colima, Michoacán y norte de Guerrero, está compuesta por complejos de rocas volcánicas andesíticas interestratificadas, conglomerados volcánicos y calizas subarrecifales del Cretácico, que integran el conjunto petrotectónico de Zihuatanejo, Guerrero, Coalcomán y Michoacán. Además, en este sector septentrional de la SMS se presentan calizas cretácicas de plataforma con secuencias rítmicas de terrígenos pelítico-arenosos. En zonas circundantes a Colima, estas calizas de plataforma presentan interrelaciones de grandes espesores de evaporitas y subyacen, en aparente contacto transicional, a terrígenos continentales del Mesozoico medio-superior (INEGI, 1985).

Todas estas secuencias han sido reportadas por Campa y Ramírez, (1979) en diversas estructuras montañosas desde el norte hasta Zihuatanejo y este vulcanismo Mesozoico se extiende, bordeando la faja costera pacífica. Estos mismos autores comparten el criterio de Vidal *et al.*, (1980) al considerar el complejo vulcanógeno-sedimentario Mesozoico de la SMS como resultado de la actividad magmática de una zona convergente de placas desarrolladas en este territorio suroccidental mexicano durante el Cretácico temprano.

En el extremo meridional de la SMS, se localiza la Sierra Madre o Macizo Cristalino de Chiapas, con una extensión de 250 y 70 km de ancho aproximadamente, y una orientación general noroccidental, paralelo a la Trinchera Mesoamericana desde el Istmo de Tehuantepec hasta Guatemala.

Esta gran unidad orográfica está constituida por rocas intrusivas y localmente por rocas metamórficas con edades comprendidas entre el Precámbrico y el Mioceno. La región septentrional está ocupada por un batolito paleozoico, mientras la meridional se caracteriza por afloramientos de complejos metamórficos del Mesozoico temprano-medio

e intrusivo y volcánico del Terciario, este último asociado al volcán Tacaná (De la Rosa, 1989).

Al noreste del macizo cristalino de Chiapas y paralela a su estructura se extiende el sinclinorio o depresión central, con 160 km de longitud y 45 de anchura aproximadamente, en cuya región axial afloran rocas del Paleógeno y hacia el sur, calizas Cretácicas, (INEGI, 1985). Bordeando el límite nororiental de la depresión central y fuera del territorio de la SMS, se encuentra el anticlinorio de Comalapa, integrado por series de anticlinales y sinclinales en secuencias del Paleozoico, Triásico, Jurásico y Cretácico medio.

Así, los rasgos tectónicos más distintivos de este territorio están relacionados con el sistema de fallas trascurrentes siniestras de Polochic-Motagua (límite noroccidental de la placa Caribe) y con la evolución geodinámica de interacción interplacas Cocos-Norteamericana-Caribe, las cuales, a partir del Cenozoico superior, han provocado una intensa tectónica de fallamiento normal y desplazamientos laterales, complicando las relaciones estructurales del basamento Meso-Cenozoico (Ortuño, 1985).

Justamente por esto, Ortuño, (1985) sugiere que como resultado del empuje tectónico hacia el NE y la subducción de la placa Cocos, bajo las placas del Caribe y Norteamérica, durante el Terciario ocurren los siguientes eventos:

1. El desplazamiento lateral izquierdo interplacas Caribe-Norteamericana, cuyo inicio según la evolución geotectónica de la región comenzó en el Mesozoico y su actividad principal en el Oligoceno-Mioceno, en su región oriental (Hernández, 1987).
2. El desplazamiento del macizo de Chiapas hacia el noreste, tanto por el empuje de la placa de Cocos como por el hecho de constituir un bloque móvil dentro de las fallas laterales del sistema Polochic-Motagua. Este postulado es compartido por Delgado *et al.* (1990), cuando señala que la configuración del Golfo de Tehuantepec, caracterizada por una compleja geometría estructural, derivada de una junta triple del tipo trinchera-falla transformante, ha definido un bloque activo rotatorio, en el sentido de las manecillas del reloj, entre los sistemas trascurrentes Puerto Angel-Macuspana, Polochic-Motagua y Cuilco-Chixoy.
3. En la junta triple, lugar de convergencia de tres placas (Caribe, Cocos y Norteamericana), ubicada a 15° N y 95° W, donde intervienen los sistemas transformantes anteriores a la Trinchera Mesoamericana, donde esta última está dividida en dos unidades, de acuerdo con las características que le imprime la placa de Cocos, utilizando como frontera aproximada a la paleozona de fractura de la Dorsal de Tehuantepec (Delgado *et al.*, 1990). Al respecto Dean y Drake (1978), plantean diferentes vectores de desplazamiento

entre una zona y la otra, con rumbos de N 35° E y N 20° E, y Drummond (1981) propone velocidades diferenciadas de 7 y 9 cm/año, respectivamente. Por otra parte, la determinación de la inclinación de la zona de Benioff refleja 15° para el territorio mexicano y 21° para el guatemalteco (Dean y Drake, 1978).

Todas estas evidencias señalan el carácter complejo de la zona de subducción, relacionado con la heterogeneidad geofísica y estructural de la placa oceánica Cocos dividida por la Dorsal de Tehuantepec.

En cuanto a tectónica se refiere, en la SMS, a fines del mioceno, se intensifican los movimientos neotectónicos y se inician las deformaciones que reportan ascensos anómalos de las secuencias metamórficas y litoestratigráficas Pre-Miocénicas. Según investigaciones realizadas por Watkins (1982), en la zona de la Trinchera Mesoamericana se reportan sedimentos del mioceno tardío, lo que asegura que el proceso subductivo está activo, al menos, desde el inicio de la etapa neotectónica.

Tomando en cuenta el orden jerárquico, cabe señalar que de forma decreciente se sitúan los megabloques, considerados como aquellas unidades consolidadas en un episodio geotectónico e histórico-genético de la interacción interplacas, con un basamento generalmente acrecionado por la unión o imbricación de diferentes dominios geotectónicos (arco insular volcánico, relictos de corteza oceánica, fragmentos de macizos metamórficos, bordes de macizos platafórmicos, cuencas sedimentarias neoautóctonas, y otros). En la geotectura de la transición marginal de Norteamérica Occidental se destaca el megabloque más meridional, ocupado por la SMS (Hernández, 1987).

Los macrobloques constituyen unidades inferiores dentro de los megabloques, cuya formación está estrechamente relacionada con los mecanismos geotectónicos que las originaron (sobrecorrimientos, trasncurrencias, fracturación de tipo germánico en bloques, deformaciones plicativas y otros) y por la amplitud e intensidad de los movimientos neotectónicos (Mio-Cuaternarios), formadores de su relieve. Así, en el megableque de la SMS, se determinaron los siguientes macrobloques: Jalisco, Colima, Guerrero Occidental, Guerrero Oriental, Oaxaca Occidental, Oaxaca Oriental, Tehuantepec y Chiapas. En el seno de macrobloques se destacan los mesobloques como unidades independientes en función de la diferenciación de la actividad neotectónica y por diseños bidimensionales y tridimensionales de interrelación interbloques, este último indicador como una nueva categoría neotectónica para la clasificación morfoestructural. Así, las unidades de rango inferior son los bloques, caracterizados por el piso altitudinal (subcategorías del relieve: montañas altas, medias, bajas, pequeñas, premontañas: alturas grandes, medias, pequeñas;

llanuras altas, medias, bajas), el grado de reelaboración morfoestructural y el carácter morfoestructural específico o estructura interna (Hernández, 1987).

El esquema de regionalización morfoestructural que se pretende manejar, se divide en tres categorías fundamentales: unidades territoriales (macrobloques, mesobloques y bloques), zonas lineales limítrofes entre ellas (morfoalineamientos de diferente orden), y lugares de intersección entre las zonas de morfoalineamientos (nudos morfoestructurales) (Hernández, 1987).

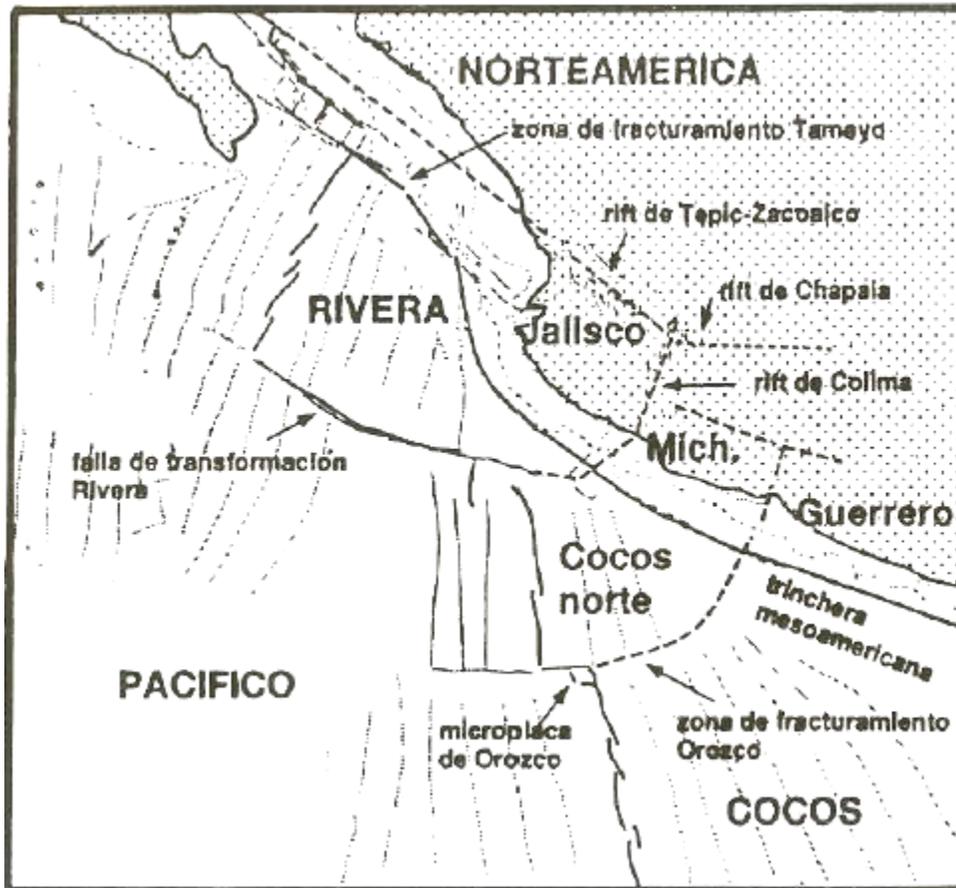


Figura 2.7, Esquema regional de las principales placas y bloques tectónicos de la región de Jalisco (Stock, 1993)

En el territorio del megabloque de transición marginal de la SMS se aprecian estructuras de carácter expansivo continental como son el punto triple del sistema riftogénico Tepic-Zitácuaro, Colima y Chapala, que independizan al macrobloque Jalisco y de Tepalcatepec-Balsas-San Juanico, que separa los macrobloques de Michoacán y de Guerrero Occidental; así como las deformaciones transpresivas neogénicas de la junta triple interplacas de Tehuantepec, expresadas en las elevaciones de trazo arqueado de Sierra Atravezada (Hernández, 1987).

En el proceso de “desgarramiento” del macrobloque Jalisco del territorio continental interviene un complicado sistema de esfuerzos geotectónicos, donde interactúan mecanismos subductivos (placas Rivera y Cocos) y extensionales (punto triple riftogénico). De acuerdo con los criterios de Stock (1993), el macrobloque Jalisco está sujeto a un movimiento rotacional contrario a las manecillas del reloj respecto a la superficie continental Norteamericana, debido a los esfuerzos de débil componente oblicua dextral de la placa Rivera: al desplazamiento en la estructura de graben Tepic-Zacoalco; y a la extensión del graben de Colima (macrobloque deprimido según la clasificación morfoestructural esbozada), fundamentalmente en su sector septentrional, conjugado con el graben Tepic-Zacoalco y el de Chapala.

Las morfoestructuras meridionales están representadas por diversos pisos geomorfológicos escalonados, en ocasiones alternos, de llanuras, alturas, submontañas y premontañas.

A continuación se enlistarán las unidades morfoestructurales, según Santana (1987):

Unidades Morfoestructurales Regionales: macrobloques: I.a Jalisco, II.b Colima; Mesobloques: I. Sierra de Tapalpa, II. Sierra Manantlán, III. Sierra Cacoma Occidental, V. Ahualulco de Mercado, VI. Sierra de Manantlán Oriental, VII. Sierra de Cacoma Oriental, VIII. Sierra Verde, IX. Sierra Guamuchil, X. Depresión Ameca, XI. Tomatlán-Campo Acosta, XII. Sierra Vallejo, XIII. Sierra Perote, XIV. Limón-Lagunilla, XV. El Pantono-Miguel Hidalgo, XVI. Palo Solo, XVII. Sierra Lagunillas, XVIII. Banderas.

En la zona de intersección entre los mesobloques III, XI, XVI y XVII, se abre el graben de Tuito, el que constituye un importante nudo morfoestructural de Jalisco. El extremo septentrional de esta singular macrounidad, articulado con el graben de Tepic-Zacoalco, está representado por la Sierra El Guamuchil y por la depresión Ameca, la cual se une hacia el oeste con el graben de Amatlán de Cañas. Un elemento morfoestructural que corrobora las evidencias de movimientos de rotación del macrobloque Jalisco en contra de las manecillas del reloj, es el carácter inflexivo de todas las estructuras del relieve, en su porción noroccidental, cambiando su rombo NW-SW, siguiendo el patrón de graben de Bahía de Banderas. Esta inflexión se aprecia en las sierras Vallejo, Cacoma, Zapotan, El Guachimil y en las depresiones graben superpuestas que las circundan (Hernández, 1987).

El macrobloque de Colima constituye una estructura distensiva activa con un considerable rol geodinámico en el mecanismo rotacional del macrobloque Jalisco. Su extremo meridional posee un diseño longitudinal, opuesto al carácter transversal-diagonal de toda la macrounidad, donde se evidencian desplazamientos horizontales *dextrales* con

modificaciones en el relieve, como ocurre con la Sierra de Manantlán Oriental en la zona de articulación entre ambos macrobloques (Hernández, 1987).

En el extremo suroriental de la Sierra Madre del Sur se extienden los macrobloques Tehuantepec y Chiapas, cuya evolución tectónica mio-cuaternaria ha estado estrechamente vinculada al proceso transpresivo transversal (Ortuño, 1985 y Delgado, 1990), originado por desplazamientos vectoriales diferenciados de la placa de Cocos, a ambos lados de la Dorsal de Tehuantepec, precisamente en la junta triple interplacas Cocos-Norteamericana-Caribe. Los mecanismos formadores del plano morfotectónico de ambos territorios, donde intervienen las deformaciones transcurrentes siniestras del sistema Polochic-Motagua, prolongación occidental del sistema caribeño regional Bartlett-Caimán, le imprime características propias en el contexto geotectónico americano.

Las deformaciones transpresivas de la subducción diferenciada, han creado un mosaico extremadamente complejo, con fuertes contrastes neotectónicos, tanto horizontales como verticales, los cuales disminuyen paulatinamente hacia el contacto con el macrobloque oaxaqueño oriental.

El macrobloque Tehuantepec, con significativo arqueamiento de sus estructuras y complejos petrotectónicos, y de su relieve, con una configuración convexa hacia el NE, indicando el sentido de la transgresión neotectónica presenta tres bloques: el septentrional, más elevado, ocupado por la Sierra Atravesada, formado por una estructura de trenza de “cola de caballo”, que desaparece hacia el NW en su contacto con la zona de articulación con los macrobloques oaxaqueños: el central ocupado por el sector llano y cóncavo de la cuenca marginal (Juchitán de Zaragoza- San Francisco de Ixhuatán) con alturas predominantes entre los 100 y 300 m. con áreas periféricas de bloques más elevados, ocupado por cadenas escalonadas longitudinales de bloques con dirección NE (Hernández, 1987).

El macrobloque Chiapas, límite más meridional de la Sierra Madre del Sur está ocupado por tres mesobloques longitudinales de orientación NW, paralelos a la Trinchería Mesoamericana: el septentrional, representado por la depresión o sinclinorio central, compuesto por bloques de idéntica dirección, en su territorio se destacan dos mesounidades transversales, la occidental y la oriental; el central ocupado por el macizo cristalino de Chiapas y subdividido en seis mesobloques transversales; y el meridional costero, subdividido en dos mesounidades, la noroccidental, y el suroriental (Hernández, 1987).

El desarrollo geotectónico diferenciado del megabloque de la Sierra Madre del Sur determinó la formación en su relieve de nueve grandes macrounidades (macrobloques),

estos fueron: Jalisco, Guerrero Occidental, Guerrero Oriental, Oaxaca Occidental, Oaxaca Oriental, Tehuantepec y Chiapas.

Las deformaciones de las superficies horizontales y subhorizontales del relieve (superficies de planación en cima máxima) permitieron determinar el mosaico de bloques activos de la corteza terrestre, expresados en el mismo, así como el diseño de mesobloques para cada macrobloque morfoestructural (Hernández, 1987).

Las regularidades morfotectónicas de la Sierra Madre del Sur reflejan las características de los mecanismos geotectónicos interplacas, con un carácter longitudinal de las macro y mesounidades, paralelamente a la Trinchera Mesoamericana, en su región septentrional (Jalisco y Guerrero Occidental) y con hipotética rotación de algunas de ellas en su sector central (Oaxaca Occidental y Oriental), correspondiéndose con el proceso subductivo diferenciado, generador de una transpresión transversal sobre el mecanismo de transformación de izquierda de la zona de sutura Caribe-Norteamericana, en el Golfo de Tehuantepec.

Los macrobloques de Jalisco y Tehuantepec constituyen morfoestructuras regionales distensivas y transpresivas de punto triple continental y de junta triple interplacas respectivamente, expresada en los rasgos estructurales y morfológicos de su relieve.

Las inflexiones morfoestructurales de los sistemas orográficos longitudinales del macrobloque Jalisco en su extremo noroccidental, apoya las propuestas geotectónicas de movimiento de rotación, en contra de las manecillas del reloj, de esta macrounidad septentrional de la Sierra Madre del Sur.

Finalmente, como conclusión de este apartado podemos decir que la Sierra Madre del Sur es una estructura monolítica, que posee un solo eje orográfico con estribaciones de bloque. Su estructura es continua hasta que se cruza con el Río Armería, hace un pequeño salto al Río Balsas y se sigue hasta el Río Verde donde concluye su camino.

CAPÍTULO 3. VERTIENTES DE MÉXICO

Las vertientes se definen como “superficies inclinadas de terreno que se extienden desde la divisoria de aguas y cumbres hasta el fondos de los valles; y en una escala más regional, hasta el pie o base en contacto con la cuesta de pie de monte o llanuras de nivel base. Las vertientes guían el flujo del agua bajo la influencia de la gravedad, y se relacionan para formar sistemas de drenaje en los que el flujo de escurrimiento converge a los ríos” (Strahler, 1989).

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS VERTIENTES

3.1.1 Relación de los Procesos Exógenos de las Vertientes

De acuerdo a Kostenko, (1975), los procesos endógenos son la fuente de energía principal de los exógenos. En condiciones de desarrollo inicial de actividad tectónica de levantamiento intenso, se desarrollan con la velocidad máxima (V_{max}) de los procesos endógenos que siempre será mayor que la de los exógenos: $V_{max} \pm T > V_{max} D, E$ o A . La dirección y la velocidad de los movimientos tectónicos, determina el carácter y la dirección de los procesos exógenos, es decir, el hundimiento ($-T$) provoca la acumulación (A); si hay levantamiento lento (T) habrá denudación (D); es decir $+T > D$ con estabilidad relativa por denudación lenta.; pero si aumentara la velocidad del levantamiento, se iniciaría el proceso de erosión (E). Así, la velocidad máxima de la denudación es mucho menor que la de la erosión:

$$V_{max} D \ll V_{max} E$$

En un sistema geomorfológico los procesos exógenos que existen son abastecidos por la fuente de energía principal:

$$T > D \text{ ó } (-T) > A$$

Funcionalmente los sistemas morfológicos en muchas de sus propiedades pueden ser consideradas como respuestas o ajustes al flujo de energía o materia a través del sistema a los cuales están ligados.

Es importante recordar que dentro de cada subsistema debe haber un regulador que trabaje recibiendo la materia o energía en dos caminos: almacenando (o depositando) o conduciendo en tránsito en la travesía entre los subsistemas y cambiando a una salida del sistema en cuestión (Kostenko, 1975).

Así, la misión de los procesos endógenos desde el punto de vista geomorfológico, es la erosión, la degradación (desde el punto de vista natura) y su trabajo final es la reducir las pendientes lo más que se pueda, y rellenar las depresiones.

3.1.2 Tipos de Vertientes

Las vertientes han sido calificadas producto de fenómenos gravitacionales. Desde el punto de vista morfométrico, toda vertiente está caracterizada por asociaciones de segmentos que mantienen el sentido en su inclinación.

La geometría del perfil y su posición hipsométrica dentro de una vertiente, nos explica su estado y su evolución a través de las tres posibilidades existentes de geometría:

- Rectas y planas
- Convexa
- Cóncavo

El valor de las pendientes es el resultado de la topografía e indica el grado de modelado de las laderas vertientes y por otro lado, implica el análisis espacial en relación al tipo de proceso y su intensidad relativa o potencial cuando se relaciona con la influencia de los procesos de carácter gravitacional.

La geometría del contorno superficial y el perfil de las laderas pueden usarse como indicadores indirectos, de las modalidades del flujo de la escorrentía. Cuando los declives se extienden de manera convergente cuesta abajo hacia el colector fluvial, concentran y recogen el agua de escorrentía superficial, sedimentos y escombros, mientras las laderas de superficie convexa, actúan de forma contraria, dispersan el escurrimiento propiciando un drenaje arréico. Por su parte, en las planas dominan las de procesos acumulativos y con peligros de inundación (Ortiz, 2010).

Laderas colectoras de agua		
Declives esparcidos de agua		

Figura. 3.1. Arreglos básicos del modelado de laderas en función de la geometría del perfil y la superficie de la morfología de los contornos del relieve teniendo en cuenta su carácter hidrológico. (Troeh, 1965)

3.1.3 Irregularidad Geomórfica de las Vertientes

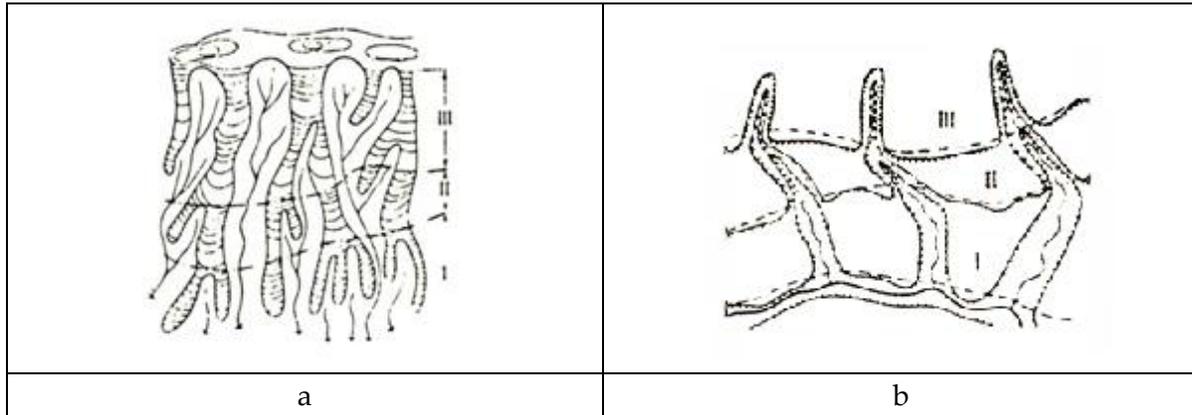
De acuerdo con Ortiz (2012), la disposición de las rupturas de pendiente marcarán los cambios en el perfil longitudinal, con diferentes valores del gradiente en los declives de la vertiente. Las rupturas de pendiente representan el contacto de la articulación entre los cambios de carácter litológico y de formaciones superficiales. También pueden estar relacionadas con los procesos de ladera diferentes, incluso, estas rupturas de pendiente pueden tener un origen de carácter estructural y tectónico. De este modo, es posible clasificarlas y agruparlas de acuerdo a su origen con tres tipos de tipologías:

- a) Rupturas de carácter litológico. Son las que se deben a la diferencia de resistencia de las rocas por cambios en la estructura y composición litológica distinguiendo por un lado, a la roca firme con fuerte cohesión y por el otro lado, a los materiales suaves, sueltos, poco consolidados y compactos, estableciendo una variedad de posibilidades.
- b) Rupturas de pendiente de carácter erosivas o a la remoción por corrimientos de tierras. También pueden ser resultado de la disección regresiva o remontante debido a los desplazamientos tectónicos. La expresión de la ruptura de origen erosivo visualizada en una vista en planta, se asemeja a una configuración ondulada de entrantes y salientes que corresponden respectivamente a los circos denudatorio-erosivos, también conocidos como saltos de cabeceras, los cuales se usan para designar el nacimiento del escurrimiento concentrado de órdenes primarios.
- c) Ruptura de pendiente de carácter tectónico-estructural. Son formadas por fallas geológicas que rompen las laderas en una serie de bloques menores. Así mismo, se considera que son originadas por cualquier movimiento estructural de características endógenas.

Una manera de conocer la morfología de la vertiente, consiste en medir el grado de irregularidad del perfil longitudinal de la ladera identificando y contando el número de rupturas que existen en el perfil longitudinal de la vertiente. Una forma de medirlo, sería viendo los cambios en el valor de la pendiente a lo largo del perfil longitudinal, es decir, desde el parteaguas hasta la base de la ladera, verificando en cada cambio la altura de la ruptura y su correspondencia horizontal a los lados de la vertiente. (Ortiz, 2012)

Cuando la ladera se encuentre disectada por valles de carácter erosivo, con bloques o de material rodado, el nivel de la ruptura de pendiente se observa en los interfluvios adyacentes de carácter secundario, tal como se observa en la figura 3.2.a.

En cambio, si los valles son erosionados sobre roca firme o materiales sedimentarios consolidados con buena cohesión y con marcada diferenciación litológica, es posible seguir la ruptura tanto en los interfluvios secundarios como en los valles mismos, tal como se muestra en la figura, 3.2.b. (Ortiz, 2012).



Figura, 3.2. Ejemplos de interpretación de rupturas de pendiente en la cartografía de la topografía, figura 3.a, en los interfluvios secundarios las curvas de nivel van a mostrar las rupturas de pendiente transicional, figura 3. b, cuando la ruptura se presenta tanto en los interfluvios como en el mismo fondo de los valles.

Tomados de Kostenko (1975).

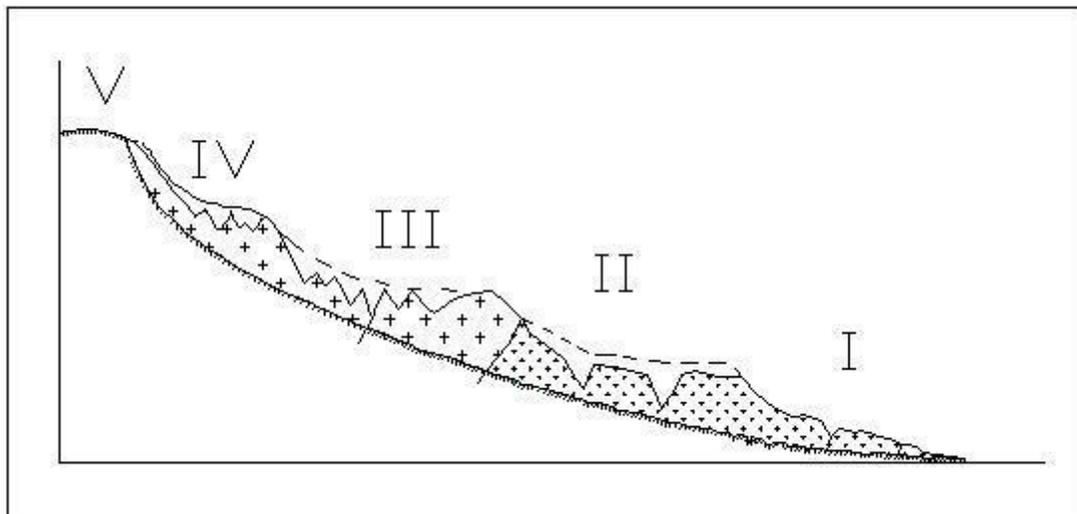


Figura 3.3. Perfil longitudinal del río colector y el de la vertiente correspondiente, en donde se exponen las diferentes fases de incisión fluvial, limitadas por una diferenciación clara de rupturas de pendiente de carácter tectónico. Zonificando la vertiente en cinco trechos bien definidos. Tomado de Kostenko, 1975.

Todo esto se usará de forma complementaria e indirecta, al usar *Google Earth*, fotos aéreas; pero sin esperar un valor cuantitativo, únicamente tomarlo como guía para poder perfeccionar las características de las vertientes. De esta forma, el examen de las rupturas de pendientes servirá de guía en el *Google* para poder establecer los diferentes procesos que pueden ser relacionados con los pisos fitoclimáticos y con la degradación de las vertientes, con la diferenciación de los diferentes terrenos geológicos, que nos ayudan a definir el predominio de la influencia tectónica, de la erosión diferencial dada por la resistencia litológica o los desniveles establecidos por los diferentes procesos erosivos (como serian los saltos de cabeceras, los circos denudatorio-erosivos, y los asentamientos del terreno).

3.1.4 Disposición y Arreglo de las Vertientes de México

Cada una de las cadenas montañosas tuvo una formación geológica-histórica diferente, lo cual es de suma importancia debido a que gracias a su geología y morfología, las vertientes tienen una disposición y arreglo diferente en México, según se puede observar a partir de la figura 3.4.

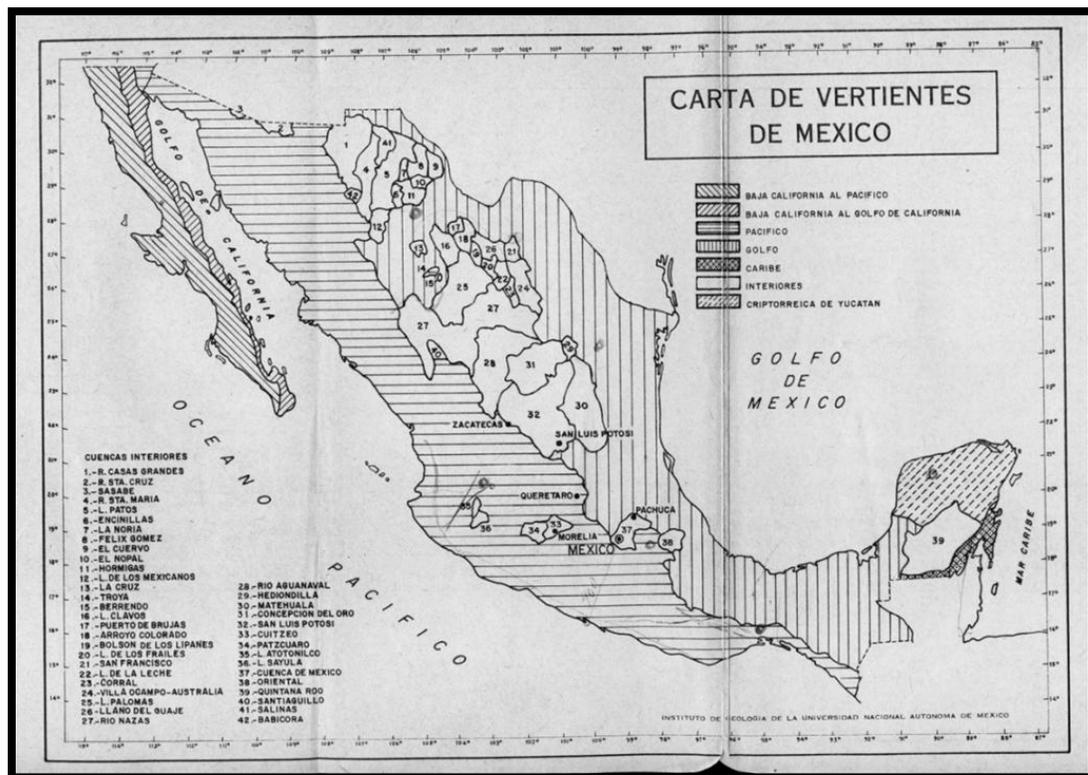


Figura 3.4. Única carta de Vertientes de México que existía hasta 2012 (*Guía de Caminos de México* de Goodrich-Euzkadi, 1958).

Las vertientes modulan la distribución de los climas en función de su altura y por tanto, la distribución de los ecosistemas como soporte de vida. Son muy importantes debido a que de acuerdo a su grado de hipsometría (altitud) cuando tienen la presencia de las asociaciones fitoclimáticas que guían a los diversos ecosistemas, muchos de ellos representados en las fajas latitudinales, rompen con el esquema que deberían seguir dichas fajas, ya que diversifican los escenarios a través de la hipsometría de pisos bioclimáticos.

Las vertientes juegan diversos papeles, en los cuales tienen que ver con:

- 1) Estilos estructurales relacionados con su origen (volcánicos, de plegamiento, de bloques)
- 2) La morfografía (dimensiones, altura y morfología).
- 3) Constituyen barreras geográficas que limitan el libre paso a la materia, energía e información, separando y restringiendo la distribución.
- 4) Pisos bioclimáticos que funcionan como soporte de la vida de la biodiversidad, y para dar oportunidad para satisfacer las necesidades sociales a través de los bienes y servicios ambientales.

Revisando lo que anteriormente se ha hecho a cerca de este tema, se encontró que por primera vez, se va a dar formalidad a las vertientes; definiéndolas más específicamente como barreras geográficas que actúan impidiendo la entrada de aire húmedo del mar, causando que las lluvias se concentren en los flancos externos de las vertientes que impiden que la humedad ascienda hacia la altiplanicie central y septentrional. Solamente en el caso de México, en los trópicos, la existencia de esta barrera va a provocar zonas muy importantes de desertización en latitudes tropicales, como por ejemplo la depresión central de Chiapas.

Otro caso muy particular es el de la zona de la Mixteca, que se encuentra justo en la zona donde las vertientes del Pacífico y del Golfo convergen, guiando la distribución de los climas con su humedad, ya que en los portezuelos o abras de dichas vertientes, la humedad penetra más. Debido a esto, se puede decir que las vertientes externas causan humedad y las internas padecen lo contrario, es decir, generan un déficit de humedad.

A continuación se describirán las vertientes de México (la del Pacífico y la del Golfo), y se ahondará más en sus características fisiográficas y en su comportamiento.

3.3 CONSIDERACIONES FINALES

Datos que se tomaron en cuenta para determinar las características de las vertientes:

- 1) Aislamiento de la superficie del parteaguas a la disección fluvial. Con este modelado del relieve, obtendremos el porcentaje de las zonas por vertiente que no han presentado disección fluvial, es decir que aun no llegan a la línea del parteaguas (Kostenko, 1975).



Figura 3.5. Disección Fluvial del Parteaguas. (Grimson, 2011)

En la figura anterior, se observa que la vertiente que mira al flanco derecha muestra que la erosión ha llegado a su nivel máximo porque las cabeceras de los valles prácticamente están tocando la divisoria principal, al grado de modificarla notoriamente en su traza; al contrario, en el frente izquierdo se observa que las cabeceras aun no alcanzan el parteaguas dejando un espacio denudatorio, sin que se presente la disección.

- 2) Rango de Disección: para este estudio, entendiendo como el nivel de base local, a todas las desembocaduras del frente montañoso que se articulan con el contacto entre la cuesta de pie de monte y la llanura costera, obteniendo así, el grado de disección al pie de la vertiente. Consiste en conocer la distancia entre las bocas en el contacto del pie de la ladera o vertiente con la cuesta de pie de monte y la llanura, de esta forma se midió la distancia entre las bocas de los desahogos de las cuencas y se obtuvo el valor de la disección del frente montañoso de cada vertiente.

- 3) Longitud Aproximada de la Divisoria: Con ayuda de la hipsometría y las curvas de nivel, se marcaron los puntos más altos y se unieron para obtener la longitud.
- 4) Altura Aproximada de la Divisoria: Se calculó el promedio final de la altura del parteaguas principal.

3.2.1 Aislamiento de la Superficie del Parteaguas a la Disección Fluvial

Este porcentaje se obtendrá de la siguiente forma:

- 1) Diferencia de Alturas = Altura Media de la Divisoria – Altura Media de Cabeceras
- 2) Porcentaje de rezago de la disección fluvial = $\frac{\text{Diferencia de Alturas} * 100}{\text{Altura Media de la Divisoria}}$

Para la vertiente del Golfo, se cuenta con los siguientes resultados:

- 1) Diferencia de Alturas: 913 m.s.n.m. – 643 m.s.n.m. = 270 ms.n.m.
- 2) Porcentaje de rezago de la disección fluvial: $\frac{270 \text{ m.s.n.m.} * 100}{913 \text{ m.s.n.m.}}$

$$\text{Porcentaje de rezago de la disección fluvial} = \frac{27000}{913} = 29.57$$

$$\text{Porcentaje de rezago de la disección fluvial} = 30\%$$

El porcentaje aproximado que presentó la vertiente del Golfo con rezago de disección fluvial fue de un 30%, lo cual nos dice que el 70% de la superficie, ya fue disectado por la erosión de los ríos.

Para la vertiente del Pacífico:

- 1) Diferencia de Alturas: 1,163 m.s.n.m. – 693 m.s.n.m. = 470 ms.n.m.
- 2) Porcentaje de rezago de la disección fluvial: $\frac{470 \text{ m.s.n.m.} * 100}{1,163 \text{ m.s.n.m.}}$

$$\text{Porcentaje de rezago de la disección fluvial} = \frac{27000}{913} = 40.41$$

$$\text{Porcentaje de rezago de la disección fluvial} = 40\%$$

El porcentaje aproximado que presentó la vertiente del Pacífico fue del 40%, ello nos indica que esa es la superficie del relieve para llegar a modelar con la disección fluvial la porción de la vertiente superior, en otras palabras, sería lo que falta para que las corrientes modelen hasta las cumbres, por otra parte, el resto de la superficie representada por el 60% nos indica que la porción baja y media de la vertiente ya fue modelada por el proceso de disección fluvial.

3.2.2 Rango de Disección

Según las observaciones de Yamada (1999), la distancia media entre dos bocas de cuencas existentes en el frente montañoso, es aproximadamente la semilongitud entre la distancia de la divisoria y la longitud de la base del frente montañoso.

Considerando que las vertientes bajas correspondientes a lomeríos se contemplan en un nivel que oscila entre 0 y 200 m de altura, las vertientes menores con elevaciones de 200 a 400 m de altura, de vertientes moderadas de 400 a 600 m. de altura, y por ultimo considerando a vertientes altas a mayores de 600 m. a 800 m. y extremadamente altas para aquellas que rebasan los 800, de esta forma convencionalmente se relacionaron con las longitud de la categoría o clases, a fin de ligar las observaciones de las mediciones morfométricas hechas por Yamada.

Para obtener la densidad de la disección, se establece que entre menos distancia exista entre las bocas del frente montañoso, mayor disección habrá; y por el contrario, mientras más distancia exista entre bocas, menor disección tendrá.

Por lo consiguiente, relacionando indirectamente los valores típicos de las elevaciones de las vertientes ligadas a las distancias entre bocas dispuestas a la salida del nivel base local, o de transición, se establecieron los rangos de disección fluvial:

Tabla 3.1 Tipos de Vertientes

Altura Relativa	Distancia entre bocas en m. del nivel base local	Rangos de Disección
Vertientes bajas	0 – 200	Muy alto
Vertientes menores	201 – 400	Alto

Vertientes moderadas	401 – 600	Medio
Vertientes altas	601 – 800	Escaso
Vertientes extremadamente altas	801 – más de 1000	Muy escaso

Para la vertiente del Pacífico, se hicieron 15 mediciones entre cada boca de las cuencas más representativas (tomando como cuencas representativas aquellas que tuvieron un mayor número de pisos fitoclimáticos, y por consiguiente mayor diversidad con respecto a los climas y a la vegetación).

En la tabla 3.2 y 3.3, se consigna el código o número entre la primer medición existente entre boca y boca; en la segunda columna, el valor de esa distancia; y en la tercer columna la estimación de su densidad.

Tabla 3.2 Vertiente del Pacífico

Sección	m.	Disección
0 – 1	666	Escasa
1 – 2	681	Escasa
2 – 3	1151	Muy escasa
3 – 4	933	Muy escasa
4 – 5	32	Muy alta
5 – 6	191	Muy alta
6 – 7	457	Media
7 – 8	56	Muy alta
8 – 9	233	Alta
9 – 10	417	Media
10 – 11	143	Muy alta
11 – 12	104	Muy alta
12 – 13	185	Muy alta
13 – 14	122	Muy alta
14 – 15	139	Muy alta

Para la vertiente del Golfo, se obtuvieron 12 mediciones entre la salida de las cuencas más representativas, mismas que arrojaron las siguientes distancias:

Tabla 3.3 Vertiente del Golfo

Sección	m.	Disección
0 - 1	577	Media
1 - 2	495	Media
2 - 3	414	Media
3 - 4	203	Alta
4 - 5	92	Muy alta
5 - 6	141	Muy alta
6 - 7	8	Muy alta
7 - 8	10	Muy alta
8 - 9	36	Muy alta
9 - 10	74	Muy alta
10 - 11	235	Alta
11 - 12	395	Alta

Estos datos nos indican que el grado la disección más constante para cada una de las vertientes es el siguiente:

Para la vertiente del Golfo: Muy alta (sobre todo en la zona sur de la vertiente, es decir, localizado entre el Río Tecolutla, hasta el Río Coatzacoalcos).

Para la vertiente del Pacífico: Muy alta (sobre todo en la zona sur de la vertiente, es decir, a partir del Río Papagayo, hasta el Río Verde).

3.2.3 Longitud Absoluta de la Divisoria

Las distancias que se obtuvieron del trazo del parteaguas principal, fueron las siguientes:

Sierra Madre Oriental: 2,444 km.

Sierra Madre Occidental: 1,303 km.

Sierra Madre del Sur: 1,623 km.

Para la vertiente del Golfo: 2,444 km.

Para la vertiente del Pacífico: 2,926 km.

3.2.4 Altura Media de la Divisoria

La altura media aproximada se obtuvo primero por cada una de las Sierras Madre y después por vertiente.

Sierra Madre Oriental: 913 m.s.n.m.
 Sierra Madre Occidental: 1,243 m.s.n.m.
 Sierra Madre del Sur: 1,083 m.s.n.m.

Para la vertiente del Golfo: 913 m.s.n.m.
 Para la vertiente del Pacífico: 1,163 m.s.n.m.

3.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Tabla 3.4 Comparación de Resultados

Datos	V. Golfo	V. Pacífico
Rezago Disección Fluvial	30%	40%
Disección	Muy alta	Muy alta
Longitud Divisoria	2,444 km ²	2,926 km ²
Altura Divisoria	913 m.s.n.m.	1,163 m.s.n.m.

- En el caso del rezago de la ola erosiva remontante de la vertiente, del porcentaje de la disección fluvial, fue del 40% para la vertiente del Golfo, esto no significa que su disección fluvial sea mayor que la del Pacífico.

- Comparando el resto de los datos entre las dos vertientes podemos observar que el promedio general de disección en ambas vertientes ha sido muy alto; y al menos para el caso de la zona sur de la vertiente del Pacífico, esta zona con alta disección, coincide con el área donde la tectónica se presenta con mayor intensidad.

- Con el dato que se obtuvo de obtener la longitud aproximada de la divisoria, se observa que el parteaguas principal de la vertiente del Pacífico es mayor que la del Golfo. Cabe mencionar que la divisoria de la vertiente del Pacífico tuvo que ser tratada de forma diferente, ya que al tener dos Sierras Madre, el trazo tuvo que ser interrumpido para poder marcar los parteaguas principales de cada una de ellas.

- La altura de la divisoria nos indica que la Vertiente del Pacífico es más alta que la del Golfo, lo que nos indica que tanto el clima, la vegetación, los pisos fitoclimáticos, y el comportamiento de las corrientes internas y externas va a variar por esa diferencia de alturas que existe entre vertientes.

3.4 RESULTADOS FINALES

Tomando en cuenta lo que se describió sobre las vertientes de México y la información que se obtuvo de analizar cada uno de las variables obtenidas, se sintetizó y comparó el comportamiento y las características de cada vertiente. Cabe señalar que en la parte final de la tesis se anexó un mapa de vertientes que se generó con la información que se planteó en esta tesis.

3.4.1 Vertiente del Pacífico

En esta vertiente, existe una clara zonificación en fajas paralelas dispuestas entre el parteaguas general y la línea de costa. Dichas fajas tienen una amplitud homogénea (casi continua) paralela a la costa. Además, posee una evidente estratificación por clases por pisos altitudinales.

Por su conformación orográfica, se diferencia a la Sierra Madre Occidental de Sierra Madre del Sur, y desde luego ambas presentan diferentes características:

La Sierra Madre Occidental es una sierra con una dirección generalizada con rumbo N-NW – S-SE, exhibe un comportamiento de bloques con movimiento diferencial entre ellos, en donde por circunstancias tectónicas y de mayor pendiente, las corrientes lograron alcanzar a modelar los niveles superiores. Otra de las características sobresalientes es que la llanura costera es más amplia como resultado de la contribución de la misma disección y acumulación de los sedimentos que bajan de la sierra en donde es posible observa amplios deltas fluviales en la porción centro-norte.

La Sierra Madre del Sur, que tiene una dirección NW-SE; y al contrario de la Sierra Madre Occidental, la llanura costera no es tan extensa, y casi llega a desaparecer en la parte que comprende del Río Aquila, al Río Popoyuta (entre los estados de Guerrero y Michoacán).

Todas estas características, le imprimen a la vertiente del Pacífico, un sello de distinción dada la heterogeneidad marcada por los diferentes estilos geológico-estructurales, a veces de plegamiento, a veces de bloque y mixtos.

3.4.2 Vertiente del Golfo

Para la vertiente del Golfo de México sus características geológicas son muy distintas, domina el estilo de plegamiento, seguida de un estilo geológico acumulativo producto del vulcanismo.

La delimitación entre el conjunto montañoso de la sierra es muy bien definido, contrastando con la amplia llanura costera del Golfo.

La vertiente externa de la Sierra Madre Oriental, reconoce al Golfo de México, tiene un arreglo espacial diferente ya que es una región dispuesta entre las cotas de 500 y 1500 m., dando oportunidad a la generación de pisos fitoclimáticos influenciados por los niveles altos de condensación que existen debido a que tiene una influencia marcada de los vientos alisios y desde luego a los nortes (frente frío) y desde luego las tormentas tropicales, y de acuerdo con este contexto existe la posibilidad de una mayor diferenciación de pisos fitoclimáticos, sin embargo se ha perdido gran parte esta diferenciación debido a degradación de las cuencas por acción antrópica.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LAS CUENCAS SELECCIONADAS

4.1 METODOLOGÍA DE LOS PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE LAS CUENCAS DEL ESTUDIO

Las cuencas hidrográficas siguen siendo consideradas como la unidad del territorio fundamental para la planeación, aprovechamiento y el manejo de recursos naturales. Sin embargo, uno de los principales problemas que se tiene, es la falta de información que muestre la descripción detallada de la cuenca con base a sus diferentes características y dimensiones, su respuesta hidrológica y su delimitación consensuada (Barrow, 1998; Verdin y Verdin, 1999; Donnell y Woods, 2004; NRCS, 2004).

En este trabajo se propone una nueva forma de analizar las cuencas mediante el estudio de los perfiles longitudinales de los ríos.

La metodología se llevó de la siguiente manera:

1. Usando la base topográfica de INEGI, con escala 1:250,00, y utilizando el programa ArcGis 9.3 y se identificaron y se seleccionaron las cuencas de este estudio:
2. Se dividió la cuenca en pisos fitoclimáticos con la ayuda del mapa de climas y de uso de suelo y vegetación para corroborarlo y compararlo con la Clasificación Ecogeográfica de Cuencas (Ortiz, 2010), y se estableció la relación clima/vegetación/altitud, la cual se ejemplificará mejor en la figura 4.1.

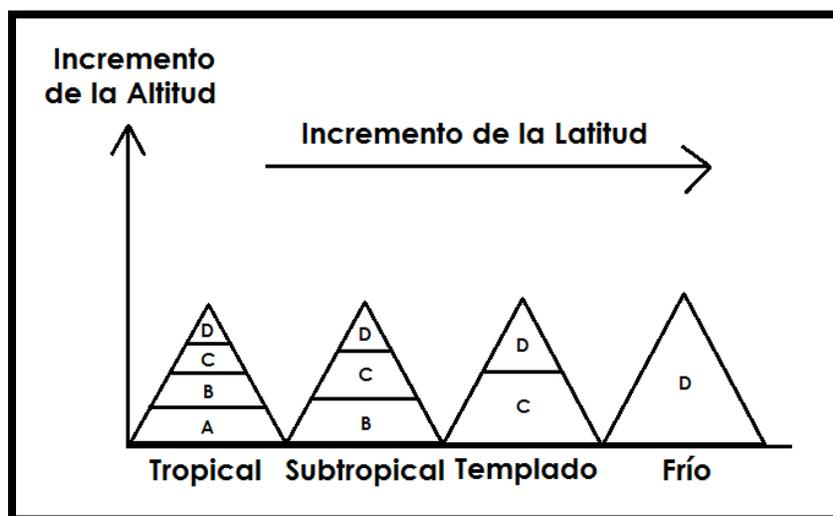


Figura 4.1. Liga entre la Altitud y la Latitud en el incremento de ambientes bioclimáticos hacia las latitudes bajas o decremento de la diversidad hacia las latitudes frías. (Ortiz, 2010)

En segundo lugar, se procedió a establecer la localización y la delimitación de la cuenca a partir del modelo de terreno incluyendo la hipsometría, y se presentó una imagen de cada cuenca que se trabajó, como se ejemplifica en la figura 4.2.

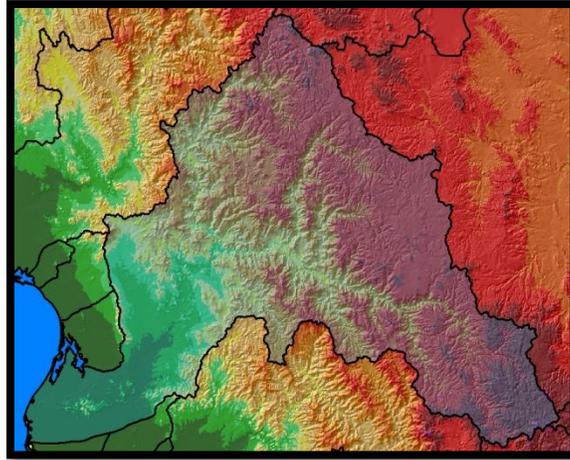


Figura 4.2. Ejemplo de la imagen de la Cuenca del Río Fuerte

Como tercer paso, se procedió a realizar un perfil longitudinal del río principal de cada una de las cuencas. En las figuras 4.3 Y 4.4 se muestran los diferentes perfiles que se presentaron con el fin de contar con la configuración y el declive del colector principal que expresa a través de este perfil las posibilidades que existen de análisis para establecer su disposición dentro de la estructura espacial de la cuenca con el fin de ligar aspectos de pisos fitoclimáticos ó de diferenciación de vertientes.

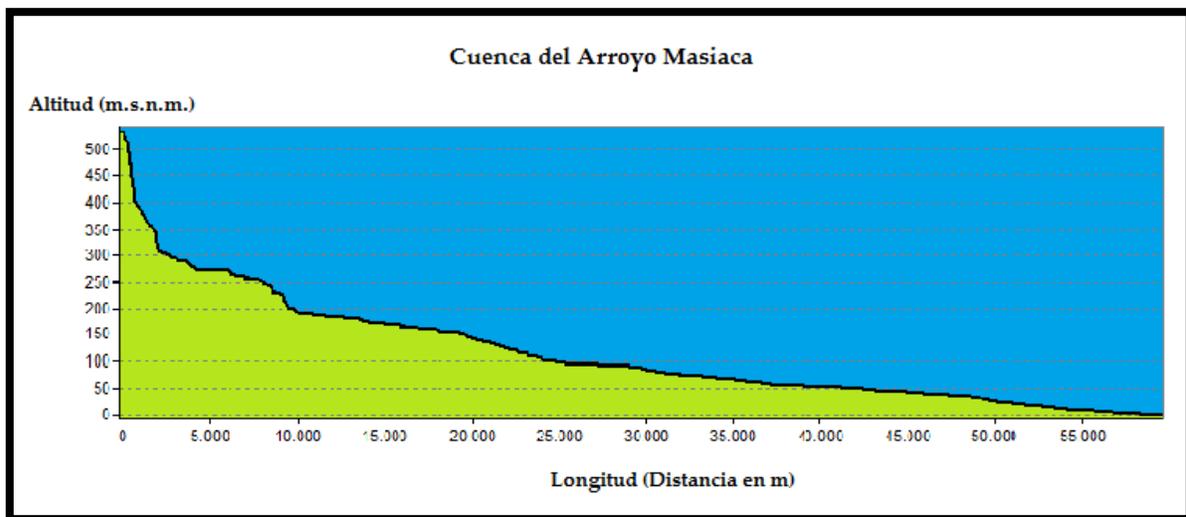


Figura 4.3. Perfil del Arroyo Masiaca ubicado en la Sierra Madre Occidental

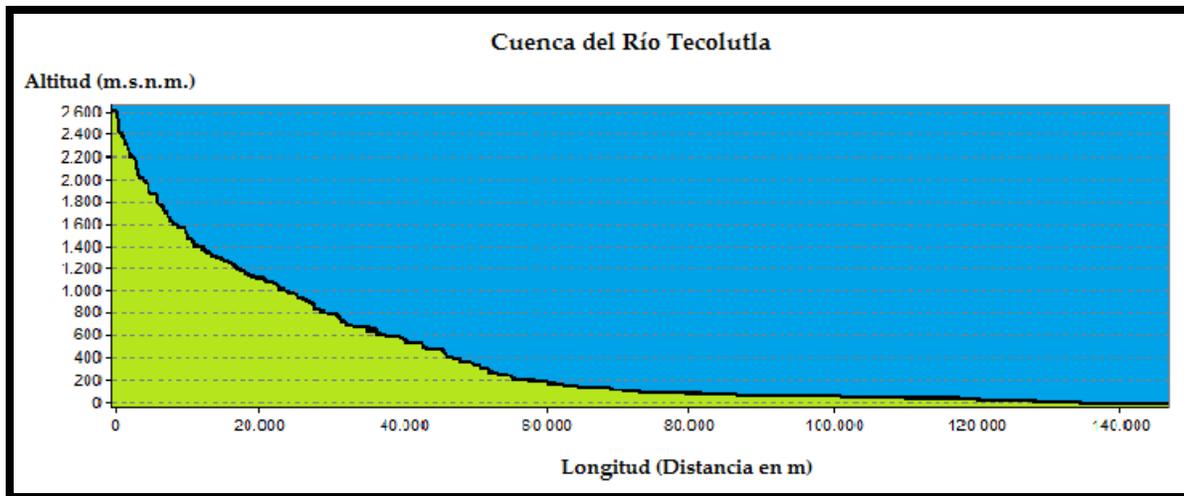


Figura 4.4. Perfil del río Tecolutla ubicado en la Sierra Madre Oriental

Un vez que se obtuvieron los perfiles, con ayuda de la Tabla 4.1, se estableció si cumplían o no con las características mencionadas, y el grado de aloctonía que podría presentarse cada una de las cuencas.

Tabla 4.1. Algunos elementos de caracterización para valorar la diversidad natural en la cuenca (Ortiz, 2010).

Características	Cuencas alóctonas distantes	Cuencas alóctonas cercanas	Cuencas autóctonas
Emplazamiento geológico	Estructura espacial compleja, poligenética, diferente evolución en la historia geológica. Fuerte control estructural	Historia geológica semejante	Historia geológica semejante
Mesoclima	Presencia de dos o más mesoclimas	Presencia de dos o más mesoclimas	Un meso-clima
Escurrimiento base	Si de régimen perenne	Si de régimen perenne con estiaje bien marcado	No existe, hay escurrimiento de comportamiento variable, de dominio intermitente, de carácter torrencial, y temporal.
Red Hidrográfica	Polidireccional con trechos de valles transversales por efectos de	Unidireccional y bidireccional con red hidrográfica de disposición	Unidireccional con red hidrográfica de disposición subsecuente

	sobreimposición	subsecuente	
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	Si presenta dos o más pisos	Si presenta de dos o más pisos	No hay diferenciación en pisos , la vertiente es relativamente homogénea

4.2 ESTUDIO DE CASO POR CUENCAS

Se procedió a trabajar cada una de las cuencas siguiendo este formato para llevar un control de cada una de ellas.

Tabla 4.2. Tabla Comparativa

Nombre:					
Área en km²:					
Pisos Fitoclimáticos:	Clima			Uso de Suelo	
Perfil:					
Aloctonía o Autoctonía:	Emplazamiento Geológico	Mesoclima	Escurrimiento Base	Red Hidrográfica	Dif. de Pisos Fitoclimáticos
Red Hidrográfica:	Polidireccional, Bidireccional y Unidireccional				

El grado de aloctonía se obtuvo sumando los pisos fitoclimáticos, los interfluvios, las vertientes y las subcuencas y posteriormente a los valores obtenidos se le aplicó la raíz a fin de estimar con un solo valor el grado de diversidad tanto en estructura espacial como en capital natural y con este dato expuesto en la tabla 4.3, se interpreta que entre mayor fuera el resultado, más aloctonía va a presentar, y viceversa.

Tabla 4.3 Grado de Aloctonía

Nivel	Grado de Aloctonía
1	Muy bajo
2	Bajo
3	Medio
4	Alto
5	Muy alto

Cabe mencionar que para la obtención de los pisos fitoclimáticos, se utilizó el *Google Earth*, la carta de Climas y de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI, por lo que algunos resultados podrían variar debido a la temporalidad que manejó la Clasificación Ecogeográfica de Ortiz, (2010).

En la parte final de la tesis, se anexó el mapa de ubicación de las cuencas que se trabajaron, que se basó en el mapa de la Clasificación Ecogeográfica de Cuencas.

4.2.1 Cuencas de la Sierra Madre Occidental

4.2.1.1 Cuenca del Río Fuerte

Nombre: Cuenca del Río Fuerte

Área en km²: 36,126.44 km²

Tabla 4.4. Pisos Fitoclimáticos.

Clima	Clasificación	Uso de Suelo	Altitud (m.s.n.m.)
Muy árido/Cálido	BW (h')x'	Agricultura de Riego	0 – 100
Árido/Cálido	BSo(h')w, BSo(h')h	Agricultura de Riego	0 – 100
Subhúmedo/Semicálido	A(C)wo, A(C)wo(w)	Selva baja caducifolia	400 – 600
Subhúmedo/Templado	Cw2, Cw2(w)	Bosque de Pino/Encino	800 – 1600

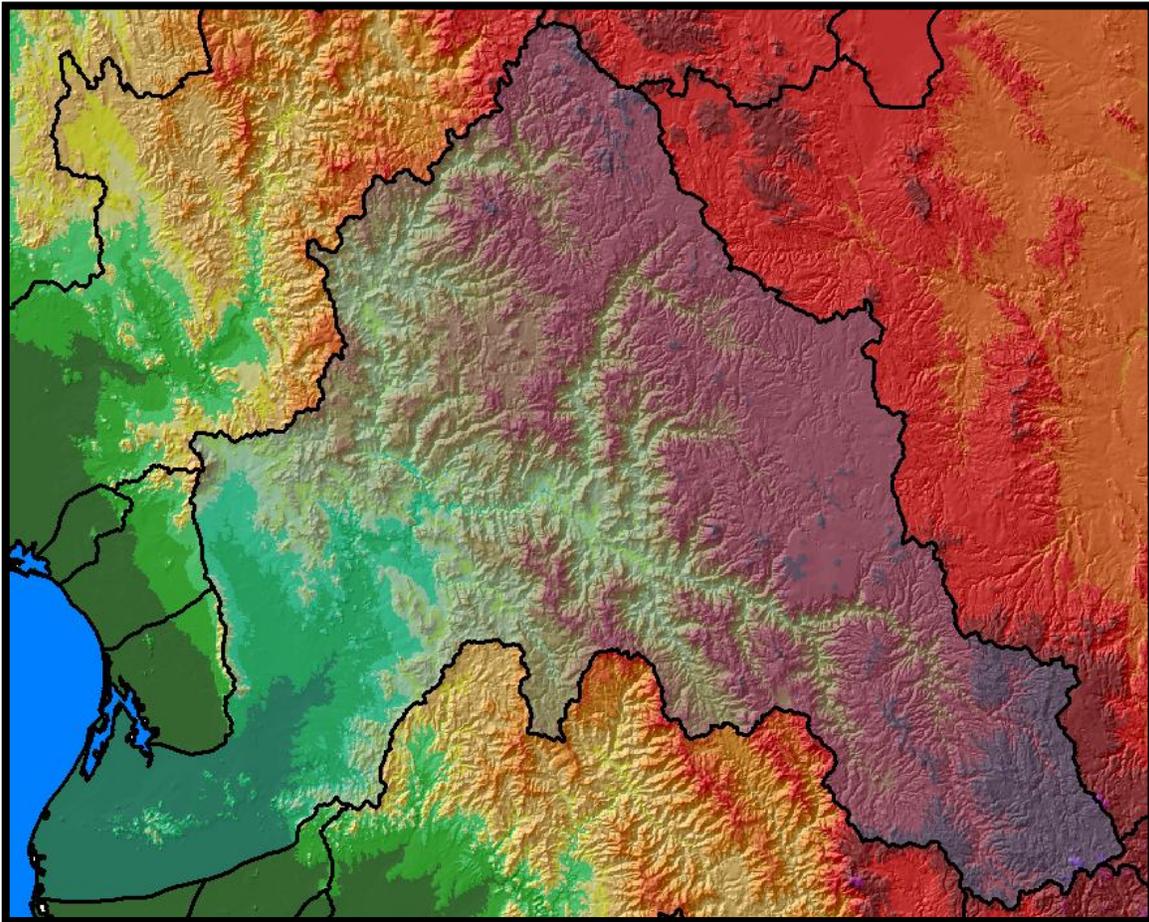


Figura 4.5. Cuenca Clásica Polidireccional.

Perfil del Colector Fluvial Principal:

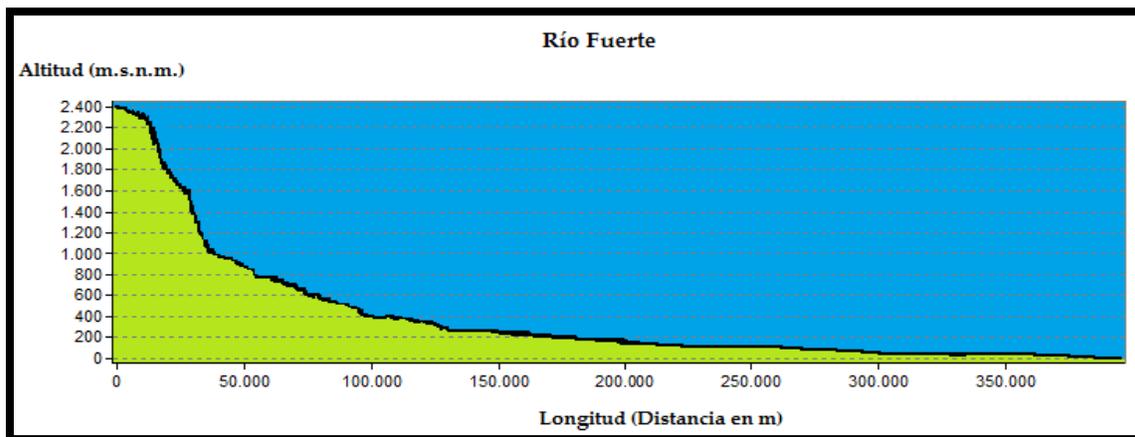


Figura 4.6. Colector Fluvial Principal

Tabla 4.5 Variables descriptoras y de diagnóstico.

Características	Cuencas alóctonas distantes	Resultados
Emplazamiento geológico	Estructura espacial compleja, poligenética, diferente evolución en la historia geológica. Fuerte control estructural	Sí cumple, tomando en cuenta la carta geológica de INEGI (1987)
Mesoclima	Presencia de dos o más mesoclimas	De acuerdo con García (1964), presenta 5 mesoclimas
Escurrimiento base	De régimen perenne	Sí cumple, tomando en cuenta la Información Topográfica Digital de INEGI (2005)
Estructuras Morfológica del Relieve	Interfluvios	4
	Vertientes	9
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	Si presenta dos o más pisos	Presenta 4 pisos
Red Hidrográfica	Polidireccional con truchos de valles transversales por efectos de sobreimposición	Sí cumple, es polidireccional
	Subcuencas	3
Grado de Aloctonía	Pisos Fitoclimáticos: 4 Interfluvios: 4 Vertientes: 9 Subcuencas: 3	$\sqrt{20} = 4.47 \rightarrow$ Alto

4.3.1.2 Cuenca del Río Acaponeta

Nombre: Cuenca del Río Acaponeta

Área en km²: 8,828.94 km²

Tabla 4.6. Pisos Fitoclimáticos.

Clima	Clasificación	Uso de Suelo	Altitud (m.s.n.m.)
Subhúmedo/Cálido	Awo, Awo(w)	Agricultura de Riego	0 – 100
Subhúmedo/Templado	Cw2, Cw2(w)	Vegetación Hidrófila	100 – 200
Subhúmedo/Templado	Cw1, Cw1(w)	Selva Baja Caducifolia	1700 – 1800
Subhúmedo/Templado	Cw0, Cw0(w)	Bosque de Pino/Encino	2500 ó <

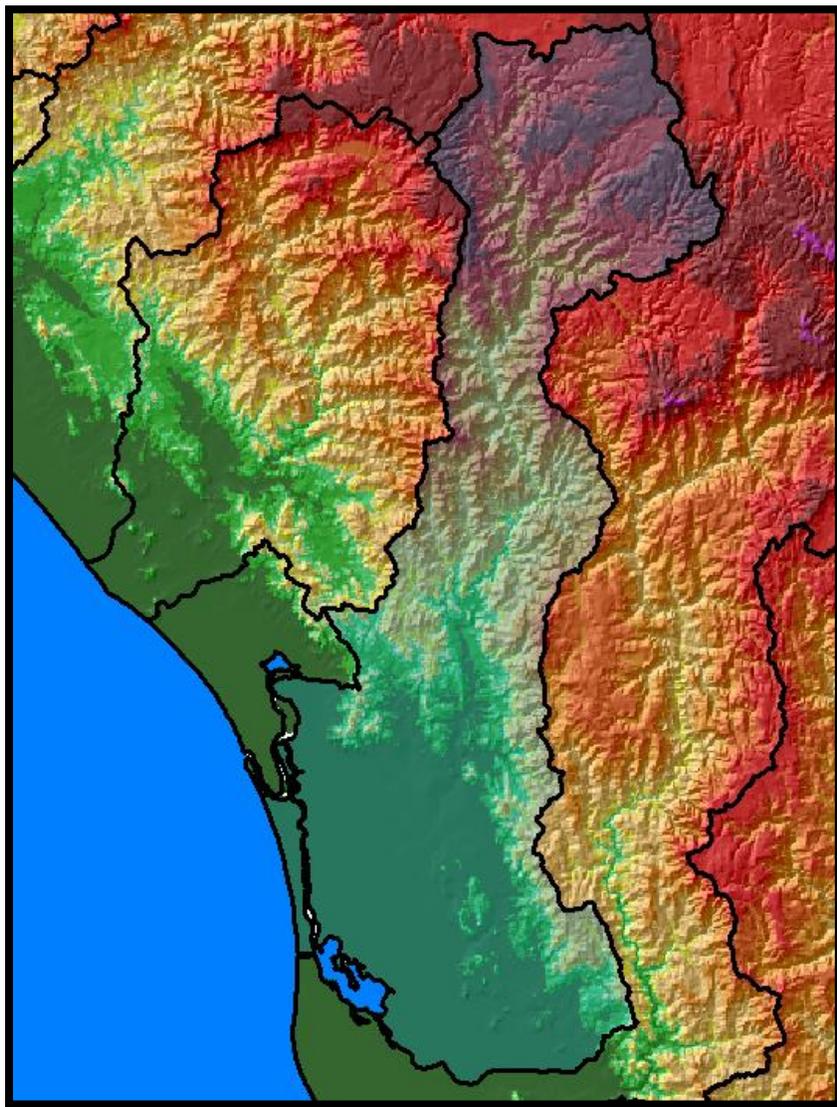


Figura 4.7. Cuenca Clásica Unidireccional.

Perfil del Colector Fluvial Principal:

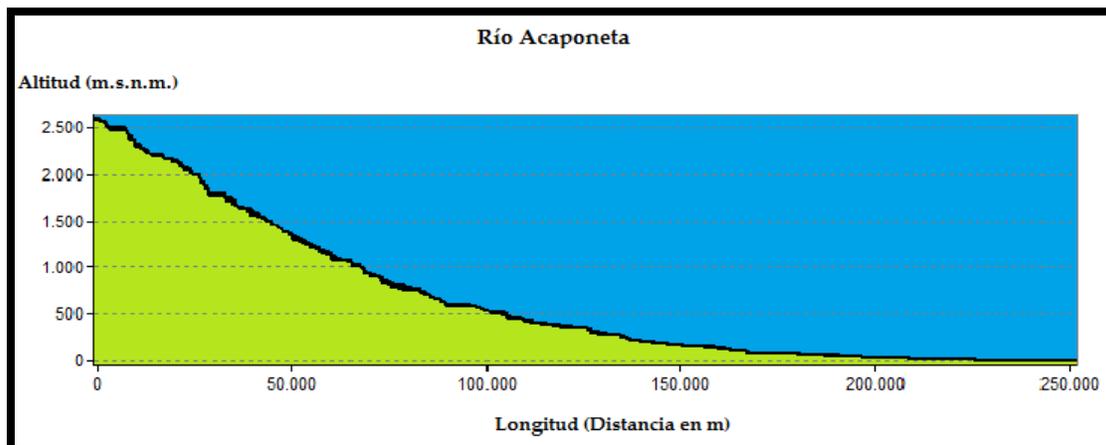


Figura 4.8 Colector Fluvial Principal

Tabla 4.7 Variables descriptoras y de diagnóstico.

Características	Cuencas alóctonas cercanas	Resultados
Emplazamiento geológico	Historia geológica semejante	Sí cumple, tomando en cuenta la carta geológica de INEGI (1987)
Mesoclima	Presencia de dos o más mesoclimas	De acuerdo con García (1964), presenta 2 mesoclimas
Escurrimiento base	Si de régimen perenne con estiaje bien marcado	Sí cumple, tomando en cuenta la Información Topográfica Digital de INEGI (2005)
Estructuras Morfológica del Relieve	Interfluvios	3
	Vertientes	7
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	Si presenta de dos o más pisos	Presenta 4 pisos
Red Hidrográfica	Unidireccional con red hidrográfica de disposición subsecuente	Si cumple, es unidireccional
	Subcuencas	4
Grado de Aloctonía:	Pisos Fitoclimáticos: 4 Interfluvios: 3 Vertientes: 7 Subcuencas: 4	$\sqrt{18} = 4.24 \rightarrow$ Alto

4.3.1.3 Cuenca del Arroyo Masiaca

Nombre: Cuenca del Arroyo Masiaca

Área en km²: 523.88 km²

Tabla 4.8. Pisos Fitoclimáticos.

Clima	Clasificación	Uso de Suelo	Altitud (m.s.n.m.)
Muy Árido/Muy Cálido	BW(h')w, BW(h')h	Matorral Xerófilo	0 – 100
Árido/Cálido	BW0(h')w, BW0 (h')h	Pastizal Cultivado	100 – 500
Semiárido/Cálido	BW1(h')w, BW1 (h')h	Agricultura de Temporal	100 – 500

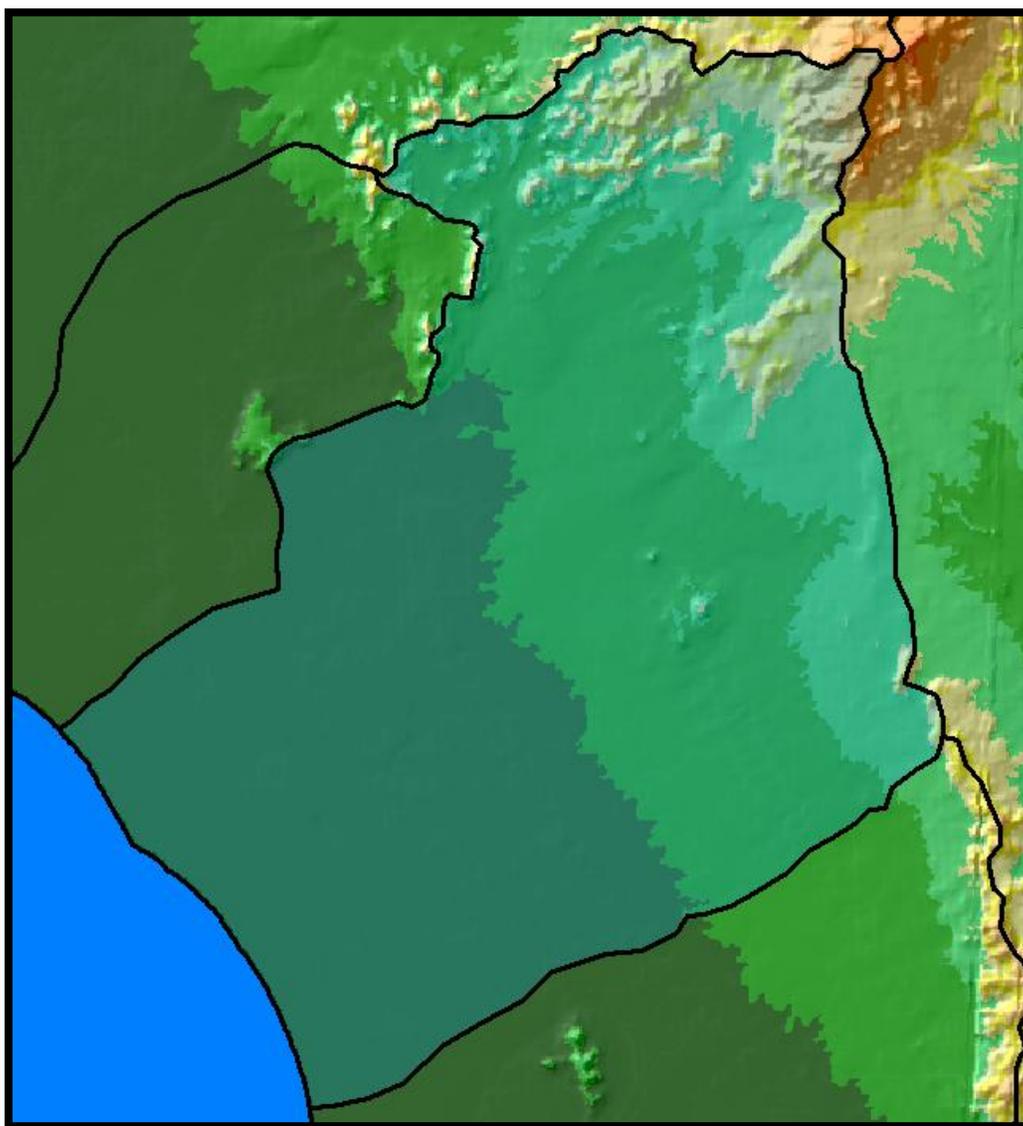


Figura 4.9. Cuenca Clásica Unidireccional.

Perfil del Colector Fluvial Principal:

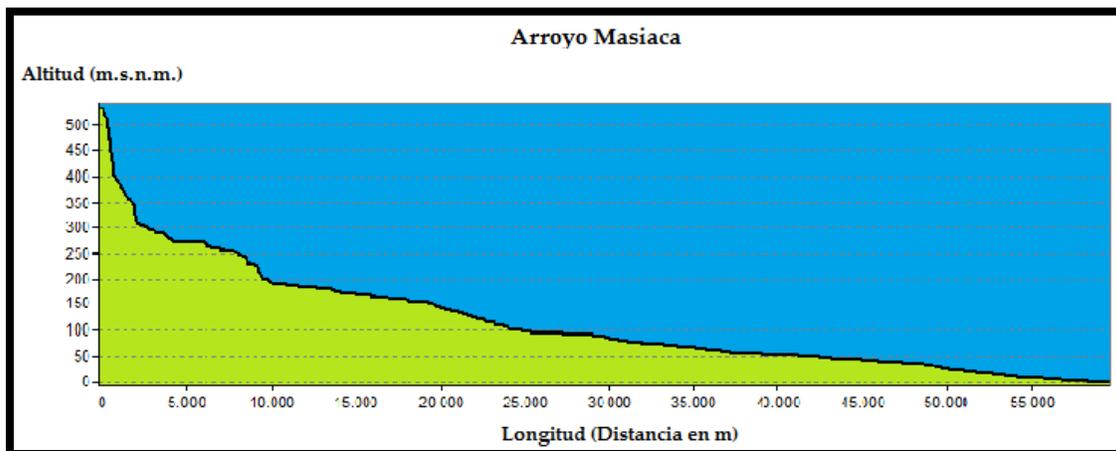


Figura 4.10 Colector Fluvial Principal

Tabla 4.9. Variables descriptoras y de diagnóstico.

Características	Cuencas autóctonas	Resultados
Emplazamiento geológico	Historia geológica semejante	Sí cumple, tomando en cuenta la carta geológica de INEGI (1987)
Mesoclima	Un meso-clima	De acuerdo con García (1964), presenta un mesoclima
Escorrimento base	No existe, hay escurrimiento de comportamiento variable, de dominio intermitente, y temporal.	Sí cumple, tomando en cuenta la Información Topográfica Digital de INEGI (2005)
Estructuras Morfológica del Relieve	Interfluvios	0
	Vertientes	0
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	No hay diferenciación en pisos, la vertiente es relativamente homogénea	Si cumple
Red Hidrográfica	Unidireccional y bidireccional con red hidrográfica de disposición subsecuente	Si cumple, es unidireccional
	Subcuencas	0
Grado de Aloctonía:	Pisos Fitoclimáticos: 1 Interfluvios: 0 Vertientes: 0 Subcuencas: 0	$\sqrt{1} = 1 \rightarrow$ Muy Bajo

4.3.2 Cuencas de la Sierra Madre Oriental

4.3.2.1 Cuenca del Río Tecolutla

Nombre: Cuenca del Río Tecolutla

Área en km²: 7,785.75 km²

Tabla 4.10. Pisos Fitoclimáticos.

Clima	Clasificación	Uso de Suelo	Altitud (m.s.n.m.)
Húmedo/Semicálido	A(C)m, A(C)m(w)	Agricultura de Temporal	0 – 100
Subhúmedo/Templado	Cw2, Cw2(w)	Pastizal Cultivado	100 – 1800
Húmedo/Templado	Cf, C(fm)	Bosque de Pino/Encino	1800 – 2500

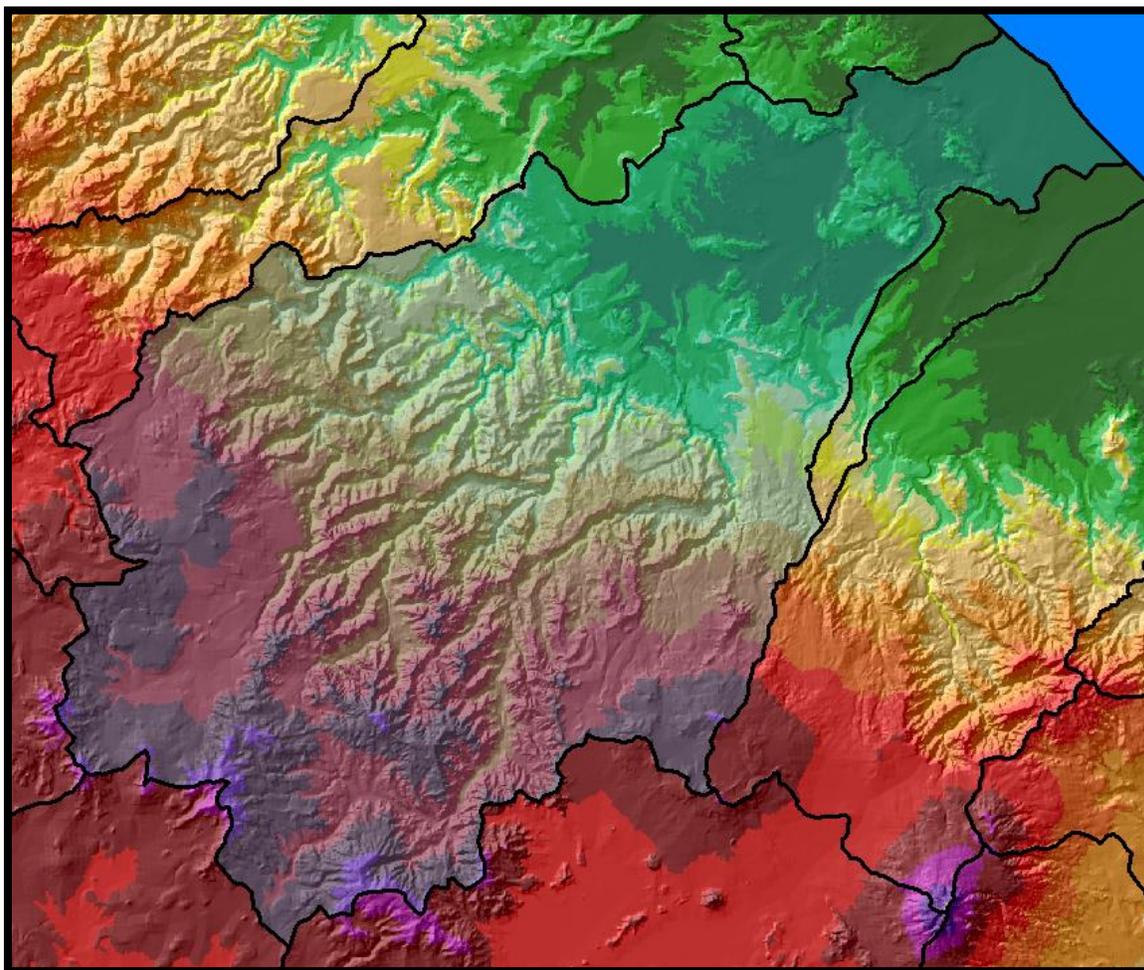


Figura 4.11. Cuenca Polidireccional.

Perfil del Colector Fluvial Principal:

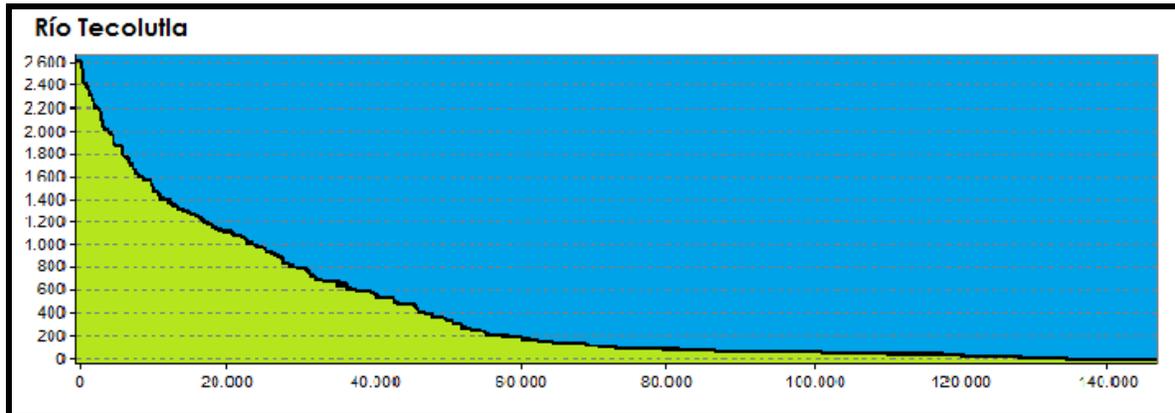


Figura 4.12

Tabla 4.11. Variables descriptoras y de diagnóstico.

Características	Cuencas alóctonas distantes	Resultados
Emplazamiento geológico	Estructura espacial compleja, poligenética, diferente evolución en la historia geológica. Fuerte control estructural	Sí cumple, tomando en cuenta la carta geológica de INEGI (1987)
Mesoclima	Presencia de dos o más mesoclimas	De acuerdo con García (1964), presenta 3 mesoclimas
Escurrimiento base	De régimen perenne	Sí cumple, tomando en cuenta la Información Topográfica Digital de INEGI (2005)
Estructuras Morfológica del Relieve	Interfluvios	3
	Vertientes	7
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	Si presenta dos o más pisos	Presenta 4 pisos
Red Hidrográfica	Polidireccional con trechos de valles transversales por efectos de sobreimposición	Si cumple, es polidireccional
	Subcuencas	4
Grado de Aloctonía:	Pisos Fitoclimáticos: 3 Interfluvios: 3 Vertientes: 7 Subcuencas: 4	$\sqrt{17} = 4.12 \rightarrow$ Alto

4.3.2.3 Cuenca del Río Jamapa

Nombre: Cuenca del Río Jamapa

Área en km²: 4,061.73 km²

Tabla 4.12. Pisos Fitoclimáticos.

Clima	Clasificación	Uso de Suelo	Altitud (m.s.n.m.)
Subhúmedo/Cálido	Aw1, Aw1(w)	Agricultura de Riego	0 – 100
Subhúmedo/Cálido	Aw2, Aw2(w)	Agricultura de Temporal	0 – 100
Húmedo/Semicálido	A(C)f, A(C)(fm)	Selva Alta Subperennifolia	600 – 900
Húmedo/Templado	Cf, C(fm)	Bosque de Pino/Encino	1000 – 2800

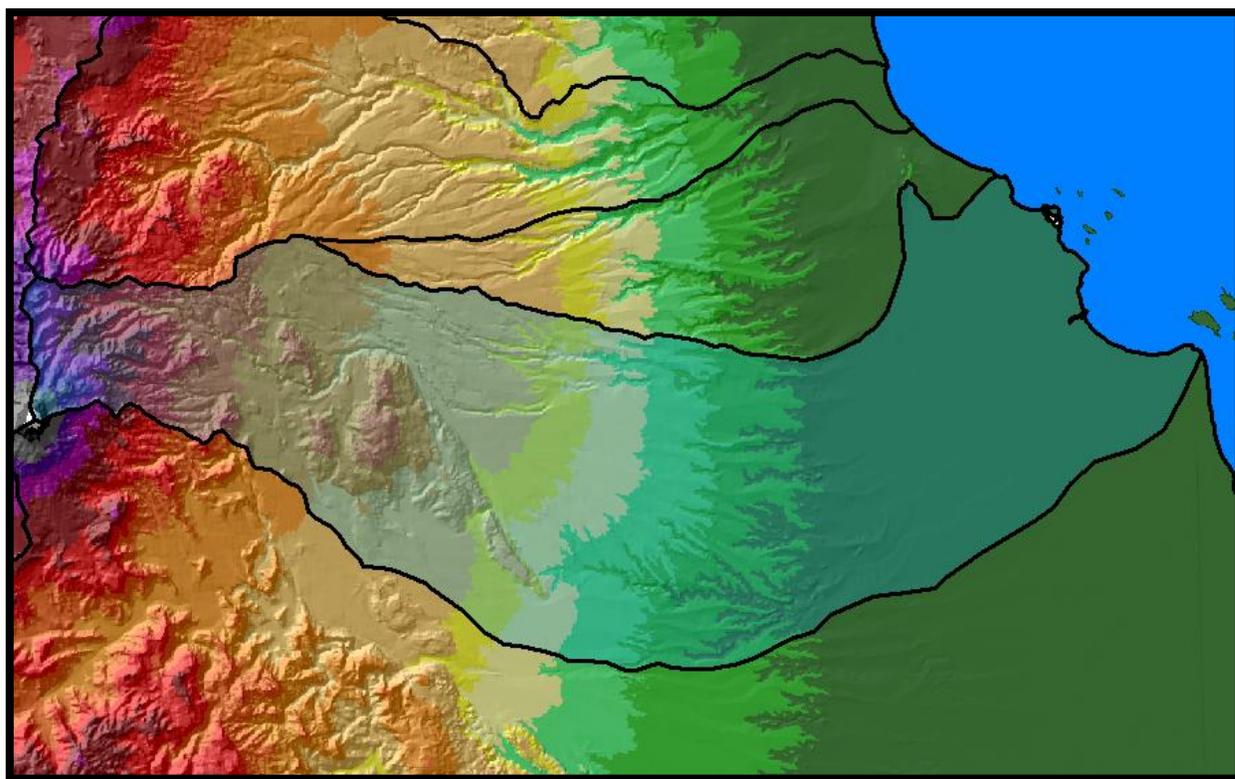


Figura 4.13. Cuenca Bidireccional.

Perfil del Colector Fluvial Principal:

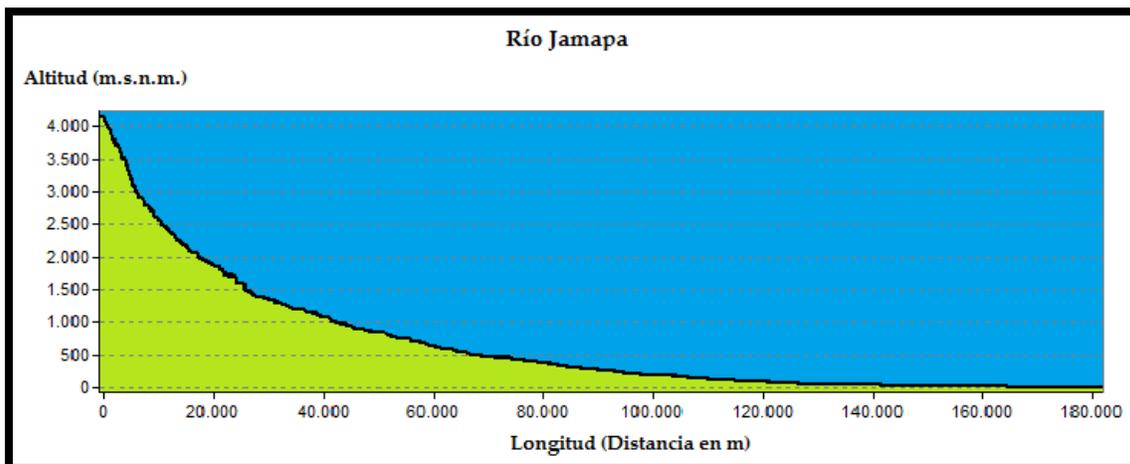


Figura 4.14 Colector Fluvial Principal

Tabla 4.13. Variables descriptoras y de diagnóstico.

Características	Cuencas alóctonas cercanas	Resultados
Emplazamiento geológico	Historia geológica semejante	Sí cumple, tomando en cuenta la carta geológica de INEGI (1987)
Mesoclima	Presencia de dos o más mesoclimas	De acuerdo con García (1964), presenta 3 mesoclimas
Escurecimiento base	Si de régimen perenne con estiaje bien marcado	Sí cumple, tomando en cuenta la Información Topográfica Digital de INEGI (2005)
Estructuras Morfológica del Relieve	Interfluvios	0
	Vertientes	1
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	Si presencia de dos o más pisos	Presenta 4 pisos
Red Hidrográfica	Unidireccional y bidireccional con red hidrográfica de disposición subsecuente	Si cumple, es bidireccional
	Subcuencas	2
Grado de Aloctonía:	Pisos Fitoclimáticos: 4 Interfluvios: 0 Vertientes: 1 Subcuencas: 2	$\sqrt{7} = 2.65 \rightarrow$ Bajo

4.3.2.3 Cuenca del Río Arroyo Blanco

Nombre: Cuenca del Río Arroyo Blanco

Área en km²: 523.16 km²

Tabla 4.14. Pisos Fitoclimáticos.

Clima	Clasificación	Uso de Suelo	Altitud (m.s.n.m.)
Subhúmedo/Cálido	Aw2, Aw2(w)	Agricultura de Temporal	0 – 100
Húmedo/Semicálido	A(C)f, A(C)(fm)	Selva Alta Perennifolia	100 – 500

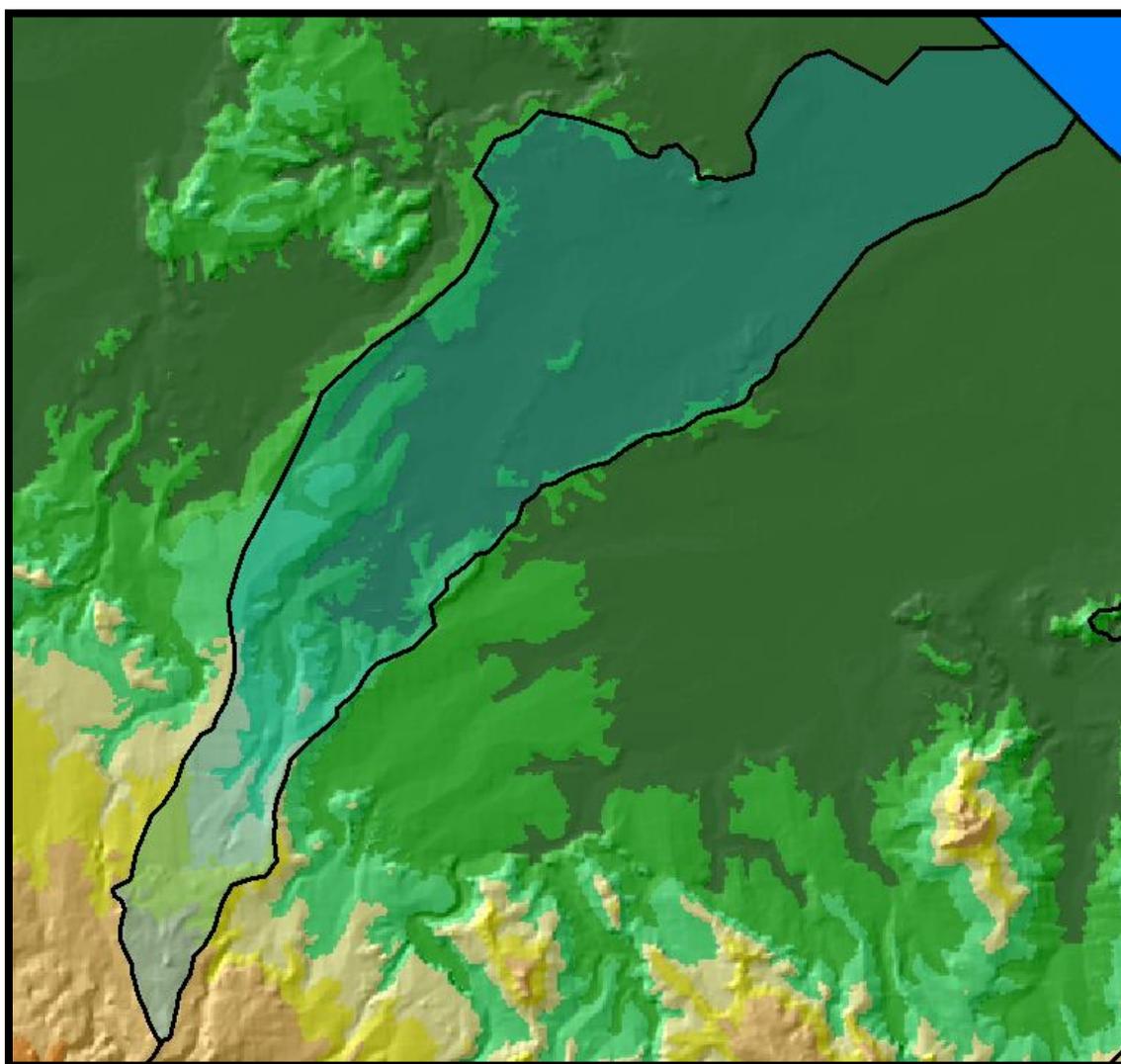


Figura 4.15. Cuenca Unidireccional.

Perfil del Colector Fluvial Principal:

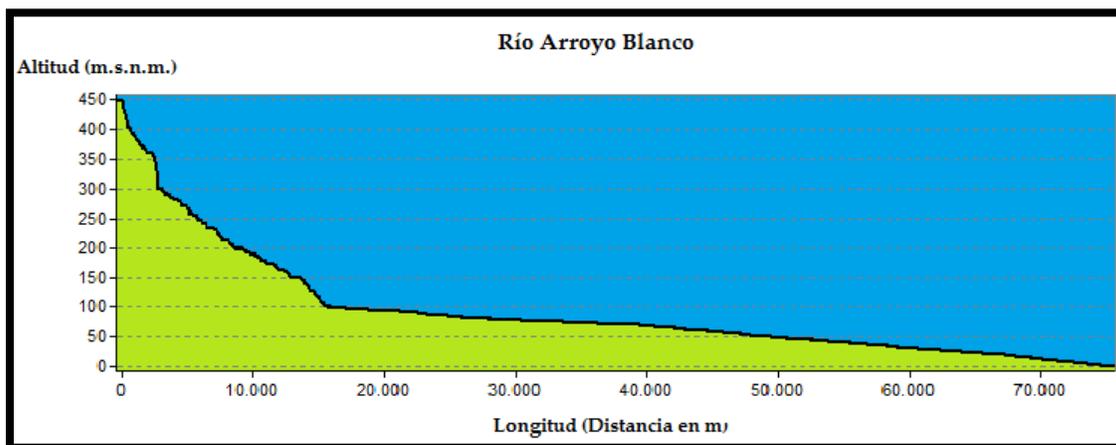


Figura 4.16 Colector Fluvial Principal

Tabla 4.15. Variables descriptoras y de diagnóstico.

Características	Cuencas autóctonas	Resultados
Emplazamiento geológico	Historia geológica semejante	Sí cumple, tomando en cuenta la carta geológica de INEGI (1987)
Mesoclima	Un meso-clima	De acuerdo con García (1964), presenta un mesoclima
Escorrentamiento base	No existe, hay escorrentamiento de comportamiento variable, de dominio intermitente, de carácter torrencial, y temporal.	Sí cumple, tomando en cuenta la Información Topográfica Digital de INEGI (2005)
Estructuras Morfológica del Relieve	Interfluvios	0
	Vertientes	1
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	No hay diferenciación en pisos, la vertiente es relativamente homogénea	No presenta diferenciación
Red Hidrográfica	Unidireccional con red hidrográfica de disposición subsecuente	Si cumple, es unidireccional
	Subcuencas	2
Grado de Aloctonía:	Pisos Fitoclimáticos: 1 Interfluvios: 0 Vertientes: 1 Subcuencas: 2	$\sqrt{4} = 2 \rightarrow$ Bajo

4.3.3.3 Cuencas de la Sierra Madre del Sur

4.3.3.1 Cuenca del Río Papagayo

Nombre: Cuenca del Río Papagayo

Área en km²: 7,553.51 km²

Tabla 4.16. Pisos Ftoclimáticos.

Clima	Clasificación	Uso de Suelo	Altitud (m.s.n.m.)
Subhúmedo/Cálido	Aw1, Aw1(w)	Agricultura de Temporal	0 – 500
Subhúmedo/Cálido	Aw1, Aw1(w)	Selva Baja Caducifolia	0 – 500
Subhúmedo/Semicálido	A(C)w2, A(C)w(w)	Selva Caducifolia	500 – 1000
Subhúmedo/templado	Cw2, Cw2(w)	Bosque de Pino/Encino	1200 – 2100

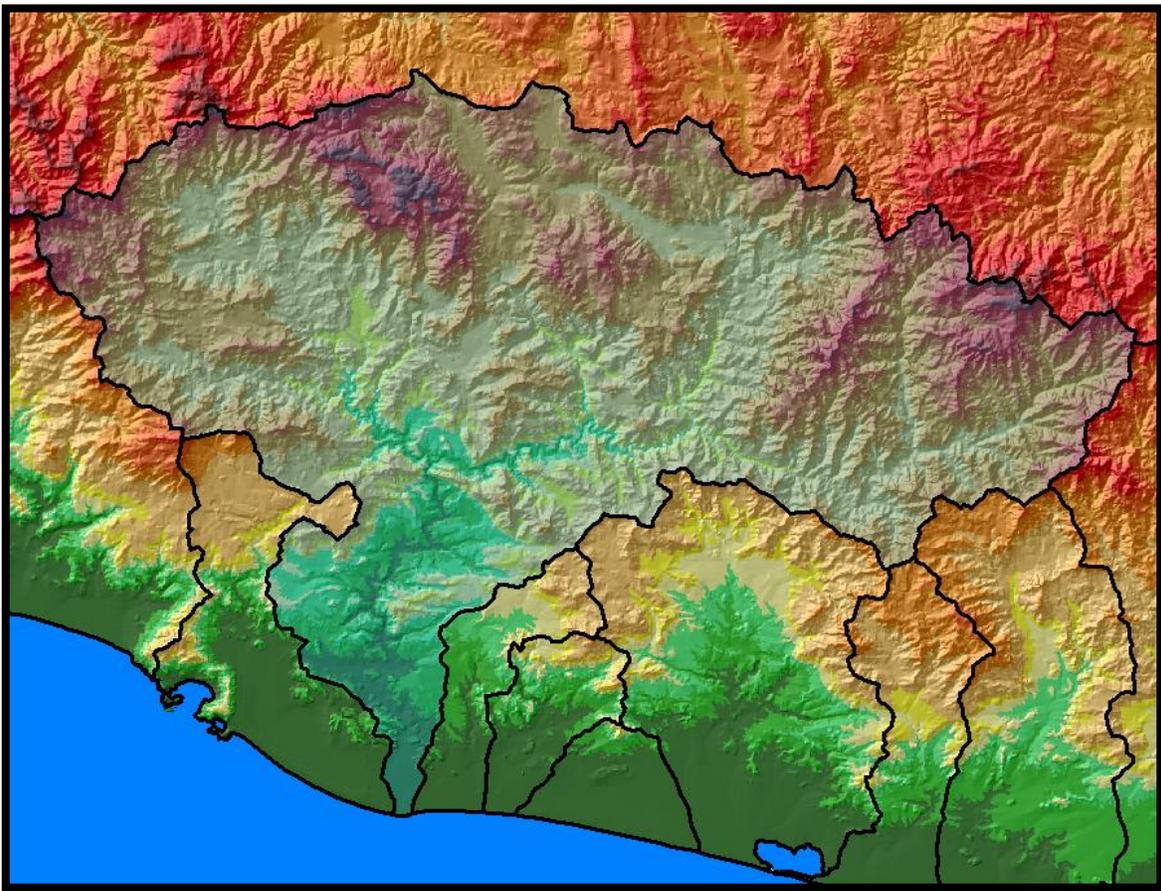


Figura 4.17. Cuenca Polidireccional.

Perfil del Colector Fluvial Principal:

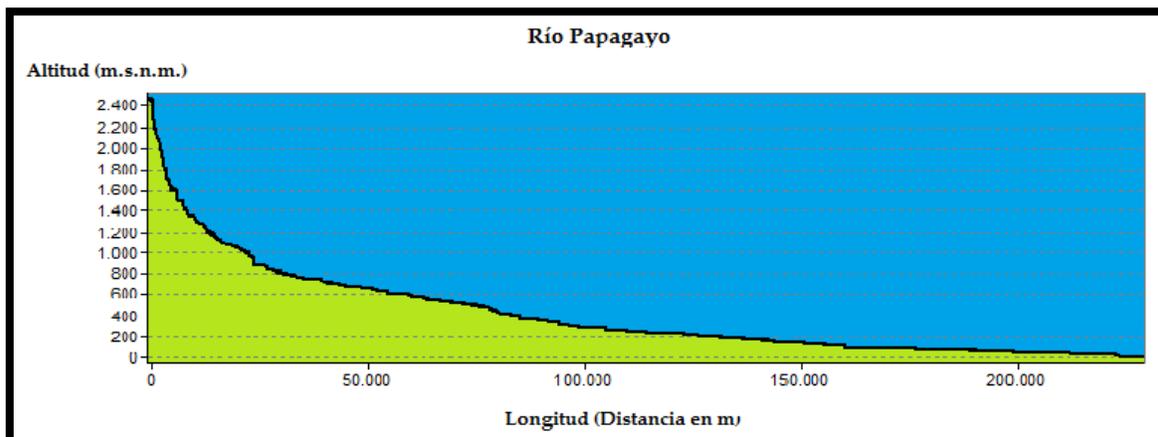


Figura 4.18 Colector Fluvial Principal

Tabla 4.17. Variables descriptoras y de diagnóstico.

Características	Cuencas alótonas distantes	Resultados
Emplazamiento geológico	Estructura espacial compleja, poligenética, diferente evolución en la historia geológica. Fuerte control estructural	Sí cumple, tomando en cuenta la carta geológica de INEGI (1987)
Mesoclima	Presencia de dos o más mesoclimas	De acuerdo con García (1964), presenta dos mesoclimas
Escurrimiento base	De régimen perenne	Sí cumple, tomando en cuenta la Información Topográfica Digital de INEGI (2005)
Estructuras Morfológica del Relieve	Interfluvios	4
	Vertientes	9
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	Si presenta dos o más pisos	Presenta 4 pisos
Red Hidrográfica	Polidireccional con truchos de valles transversales por efectos de sobreimposición	Si cumple, es polidireccional
	Subcuencas	6
Grado de Aloctonía:	Pisos Fitoclimáticos: 4 Interfluvios: 4 Vertientes: 9 Subcuencas: 6	$23 = 4.80 \rightarrow$ Alto

4.3.3.2 Cuenca del Río San Nicolás

Nombre: Cuenca del Río San Nicolás

Área en km²: 2,329.23 km²

Tabla 4.18. Pisos Fitoclimáticos.

Clima	Clasificación	Uso de Suelo	Altitud (m.s.n.m.)
Semiárido/Cálido	BS1(h')x'	Pastizal	0 – 100
Subhúmedo/Cálido	Aw0, Aw0(w)	Selva Espinoza	100 – 600
Subhúmedo/Cálido	Aw1, Aw1(w)	Selva Caducifolia	600 – 1000
Subhúmedo/Cálido	Aw2, Aw2(w)	Bosque de Encino	1000 – 1800

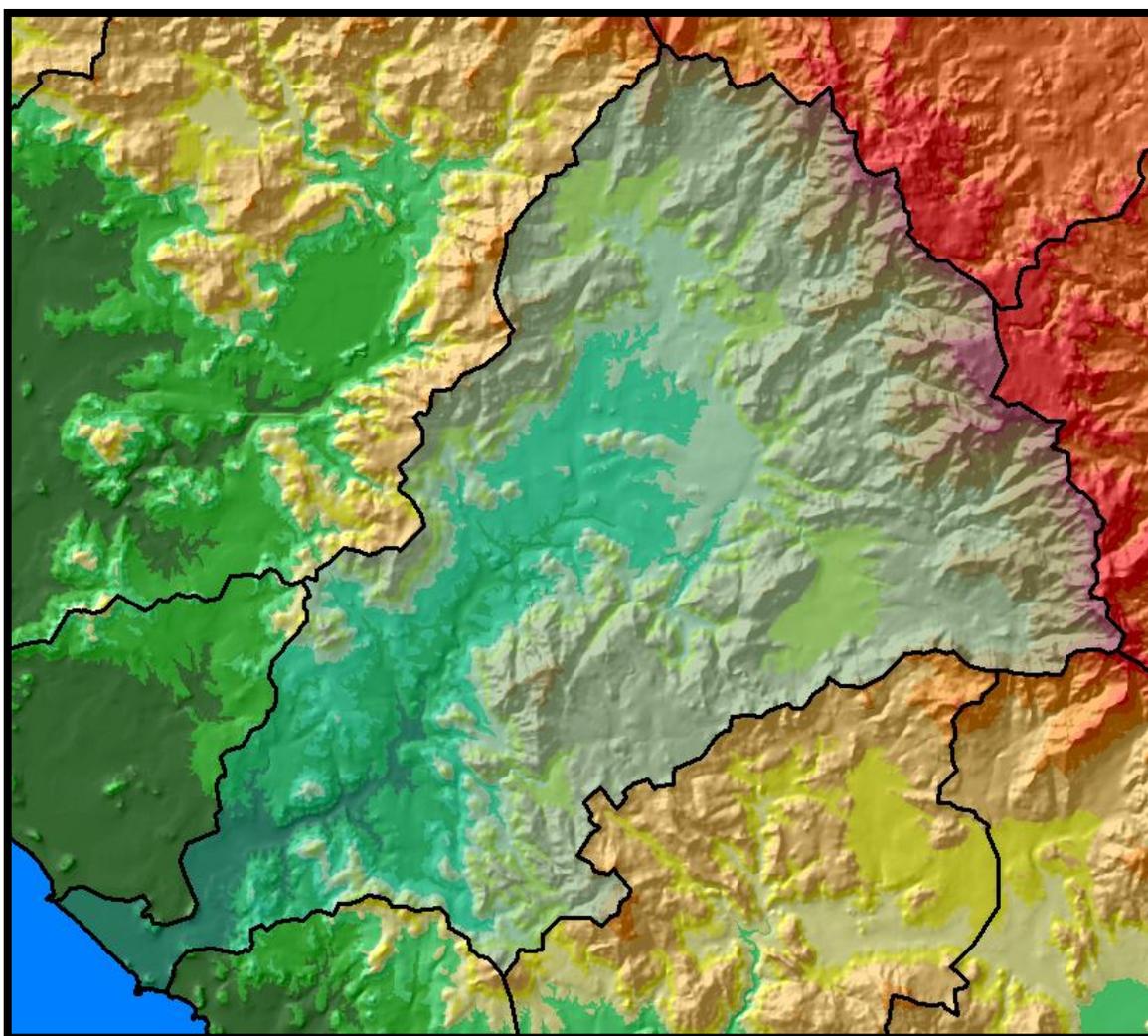


Figura 4.19. Cuenca Bidireccional.

Perfil del Colector Fluvial Principal:

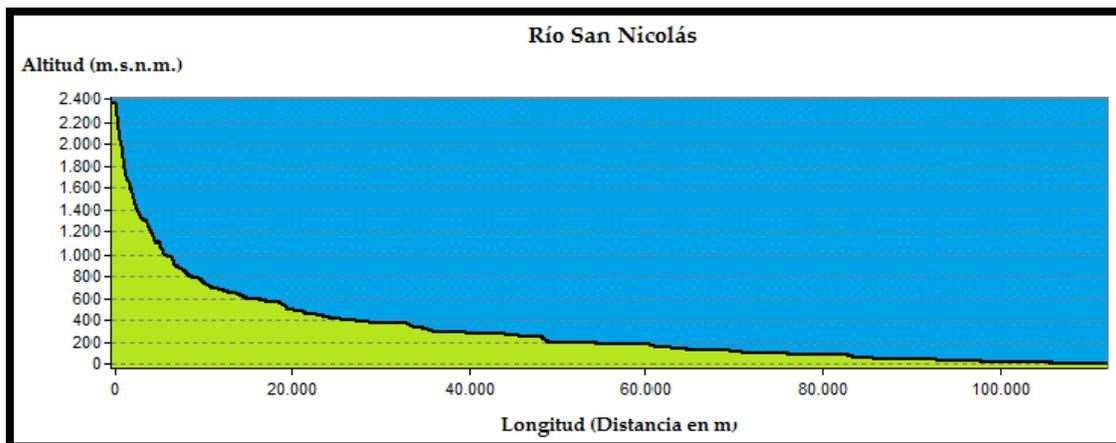


Figura 4.20 Colector Fluvial Principal

Tabla 4.19. Variables descriptoras y de diagnóstico.

Características	Cuencas aloctonas cercanas	Resultados
Emplazamiento geológico	Historia geológica semejante	Sí cumple, tomando en cuenta la carta geológica de INEGI (1987)
Mesoclima	Presencia de dos o más mesoclimas	De acuerdo con García (1964), presenta dos mesoclimas
Escurecimiento base	Si de régimen perenne con estiaje bien marcado	Sí cumple, tomando en cuenta la Información Topográfica Digital de INEGI (2005)
Estructuras Morfológica del Relieve	Interfluvios	3
	Vertientes	7
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	Si presencia de dos o más pisos	Presenta 4 pisos
Red Hidrográfica	Unidireccional y bidireccional con red hidrográfica de disposición subsecuente	Si cumple, es bidireccional
	Subcuencas	3
Grado de Aloctonía:	Pisos Fitoclimáticos: 4 Interfluvios: 3 Vertientes: 7 Subcuencas: 3	$17 = 4.12 \rightarrow$ Alto

4.3.3.2 Cuenca del Arroyo Santa Clara

Nombre: Cuenca del Arroyo Santa Clara

Área en km²: 382.47 km²

Tabla 4.20. Pisos Fitoclimáticos.

Clima	Clasificación	Uso de Suelo	Altitud (m.s.n.m.)
Subhúmedo/Cálido	Aw0, Aw0(w)	Agricultura de Temporal	0 – 100
Subhúmedo/Cálido	Aw1, Aw1(w)	Selva Baja Caducifolia	100 – 500

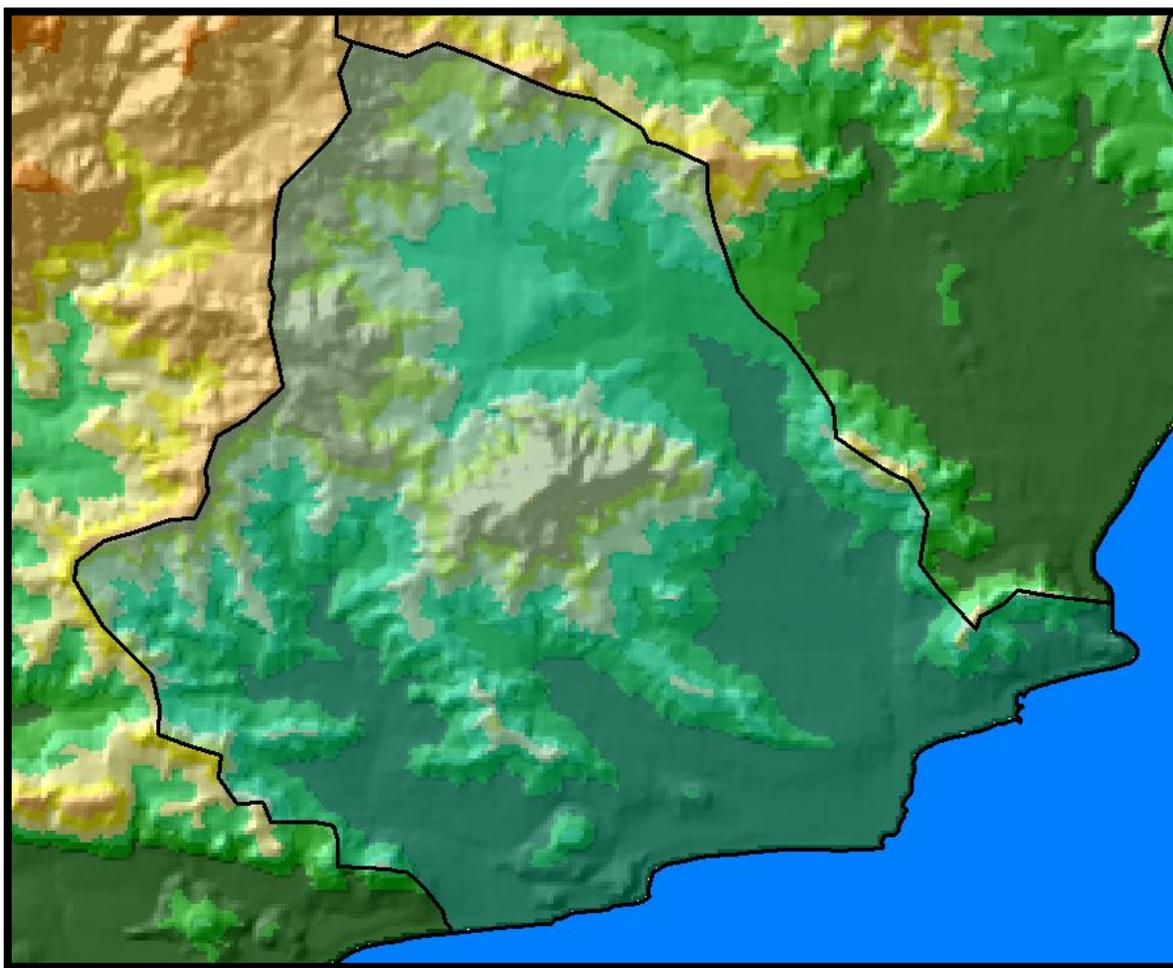


Figura 4.21. Cuenca Bidireccional.

Perfil del Colector Fluvial Principal:

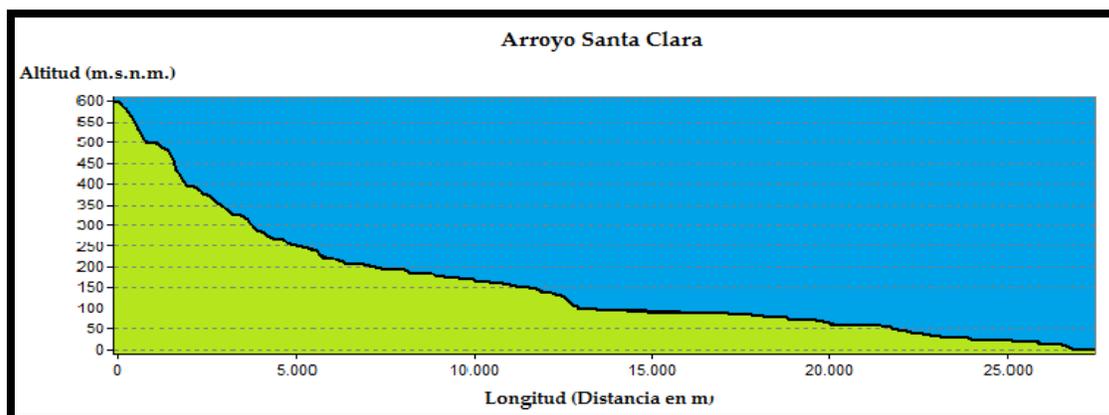


Figura 4.22 Colector Fluvial Principal

Tabla 4.21 Variables descriptoras y de diagnóstico.

Características	Cuencas autóctonas	Resultados
Emplazamiento geológico	Historia geológica semejante	Sí cumple, tomando en cuenta la carta geológica de INEGI (1987)
Mesoclima	Un meso-clima	De acuerdo con García (1964), presenta un mesoclima
Escurrimiento base	No existe, hay escurrimiento de comportamiento variable, de dominio intermitente, de carácter torrencial, y temporal.	Sí cumple, tomando en cuenta la Información Topográfica Digital de INEGI (2005)
Estructuras Morfológica del Relieve	Interfluvios	1
	Vertientes	2
Diferenciación de Pisos Fitoclimáticos	No hay diferenciación en pisos, la vertiente es relativamente homogénea	No presenta diferenciación
Red Hidrográfica	Unidireccional con red hidrográfica de disposición subsecuente	No cumple, es bidireccional
	Subcuencas	3
Grado de Aloctonía:	Pisos Fitoclimáticos: 1 Interfluvios: 1 Vertientes: 2 Subcuencas: 3	$7 = 2.64 \rightarrow$ Bajo

4.4 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron, fueron muy variables, pero en su mayoría coincidieron con los propuestos en la Clasificación Ecogeográfica de Cuencas propuestas por Ortiz, (2010).

Para la vertiente de la Sierra Madre Occidental:

- Para la cuenca del Río Fuerte, se observaron diferencias entre cuatro pisos fitoclimáticos, su geología histórica fue diferente y tiene un fuerte control estructural. Esta cuenca atraviesa los estados de Chihuahua, Sinaloa y parte de Sonora. Posee un escurrimiento perenne y un grado de aloctonía alto (comparado con las demás cuencas) que se puede observar en las profundas incisiones que han hecho los ríos formando quebradas y cañones muy marcados. Esto a su vez coincide con los cuatro interfluvios que la atraviesan. Tiene cuatro rasgos morfológicos (quiebres) principales que se aprecian en el perfil del colector fluvial principal. Es la cuenca que más número de mesoclimas presenta, con un total de cinco mesoclimas, y es polidireccional, con orientaciones NE-SW y E-SW.
- La cuenca del Río Acaponeta atraviesa los estados de Durango y Nayarit, y una parte de Sinaloa. Igualmente posee cuatro pisos fitoclimáticos, tiene un escurrimiento perenne, y aunque su grado de aloctonía es alto (de 4.24), no es tan marcado como el de la cuenca del Río Fuerte; tiene dos mesoclimas muy bien diferenciados: en la parte alta (en la zona de montaña) es subhúmedo, y en la parte baja (en la llanura costera) es seco. El área de piedemonte es muy angosta y poco extensa; y tiene una red hidrográfica unidireccional de orientación NE-SW. El perfil de su colector fluvial principal en general presenta una configuración de geometría de perfil convexo en la parte superior que cambia en el curso medio inferior a cóncava sin dejar de mostrar ligeros cambios de ruptura de pendiente o quiebres a lo largo de su perfil indicando de esta forma, cambios en la actividad tectónica.
- La cuenca del Arroyo Masiaca, se encuentra en la zona sur del Estado de Sonora. Tiene una geología semejante, posee un mesoclima transformado por el uso de suelo. Es autóctono, pues su valor es muy bajo (de 1). Su escurrimiento es intermitente con una marcada temporalidad, su red hidrográfica es unidireccional con sentido NE-SW. Por su autoctonía no tiene una diferenciación de pisos fitoclimáticos y la máxima altitud que alcanza es de 500 m.s.n.m. El perfil del colector fluvial principal tiene cuatro quiebres pronunciados que nos indican que

por su elaboración podría considerarse joven y aun no alcanza la madurez necesaria para alcanzar un perfil de equilibrio con ligeras rupturas de pendiente, aunque en la parte frontal próxima a la desembocadura es convexo, lo que nos indica probables zonas de depósito.

Para la vertiente de la Sierra Madre Oriental:

- La cuenca del Río Tecolutla abarca los estados de Puebla, Veracruz y una pequeña parte de Tlaxcala. Tiene diferente evolución geológica, una estructura poligenética y un fuerte control estructural. Su escurrimiento es perenne, y cuenta con tres pisos fitoclimáticos muy bien diferenciados. Desde luego tiene tres mesoclimas, pero el que predomina en extensión es el subhúmedo/templado. El grado de aloctonía es relativamente alto con un valor (de 4.12) a pesar de la fuerte degradación que han sufrido sus vertientes. Podemos decir que en la cuarta parte de la zona montañosa, muestra una disección fluvial intensa. Es una cuenca con una red hidrográfica polidireccional con cambios de sentido de SW-NE y de SW-E. El perfil del colector fluvial principal muestra tres secciones o trechos muy bien diferenciados que corresponden a: la parte alta que se caracteriza por gradientes de pendiente muy acusados, la parte central que muestra cuatro pliegues escalonados producto de rápidos y saltos de agua muy reconocibles por la tectónica con desniveles, y la parte baja de geometría cóncava muy amplia en la parte de la llanura costera.
- La cuenca del Río Jamapa se localiza en el estado de Veracruz, y sólo una parte en el estado de Puebla. Cuenta con una historia geológica semejante, sin embargo, a cambio de esto tiene una altura considerable, toda vez que sus cumbres alcanzan altitudes de 4,000 m con estribaciones muy importantes de 1500 m, siendo entonces una cuenca con una altitud imponente. Tres de los cuatro pisos fitoclimáticos que tiene, están recludos en la parte superior; y tiene una aloctonía baja (de 2.65). Esta cuenca se caracteriza porque las vertientes e interfluvios se disponen en la parte superior y conviene hacer mención de que cuenta con una extensa cuesta con un piedemonte cercano a los 1000 m de desnivel en donde se desarrolla una red unidireccional dendrítica subparalela sobre el piedemonte, lo que hace que carezca de interfluvios. Tiene un escurrimiento perenne y es bidireccional, con sentidos W-E y NE-SW.
- La cuenca del Río Arroyo Blanco se localiza en los estados de Puebla y Veracruz. Cumple con un escurrimiento torrencial e intermitente, su historia geológica es semejante y tiene un grado de aloctonía bajo (de 2). Por su autoctonía, sólo posee

una vertiente sin diferenciación de pisos fitoclimáticos. La altura máxima que alcanza es de tan sólo 500 m.s.n.m. y sólo presenta un mesoclima. La red hidrográfica de la cuenca es unidireccional con dirección SW-NE y su red hidrográfica es de disposición subsecuente. Sin embargo, el perfil del colector fluvial principal muestra cambios muy importantes hasta el nivel de los 100 m, lo que nos habla de una fuerte actividad tectónica, incluso llama la atención que en los últimos 65 km posee un perfil continuo de geometría convexa que nos indica un relieve en proceso de levantamiento.

Para la vertiente de la Sierra Madre del Sur:

- La cuenca del Río Papagayo se localiza en el estado de Guerrero. Debido a que tuvo una evolución geológica diferente, tiene un fuerte control estructural. Posee un escurrimiento perenne y presenta cuatro pisos fitoclimáticos. Los cuatro interfluvios que la atraviesan se encuentran en la parte alta de la cuenca, al igual que ocho, de las nueve vertientes que tiene. Su aloctonía es alta (de 4.8) y por tanto, posee un escurrimiento base importante. Como se expresó anteriormente, cuenta con dos mesoclimas y su altitud máxima de 2,400 m.s.n.m. Es una cuenca con una red hidrográfica compleja polidireccional con sentidos muy diferentes: N-E, N-SE, N-S y NE-SW. El perfil del colector fluvial principal tiene una ruptura de pendiente muy marcada a los 900 m, dividiendo la cuenca en dos zonas: en la zona alta, que juega un rol de zona de cuenca de captación; y en la zona baja con una ligera convexidad como la receptora. En general, visualizamos también un fuerte control estructural y una actividad tectónica importante.
- La cuenca del Río San Nicolás se encuentra en el centro-este del estado de Jalisco. Tiene una historia geológica semejante, un escurrimiento perenne y un grado de aloctonía alto (de 4.12). El río principal de esta cuenca, está rodeado por estructuras montañosas. Aunque sólo tiene dos mesoclimas, posee cuatro pisos fitoclimáticos, predominando el clima subhúmedo cálido, sobre todo en las partes medias y altas de la cuenca. Es bidireccionalidad de sentidos: NE-SW y E-SW y tiene una red hidrográfica de disposición subsecuente. El perfil del colector fluvial principal presenta a partir de los 600 m, escalonamientos que van cada 200 m, lo que responde a estratos litológicos diferentes y desde luego, al control estructural de fallas o fracturas.
- La cuenca del Arroyo Santa Clara se localiza al sureste del estado de Oaxaca. Cumple con una historia geológica semejante, y tiene un escurrimiento

intermitente y temporal de acuerdo con la base de datos de ríos y de cuerpos de agua de INEGI. No tiene diferenciación fitoclimática y únicamente posee un mesoclima, es decir, se trata de una cuenca de fuerte homogeneidad en el paisaje. El valor del grado de aloctonía es bajo (de 2.64) a pesar de que tiene tres subcuencas y dos interfluvios, sin embargo, no posee una diferenciación fitoclimática. Entre otros atributos que podemos mencionar, es que su red hidrográfica es polidireccional como resultado de un fuerte control estructural que se observa a lo largo del perfil del colector fluvial principal, en donde se exhibe con tres secciones o tramos de geometría convexa, lo que nos indica una zona con fuerte actividad tectónica.

Cabe destacar que, de manera general, la transformación del paisaje por cambios de uso de suelo ha sido distinta. En la Sierra Madre Occidental, el cambio por uso de suelo, sólo se da en las partes bajas y medias, sin llegar a las altas; en la Sierra Madre Oriental este cambio se extiende hasta las partes más álgidas; mientras que en la Sierra Madre del Sur, el cambio por uso de suelo se distingue a partir de la zona media, hasta la zona alta, sin llegar a las cumbres.

Finalmente, a manera de comparación, se puede ver que las tres cuencas alóctonas distantes, las tres cercanas y las tres autóctonas, a pesar de ubicarse en las distintas Sierras Madre y contar con condiciones climáticas diferentes, cumplen con los parámetros que estableció la Clasificación Ecogeográfica de Cuencas, ya que tienen un comportamiento muy similar entre ellas, sobretodo en aloctonía, escurrimiento y pisos fitoclimáticos; pero con varias diferencias en el perfil que presentan sus colectores fluviales principales. Esta serie de condiciones no fueron un impedimento para aplicarse de manera consistente en la clasificación, ya que los valores de aloctonia marcaron muy bien las diferencias entre las cuencas alóctonas cercanas y las muy distantes.

CONCLUSIONES

Las conclusiones generales que se obtuvieron reafirman la hipótesis planteada al inicio de esta tesis, logrando que este trabajo de investigación lleve a la valoración de las cuencas a un estatus con respecto a su capital natural, permitiendo su aplicación en todo el país. Además, se basa en el arreglo fisiográfico de la estructura espacial detectable con imágenes, fotografías aéreas, y en cierto modo requiere de herramientas muy sencillas como el *Google Earth* (el cual es accesible para todo el mundo), lo que nos da oportunidad de una base disponible de información que nos permita una visión panorámica.

Por otra parte, nos muestra una variedad de comportamientos en la estructura espacial en las cuencas, misma que se relaciona con las características intrínsecas de las vertientes, ya que tienen una influencia en el análisis de la estructura espacial, por lo que en este estudio se les consideró de manera importante.

Con el análisis general que se hizo de la vertiente del Golfo y del Pacífico, se generaron datos que nunca habían sido registrados, tales como la longitud y la altitud de la divisoria, y el rezago de la disección fluvial y la disección por vertiente. Estos datos nos mostraron un comportamiento heterogéneo incluso dentro de una misma vertiente.

Con este trabajo, se pretendió mostrar una manera más rápida y sencilla de analizar las cuencas, ya que los resultados nos mostraron que esta Clasificación es válida y aplicable tanto para cuencas alóctonas distantes, alóctonas cercanas y autóctonas, sin importar el lugar en el que se encuentren (es decir, en la vertiente del Golfo o la del Pacífico; o en la Sierra Madre Oriental, Occidental y del Sur). Aunque cabe señalar que para el caso de las cuencas autóctonas, el clima y la vegetación tuvo una variabilidad entre las observaciones que se hicieron cuando se realizó la clasificación ecogeográfica y ahora; ya que para evaluar su consistencia se retomó con nuevos materiales, es decir con información más actualizada, de mayor detalle y mejor escala, en donde obviamente se llegó a una resolución con mayor definición, lo que influyó al momento de evaluar las variables, en particular de los pisos fitoclimáticos en estos años.

Otro aspecto relevante, es la interpretación de los perfiles longitudinales del cauce, que nos revelaron la concentración de la energía cinética de los sedimentos y la materia siendo ésta la parte de mayor dinámica al concentrarse allí todo lo que baja de la cuenca; sin embargo, a pesar de que es una fuente de erosión concentrada, observamos que en los perfiles la actividad tectónica se sigue llevando a lo largo de éste.

Finalmente, gracias a todos los atributos que se consideraron para analizarlas (desde la descripción geológica y geomorfológica hecha para cada una de las Sierras, pasando por la obtención de datos nunca antes registrados de las vertientes de México, y finalizando con la comparación de la Clasificación Ecogeográfica con los resultados obtenidos) se logró cumplir con los objetivos sugeridos en este trabajo; ya que el análisis comparativo que se realizó tuvo resultados satisfactorios, logrando conocer las limitaciones y fortalezas de cada elemento analizado e implementando nuevas formas de estudiar las cuencas.

Considerando lo anterior, y conjuntando todo el trabajo hecho, nos lleva a decir que realmente hubo una integración, análisis y comparación de resultados en este trabajo, lo que le imprime a esta tesis, el aporte original y nunca antes propuesto para este tipo de estudios, y sobre todo una manera de estudiar la Geografía desde una perspectiva diferente pero innovadora.

GLOSARIO.

- Acreción: Crecimiento por adición de materia, cómo en los depósitos minerales o en los continentes. (Real Academia Española)
- Abra. Valle o abertura ancha entre dos elevaciones. (Lugo, 2011)
- Basamento. Gran conjunto de rocas que subyacen con discordancia a la cubierta de rocas sedimentarias; posee un estilo tectónico definido y han sido afectadas por metamorfismo y deformaciones, aunque éstas puedan estar ausentes. El término fue propuesto por E. Suess, en 1885. (Lugo, 1989)
- Batolito. En la concepción original de E. Suess en 1885 es un gran cuerpo intrusivo de roca del tipo del granito que tiene contactos bruscos y un gran grosor en sentido vertical, del orden de decenas de kilómetros, aunque la profundidad real se desconoce. En la superficie presenta más de 100 km², en general es un conjunto de estructuras alineadas que llegan a alcanzar cientos de kilómetros y un centenar de kilómetros de anchura. En el relieve forman elevaciones del tipo de mesetas o conjuntos montañosos. Se considera que se forman por procesos prolongados de intrusión, a lo largo de millones de años. Pueden constituir el núcleo de sistemas montañosos plegados o volcánicos, y las rocas graníticas afloran en la superficie sólo cuando la erosión ha removido la capa superior. Se explica su origen por el enfriamiento del magma de cámaras magmáticas que alimentaron volcanes en el pasado. (Dennis, 1967) (Lugo, 2011)
- Cabalgadura. Falla inversa de inclinación suave (hasta unos 30°) a lo largo de la cual se produce el desplazamiento de bloques. (Lugo, 2011)
- Dextral. A la derecha. Tipo de falla. <http://definicion.dictionarist.com/dextral>
- Dominio. Porción de la superficie terrestre que se puede delimitar y definir por sus características geológicas, geomorfológicas, de paisaje, etc., por ejemplo, un desierto, una planicie deltaica, etc. (Lugo, 2011)
- Escurrimiento base: Es el gasto existente en la cuenca producto del escurrimiento permanente y el escurrimiento subterráneo, que de manera más lenta llega hasta la salida de la cuenca (puede tardar años en llegar). http://hidraulica.umich.mx/laboratorio/images/man_pdf/7o/7_p4.pdf
- Gneis. Roca metamórfica, cristalina, de grano grueso, textura foliada, en bandas o capas onduladas. Se forma por el metamorfismo regional de rocas ígneas (ortogneis) como el granito, y sedimentarias (paragneis). (Lugo, 1989)
- Graben. Del Alemán, zanja. Fosa tectónica. (Lugo, 2011)
- Megabloque. Porciones de la superficie terrestre delimitadas por fracturas, debido a las cuales se producen desplazamientos en sentido vertical. Se caracterizan por

límites rectilíneos y altitud más o menos igual. Los m. levantados son pilares y los hundidos (aunque sea relativamente) son fosas tectónicas. (Lugo, 2011)

- Perfil de Equilibrio. Forma de terminada del perfil de un río, ladera, línea de costa, etc. Se moldea en condiciones de bases de erosión y denudación relativamente constantes. (Lugo, 2011)
- Rift: Estructura tectónica disyuntiva de la corteza terrestre, con extensión lineal de cientos a miles de kilómetros. Se origina por una separación en sentido transversal, respecto al eje del Rift, de grandes bloques. Los Rifts pueden ser: a) Continentales (Baikal, Rin, los lagos de África Oriental), b) Intercontinentales (Golfos del Adén y California), c) Oceánicos (valle Rift de las dorsales). En los continentes, los Rift forman depresiones de clara expresión en el relieve: en África es una serie de cuencas lacustres alineadas; el Baikal es el lago más profundo del mundo. En los márgenes de los Rift se presentan montañas. La expresión de un Rift en el relieve se reconoce en una anchura de 30-70 km; son regiones de actividad sísmica y en muchos casos, volcánica. (Lugo, 1989)
- Secuencia. Se aplica a una serie de estratos o formas del relieve sucesivos en el tiempo, como las terrazas fluviales o marinas, volcanes, morrenas, superficies de nivelación, etc. (Lugo, 2011)
- Sinclinorio. Término propuesto por J. D. Dana en 1873. Gran estructura plegada de dimensiones de decenas a cientos de kilómetros, compleja, semejante a un sinclinal que comprende un conjunto de sinclinales y anticlinales a manera de pliegues menores. (Lugo, 2011)
- Subducción. Proceso de hundimiento de una placa litosférica de corteza oceánica frente a otra continental. La segunda puede encimarse o cabalgar sobre la primera. A profundidad la presión y las altas temperaturas generan la fusión de las rocas en colisión, de manera que la corteza continental crece al asimilar las de la placa oceánica. En la zona limítrofe de ambas se forma una trinchera. De este proceso resulta la formación de los arcos insulares y sistemas montañosos marginales al continente (Andes). La expansión del fondo oceánico es el proceso contrario (placas litosféricas, tectónica de placas). (Lugo, 2011)
- Yuxtaposición: Modo de aumentar o crecer los minerales, a diferencia de los animales y vegetales que crecen por intususcepción. Poner algo junto a otra cosa o inmediata a ella.
- Zócalo: Cuerpo inferior de un edificio u obra, que sirve para elevar los basamentos a un mismo nivel. (Lugo, 1989)

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Díaz, G. J., McDowell, F. W., 1991, The volcanic section at Nazas, Durango, Mexico, and the possibility of widespread Eocene volcanism within the Sierra Madre Occidental: Journal of Geophysical Research, 96, 13373-13388. **
- Aguirre-Díaz, G. J., McDowell, F. W., 1993, Nature and Timing of faulting and syn-extensional magmatism in the southern Basin and Range, central-eastern Durango, Mexico: Geological Society of America Bulletin, 105, 1435-1444.
- Anderson, T. H., Schmidt, V. A., 1983, The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time: Geological Society of America Bulletin, 94, 941-966.
- Anderson, T. H., Nourse, J. A., McKee, J. W., Steiner, M. B. (eds.), 2005, The Mojave-Sonora megashear hypothesis: development, assessment, and alternatives: Geological Society of America Special Paper, 393, 693 p.
- Bosque S. J.; Escobar Martínez, F.J.; García Hernández, E. y Salado García, 1994. Sistemas de Información Geográfica: Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI, Madrid, Editorial RA-MA.
- Cameron, K. L., Hanson, G. N., 1982, Rare earth element evidence concerning the origin of voluminous mid-Tertiary rhyolitic ignimbrites and related volcanic rocks, SMO, Chihuahua, Mexico: Geochimica et Cosmochimica Acta, 46, 1489-1503.
- Caminos de México, cuarta edición, México, 1958, Guía Goodrich-Euzcadi, 28p.
- Campos, A., 1992, Proceso del Ciclo Hidrológico, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 1ª ed. San Luis Potosí, México. 22-23 p.
- Campos, A., 1999, Proceso de Ciclo Hidrológico, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2ª ed. San Luis Potosí, México. 33-34 p.
- Carrillo, B.J., 1961, Geología del Anticlinorio Huizachal Peregrina al noroeste de Ciudad Victoria, Tamps., Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13, 1-98.

- Castillo-Hernández, D., Romero-Ríos, F., 1991, Estudio geológico-regional de Los Altos de Jalisco y El Bajío, Informe 02-91, Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Departamento de Exploración, Morelia, Michoacán, México, 35p.

- Chávez-Cabello, G., Cossío-Torres, T., Peterson-Rodríguez, R.H., 2004, Change of the maximum principal stress during the Laramide Orogeny in the Monterrey salient, northeast México, en Sussman, A.J., and Weil, A.B. (eds.), Orogenic curvature: Integrating paleomagnetic and structural analyses: Geological Society of America Special Paper, 383, 145-159.

- Clark, K.F., Damon, P.E., Shafiquillah, M., Ponce, B.F., Cárdenas, D., 1981, Sección geológica-estructural a través de la parte sur de la Sierra Madre Occidental, entre Fresnillo y la costa de Nayarit: Asociación Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Memoria Técnica, XIV, 69-99.

- Coney, P.J., Reynolds, S.J., 1977, Cordilleran Benioff zones: Nature, 270, 403-406.

- Costanza, R., Daly H., 1992, Natural Capital and Sustainable Development, Conservation Biology. Vol. 6 No. 1: 37-46

- Cotler, H. (compiladora), 2010a. El manejo integral de Cuencas en México, estudios y reflexiones para orientar la política ambiental, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, Instituto Nacional de Ecología.

- Cotler, H. (coordinadora), 2010b. Las Cuencas Hidrográficas de México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, Instituto Nacional de Ecología.

- Couch, R. W., Ness, G. E., Sánchez-Zamora, O., Calderón-Riveroll, G., Doguin, P., Plawman, T., Coperude, S., Huehn, B., Gumma, W., 1991, Gravity anomalies and crustal structure of the Gulf and Peninsular Province of the Californias, en: Dauphin, J. P., Simoneit, B. R. T., (eds.), The Gulf and the Peninsular Province of the Californias: American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 47, 47-70.

- De Cserna, Z., Grat, J.L., Ortega-Gutiérrez, F., 1977, Alóctono del Paleozoico inferior en la región de Cd. Victoria, Estado de Tamaulipas: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1, 33-43.

- DeMets, C., Wilson, D. S., 1997, Relative motions of the Pacific, Rivera, North American, and Cocos plates since 0.78 Ma: Journal of Geophysical Research, 102, 2789-2806.

- DeMets, C., Traylen, S., 2000, Motion of the Rivera plate since 10 Ma relative to the Pacific and North American plates and the mantle: Tectonophysics, 318, 119-159.
- Dickinson, W. R., 1997, Tectonic implications of Cenozoic volcanism in coastal California: Geological Society of America Bulletin, 109, 936-954.
- Dieterich, H., 1997. Nueva Guía para la Investigación Científica, México, Ariel.
- Donell J.J., Woods R, 2004, On the need of catchment classification. Journal of Hydrology, 299: 2-3pp.
- Embleton, C., Thornes, J., 1979, Process in Geomorphology, Butler and Tanner Ltd, Londres, 13 p.
- Enríquez, E., Rivera, R., 2001, Timing of magmatic and hydrothermal activity in the San Dimas District, Durango, Mexico, en New Mines and Mineral Discoveries in Mexico and Central America, Society of Economic Geologists Special Publication, 8, 33-38.
- Eguiluz de Antuñano, S., Aranda-García, M., Marrett R., 2000, Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 53, 1-26.
- Ferrari, L., 1995, Miocene shearing along the northern boundary of the Jalisco block and the opening of the southern Gulf of California, *Geology*, 23, 751-754.
- Ferrari, L., Rosas-Elguera, J., 2000, Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco block, western Mexico: the Tepic-Zacoalco rift revise, *Geological Society America Special Paper* 334, 41-64.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G., Carrasco-Núñez, G., 1999, Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt, *Geology*, 27, 303-306.
- Fischer, M.P., Jackson, P.B., 1999, Stratigraphic controls on deformation patterns in fault-related folds: a detachment fold example from the Sierra Madre Oriental, northeast Mexico, *Journal of Structural Geology*, 21, 613-633.
- García, E., 1964, Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 90 p.

- Goes, S., van der Lee, S., 2002, Thermal structure of the North American uppermost mantle inferred from seismic tomography, *Journal of Geophysical Research*, 107p.
- Goldhammer, R.K., 1999, Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast Mexico, *en* Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F. (eds.), Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico, Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 340, 1-58.
- Goldhammer, R.K., Lehmann, P.J., Todd, R.G., Wilson, J.L., Ward, W.C., Johnson, C.R., 1991, Sequence stratigraphy and cyclostratigraphy of the Mesozoic of the Sierra Madre Oriental, northeast Mexico, Houston, Texas - New Orleans, Louisiana, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists , 85 p.
- González M.A., 2004, Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas, Boletín de la A.G.E. No. 38. 311-329 p.
- Grand, S. P., 1994, Mantle shear structure beneath the Americas and surrounding oceans: Journal of Geophysical Research, 99, 11591- 11621.
- Grimson, L., *et al.*, 2011, Practical Handbook for Wetland Identification and Delineation, CRC Press.
- Hardy, F., 1970, Suelos Tropicales, Sucesores, S.A., México, 150 p.
- Hausback, B. P., 1984, Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, Mexico, en Frizzell, A. (ed.), Geology of the Baja Peninsula: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Paper, 39, 219-236.
- Henry, C. D., Fredrikson, G., 1987, Geology of part of southern Sinaloa, Mexico, adjacent to the Gulf of California: Geological Society of America, Maps and Chart serie, MCH 063, 1 sheet, 14 p.
- Henry, C. D., McDowell, F. W., Silver, L. T., 2003, Geology and geochronology of the granitic batholithic complex, Sinaloa, México: Implications for Cordilleran magmatism and tectonics: Geological Society of America Special Paper, 374, 237-274.

- Hernández Santana, J. R., D. A. Lilienberg y R. González Ortiz, 1986, Regionalización morfoestructural de la Sierra Maestra y las depresiones circundantes, Rev. Ciencias Tierra y Espacio, pp. 36-48.

- Hernández, J.R., 1987, Geomorfología Estructural y Geodinámica reciente de Cuba Sudoriental, en la zona de interacción de la microplaca cubana y la fosa profunda de Bartlett, Instituto de Geografía, Academia de Rusia, Moscú.

- Hernández, J., M. Ortiz, J. Zamorano, 1996, Regionalización morfoestructural de la Sierra Madre del Sur, México, Investigaciones Geográficas Boletín Núm. 31, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 45-67.

- Horner, H., 1998, Structural Geology and Exploration in the San Dimas District, Durango, Mexico -An Alternative Geologic Model: Faculty of Natural Sciences, Universidad de Salzburg, 120 p.

- Horton R.E., 1945, Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, Geol. Soc. America Bull, 56: 275-280.

- Humphreys, E. D, Hessler, E., Dueker, K., Erslev, E., Farmer, G.L., Atwater, T., 2003, How Laramide-age hydration of North America by the Farallon slab controlled subsequent activity in the western U.S.: International Geology Review, 45, 575-595.

- Johnson, C. y C. Harrison, 1990, Neotectonic en Central Mexico, Phys Earth Planet. Int., 64, pp. 187-210.

- King, L.C., 1967, The Morphology of the Earth. A study and synthesis of World scenery, Oliver and Boyd, Edimburgo, 762 p.

- Kostenko, N., 1975, Geomorfología Estructural, Instituto de Geografía, U.N.A.M., México.

- Langenheim, V. E., Jachen, R. C., 2003, Crustal structure of the Peninsular Ranges batholith from magnetic data: Implications for Gulf of California rifting: Geophysical Research Letters, 30, 1597, DOI:10.1029/2003GL017159. Lanphere, M. A., Cameron, K. L., Cameron, M., 1980, Sr isotopic geochemistry of voluminous rhyolitic ignimbrites and related rocks, Batopilas area, western Mexico: Nature, 286, 594-596.

- López B., W. y R. Magdaleno G., 2009. La cuenca Hidrográfica: Un Concepto nuevo con Historia. Análisis y reflexiones para orientar su utilización. Libro Técnico No. 3. CECECH INIFAP.

- López-Ramos, E., 1995, Carta geológica de los estados de Jalisco y Aguascalientes, escala 1:750000, con resumen: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas Estatales.

- Llamas, J., 1993, Hidrología General, Principios y Aplicaciones, Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao, España, 402 p.

- Maldonado-Koerdell, M., 1970, Perspectivas y apreciación del área oaxaqueña en sus aspectos geodésicos, geofísicos y geomorfológicos y como ámbito humano, en Libro Guía de la excursión México-Oaxaca, Sociedad Geológica Mexicana, México, pp. 33-36.

- McDowell, F. W., Keizer, R. P., 1977, Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlán, Mexico, Geological Society of America Bulletin, 88, 1479-1487.

- McKee, J.W., Jones, N.W., Anderson, T.H., 1988, Las Delicias basin: A record of late Paleozoic arc volcanism in northeastern Mexico: Geology, 16, 37-40.

- Marret, R., Aranda-García, M., 1999, Structure and kinematic development of the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt, en Marrett, R., (ed.), Genesis and controls of reservoir-scale carbonate deformation, Monterrey salient, México: Austin, Texas, Bureau of Economic Geology, Guidebook, 28, 31-55.

- Michalzik, D., 1988, Trias bis tiefste Unter-Kreide der Nordostlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko—Fazielle Entwicklung eines passive Kontinental randes: Darmstadt, Hesse, Alemania, Technischen Hochschule Darmstadt, tesis doctoral, 247 p.

- Mitra, G., 1994, Strain variation in thrust sheets across the Sevier fold-and-thrust belt (Idaho- Utah-Wyoming): implications for section restoration and wedge taper evolution, Journal of Structural Geology, 16, 585– 602.

- Navarrete, M. D., 2004, Propuesta metodológica para el análisis territorial en le cuenca hidrográfica del Estero El Peral, Comuna de Carahue, IX Región. Universidad Católica de Temuco, Chile, Facultad de Ciencias Ambientales, Vol (6): 133-134 p.

- Nieto-Samaniego, A. F., Ferrari, L., Alaniz-Álvarez, S. A., Labarthe- Hernández, G., Rosas-Elguera, J., 1999, Variation of Cenozoic extension and volcanism across the southern Sierra Madre Occidental volcanic province, Mexico: Geological Society of America Bulletin, 111, 347-363.
- Orozco-Esquivel, M. T., Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Álvarez, S. A., 2002, Origin of rhyolitic lavas in the Mesa Central, Mexico, by crustal melting related to extension: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 118, 37-56.
- Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J., Centeno-García, E., 1995, Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic: Geology, 23, 1127-1130.
- Ortiz, M., 2012, Apuntes de Geomorfología, México.
- Ortiz, M., 2011. Algunos procedimientos para evaluar el arreglo de la estructura espacial en cuencas hidrográficas: como herramienta del análisis de su diversidad natural, 2do. Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Tabasco, México, D.F.
- Ortiz, M., 1990. Perfiles Geomorfológicos complejos, Instituto de Geografía, Serie Varia T. 1, Núm. 12, México, D.F.
- Ortuño Arzate, S., 1985, Geología del área de la Zacatera, Oaxaca, Facultad de Ingeniería, tesis de maestría, UNAM, México, 95 pp.
- Padilla y Sánchez, R.J., 1985, Las estructuras de la Curvatura de Monterrey, Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí, Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 6, 1-20.
- Pantoja-Alor, J., 1970, Rocas Sedimentarias paleozoicas de la parte centro-septentrional de Oaxaca, en Libro Guía de la excursión México-Oaxaca, Sociedad Geológica Mexicana, México, pp. 67-84.
- Parson, A.J., 1988, Hillslope Form, Routledge, Londres, 212 p.
- Persaud, P., 2003, Images of early continental breakup in and around the Gulf of California and the role of basal shear in producing wide plate boundaries, Ph.D. thesis, California Institute of Technology, 144 p.

- Ramírez-Ramírez, C., 1978, Reinterpretación tectónica del esquisto Granjeno de Ciudad Victoria, Tamaulipas: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 2, 31-36.
- Rojas S., R., 1981. El Proceso de la Investigación Científica, México, Trillas.
- Saavedra, J., 2001, Planificación Ambiental de los Recursos Forestales en la Región de la Araucanía, Chile, Definición de las Unidades Homogéneas de Gestión, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 342pp.
- Salvador, A., 1987, Late Triassic–Jurassic paleogeography and origin of Gulf of Mexico Basin, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 71, 419–451.
- Shumm, S., 1956, The fluvial system. A Wiley-interscience Publication, John Wiley and Sons, Inc., New York, 338 p.
- Smith, C.R., 1987, Provenance and depositional environments of the La Casita Formation, Sierra Madre Oriental southwest of Monterrey, northeastern Mexico, New Orleans, Louisiana, E.U.A., University of New Orleans, tesis de maestría, 143 p.
- Stewart J. H., 1998, Regional characteristics, tilt domains, and extensional history of the later Cenozoic Basin and Range Province, western North America, *en* Faulds J. E. y Stewart, J. H. (eds.), Accommodation Zones and Transfer Zones: The Regional Segmentation of the Basin and Range Province: Geological Society of America Special Paper, 323, 47-74.
- Stralher, A.H., 1989, Geografía Física, Ediciones Omega, Barcelona.
- Stock, J. M., (1993), Tectónica de placas y la evolución del bloque Jalisco, México, GEOS, Bol. Unión Geofísica Mexicana, México, vol. 13, 39 p.
- Throe, F.R., 1965, Landform equations fitted to contour maps, Am. J. Sci., 236p.
- Torres-Ramos, J.A., 2011, Análisis geométrico y cinemático del frente tectónico de la Sierra Madre Oriental entre los cañones La Boca y Santa Rosa, Estado de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de maestría, 117 p.

- Torres, R., Ruiz, J., Patchett, P.J., Grajales, J.M., 1999, Permo-Triassic continental arc in eastern Mexico: Tectonic implications for reconstruction of southern North America, en Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F. (eds.), Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico, Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 340, 191-196.
- Urrutia, J. 1980, Paleomagnetic studies of Mexican rocks, Ph.D. tesis, Univ. Of Newcastle upon Tyne, Inglaterra, 689 pp.
- Van der Lee, S., Nolet, G., 1997, Upper mantle S velocity structure of North America: Journal of Geophysical Research, 102, 22815–22838.
- Verdin K.L., Verdin J.P., 1999, A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins. Journal of Hydrology, 218: 1-12pp.
- Viramontes O, Escoboza L, Pinedo C, Pinedo A, Reyes V, Roman J, Perez A., 2008, Morfometria de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua.
- Wilkerson, M.S., Apotria, T., Farid, T., 2002, Interpreting the geologic map expression of contractional fault-related fold termination: lateral/oblique ramps versus displacement gradients, Journal of Structural Geology, 24, 593-607.
- Winker, C.D., Buffler, R.T., 1988, Paleogeographic evolution of early deep water Gulf of Mexico and margins, Jurassic to middle Cretaceous (Comanchean), American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 53, 318-346.
- Yamada S., 1999, Mountain ordering: A method for classifying mountains based on their morphometry, Earth Surface Process and Landforms, 24 p.
- Ye, H., 1997, The arcuate Sierra Madre Oriental orogenic belt, NE Mexico: Tectonic infilling of a recess along the Southwestern North America continental margin, en Structure, stratigraphy and paleontology of Late Cretaceous-Early Tertiary Parras-La Popa foreland basin near Monterrey, northeast Mexico, Dallas, Texas, American Association of Petroleum Geologists Field Trip, 10, 85-115.
- Zhou, Y., Murphy, M.A., Hamade, A., 2006, Structural development of the Peregrina-Huizachal anticlinorium, Mexico: Journal of Structural Geology, 28, 494-507

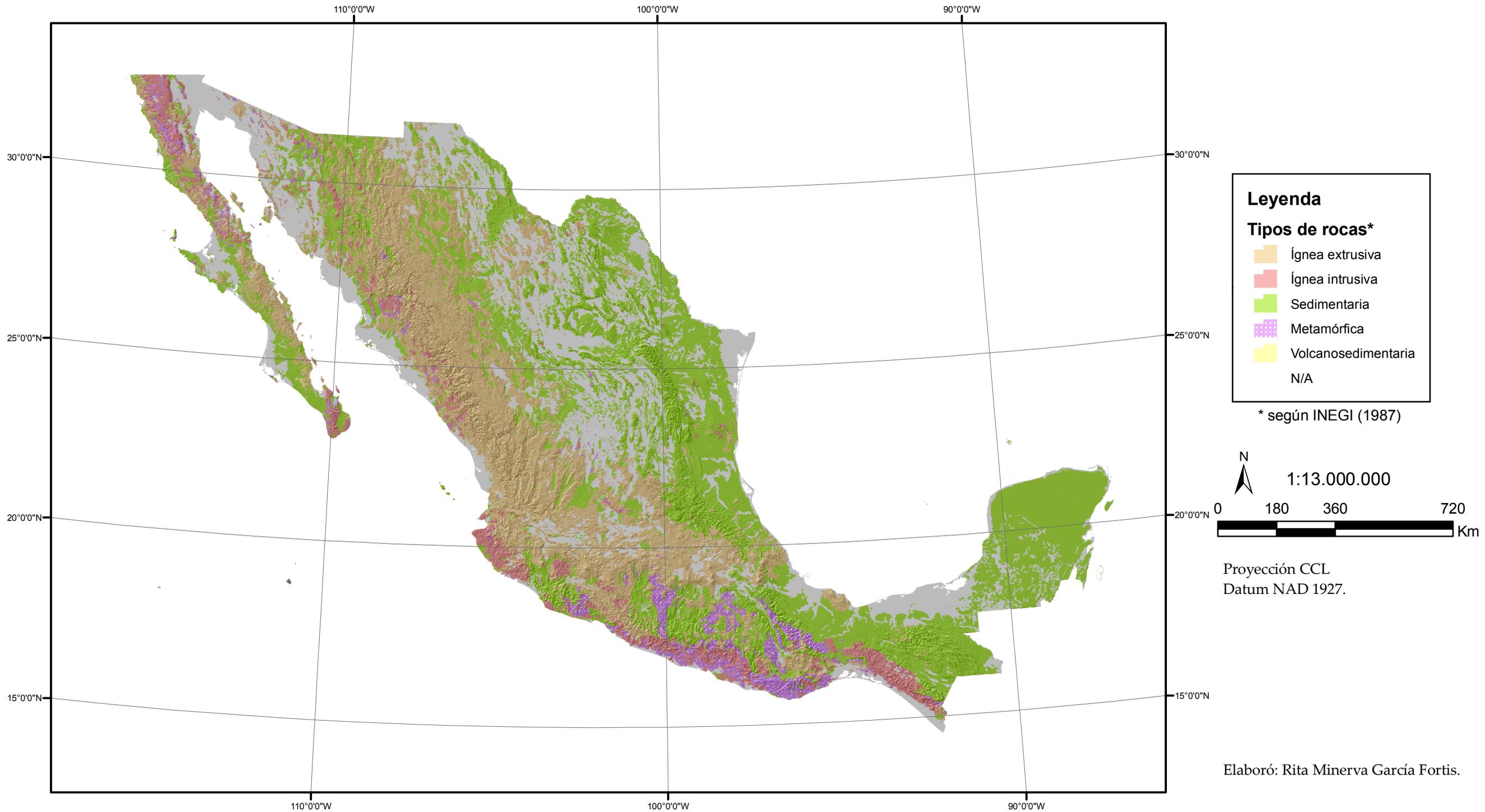
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- <http://educasitios.educ.ar/grupo068/?q=node/98>
 - <http://definicion.dictionarist.com/dextral>
 - http://hidraulica.umich.mx/laboratorio/images/man_pdf/7o/7_p4.pdf
 - http://old.ihr.uiowa.edu/~ricardo/papers/GeomTopol_CALI.pdf
 - <http://riunet.upv.es/handle/10251/10782>
 - <http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v1n3/data/5-morfometria-de-la-cuenca.pdf>
- http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/160/Sanchez_Orta_S_MC_Hidrociencias_2010.pdf?sequence=1
- <http://www.conagua.gob.mx/ocavm/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=510b0111-d204-4734-957a-a14f8064598c%7CConsejos%20de%20Cuenca%7C0%7C5%7C0%7C0%7C0>
 - <http://www.definicionabc.com/geografia/cuenca.php>
 - <http://www.geolatina.net/cuencasnicaragua/node/32>
 - <http://www.ine.gob.mx/cuencas-conceptos>
 - <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/452/bocco.html>
 - <http://www.selper-mexico.org.mx/XT%20PDF/HIDROLOGIA/HIDRO-01.pdf>
- [http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/bitstream/123456789/282/1/Balance+Hidrico+Superficial+Rio+Cascajal+\(Peru\).pdf](http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/bitstream/123456789/282/1/Balance+Hidrico+Superficial+Rio+Cascajal+(Peru).pdf)

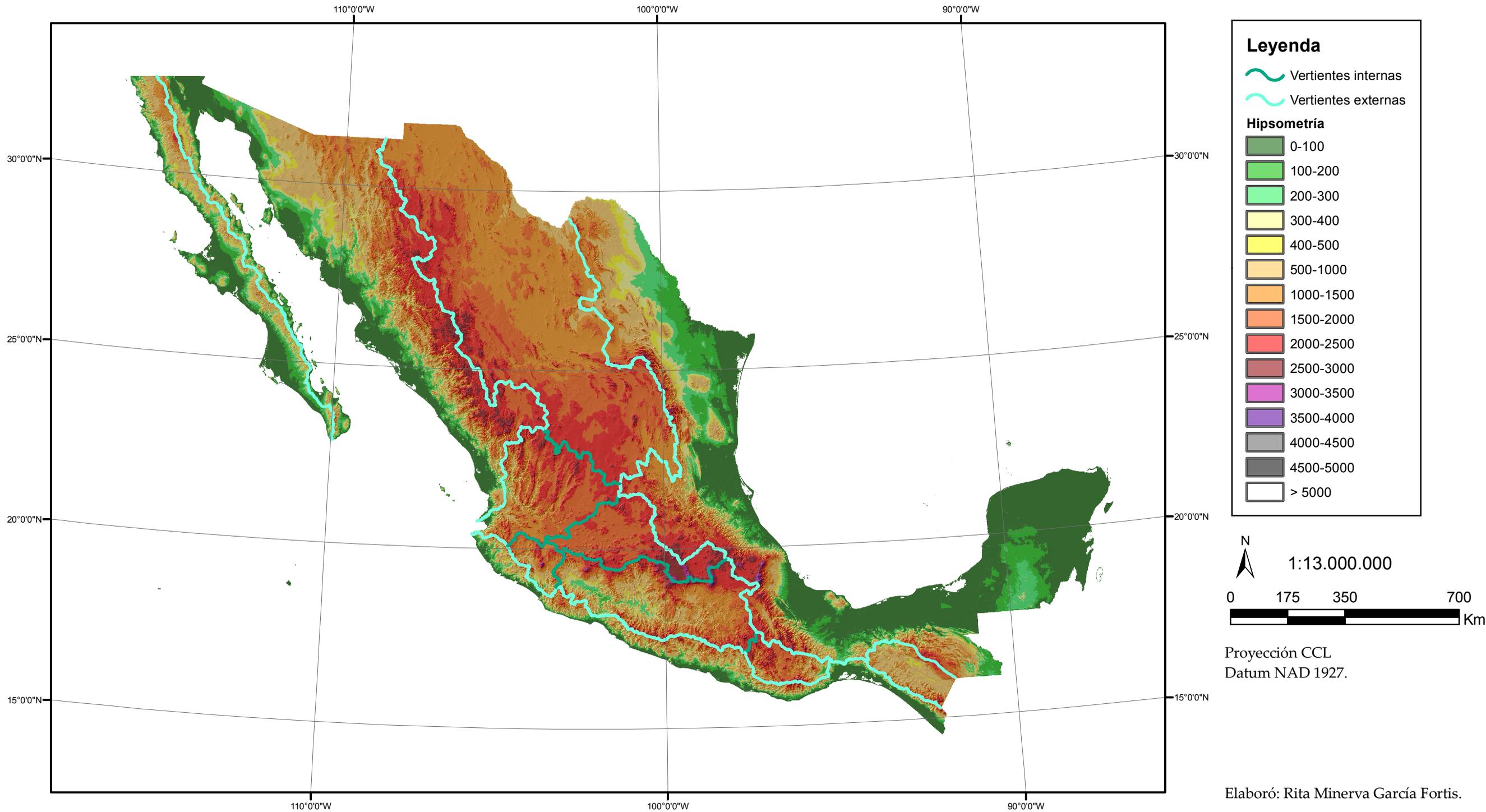
INSTITUCIONES CITADAS

- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional)
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua)
- Comisión Nacional de Irrigación
- Dirección de Aguas, Tierras y Colonización
- INE (Instituto Nacional de Ecología)
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática)
- IGg (Instituto de Geografía)
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos)
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos)
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales)
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

Mapa 1. Tipos de rocas



Mapa 2. Vertientes de México



Mapa 3. Ubicacion de Cuencas Hidrográficas del área de estudio.

