

**Informe final\* del Proyecto DQ006**  
**Ordenamiento ecológico territorial regional en los municipios donde se ubica el Parque Nacional Los Mármoles**

**Responsable:** Lic. Juan Randell Badillo  
**Institución:** Gobierno del Estado de Hidalgo  
Consejo Estatal de Ecología  
**Dirección:** José Ma Iglesias # 100, Centro, Pachuca de Soto, Hgo, 42000 , México  
**Correo electrónico:** [consejo1@prodigy.net.mx](mailto:consejo1@prodigy.net.mx)  
**Teléfono/Fax:** Tel.: 01 (771) 71 8 63 77  
**Fecha de inicio:** Mayo 09, 2008  
**Fecha de término:** Noviembre 17, 2008  
**Principales resultados:** Cartografía, Informe final, Memoria fotográfica  
**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Randell Badillo, J. 2008. Ordenamiento ecológico territorial regional en los municipios donde se ubica el Parque Nacional Los Mármoles. Consejo Estatal de Ecología. **Informe final SNIB-CONABIO** proyecto No. DQ006. México D. F.

**Resumen:**

Proyecto financiado con recursos aportados por Pemex - PEP La región de estudio comprende una superficie de 2028 km<sup>2</sup> correspondiente a los municipios de Jacala de Ledezma, Nicolas Flores, Pácula y Zimapan, que se localizan al Oeste del Estado de Hidalgo, cuenta con una población de 62,751 habitantes dentro de la cual se ubica el Área Natural Protegida Parque Nacional Los Mármoles, destinado a la perpetua conservación de los recursos forestales y de la fauna silvestre, se ubica en la región que comprende la Barranca de "San Vicente" y "Cerro de Cangandhó". La región presenta una problemática ambiental ocasionada por diferentes factores, como la explotación minera sin regulación, el asentamiento de localidades de manera desordenada, cambios de uso de suelo (forestal-agrícola, forestal-ganadero y forestal-urbano, entre otros), sobrepastoreo, cacería furtiva, tala ilegal, incendios y plagas forestales. Cabe hacer mención que desde 1966 en diversas partes del Parque Nacional se realiza la explotación de mármol (carbonato de calcio) de manera ilegal, por lo que se ha provocado un impacto severo en el ecosistema. Para dar solución a los problemas generados por la ocupación y el uso desordenado del territorio de esta región, se planteó la formulación del Ordenamiento Ecológico Territorial a fin de definir y orientar acciones que hagan posible un uso racional del territorio, sin perder de vista las condiciones propias que caracterizan esta categoría de Área Natural Protegida.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

<b>I</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>I.1</b>	<b>Justificación</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2</b>	<b>Problemática regional</b> .....	<b>2</b>
<b>II</b>	<b>MARCO JURIDICO Y ADMINISTRATIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>II.1</b>	<b>Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos</b> .....	<b>3</b>
<b>II.2</b>	<b>Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)</b> .....	<b>5</b>
<b>II.3</b>	<b>Ley de Planeación</b> .....	<b>6</b>
<b>II.4</b>	<b>Ley General de Asentamientos Humanos</b> .....	<b>6</b>
<b>II.5</b>	<b>Leyes complementarias federales</b> .....	<b>7</b>
II.5.1	Áreas Naturales Protegidas .....	7
<b>II.6</b>	<b>Ley Para la Protección al Ambiente en el Estado de Hidalgo (POE 21/06/04)</b> .....	<b>8</b>
<b>II.7</b>	<b>Ley de Planeación para el Desarrollo del Estado de Hidalgo (POE 24/11/03)</b> .....	<b>8</b>
<b>III</b>	<b>CARATERIZACIÓN DEL MEDIO NATURAL</b> .....	<b>9</b>
<b>III.1</b>	<b>Localización y extensión territorial</b> .....	<b>9</b>
<b>III.2</b>	<b>Relieve</b> .....	<b>10</b>
III.2.1	Descripción .....	11
<b>III.3</b>	<b>Geología</b> .....	<b>16</b>
<b>III.4</b>	<b>Provincias geológicas</b> .....	<b>16</b>
III.4.1	Geología regional .....	17
III.4.2	Estratigrafía .....	19
<b>III.5</b>	<b>Yacimientos Minerales Metálicos</b> .....	<b>25</b>
<b>III.6</b>	<b>Modelo de yacimientos</b> .....	<b>26</b>
<b>III.7</b>	<b>Yacimientos Minerales No Metálicos</b> .....	<b>26</b>
III.7.1	Calizas y Mármoles .....	27
<b>III.8</b>	<b>CLIMA</b> .....	<b>28</b>
III.8.1	Metodología .....	28
III.8.2	Tipos de clima de la región .....	28
III.8.3	Dinámica climática .....	31
III.8.4	Temperaturas máximas .....	32
III.8.5	Temperaturas mínimas .....	33
III.8.6	Temperaturas promedio .....	33
III.8.7	Precipitación pluvial anual .....	34
III.8.8	Heladas (días al año) .....	34
III.8.9	Zonificación climática .....	35
<b>III.9</b>	<b>AIRE</b> .....	<b>35</b>
III.9.1	Introducción .....	35
III.9.2	Fenómenos atmosféricos en relación a las actividades antropogénicas .....	36
III.9.3	Orografía .....	36
III.9.4	Inversión térmica .....	36
III.9.5	Fuentes de emisiones a la atmósfera .....	36
<b>III.10</b>	<b>SUELO</b> .....	<b>41</b>
III.10.1	Introducción .....	41
III.10.2	Clasificación .....	42
<b>III.11</b>	<b>HIDROLOGÍA</b> .....	<b>49</b>
III.11.1	Introducción .....	49
III.11.2	Hidrología superficial .....	49
III.11.3	Hidrología subterránea .....	60
<b>III.12</b>	<b>FLORA Y VEGETACIÓN</b> .....	<b>68</b>
III.12.1	Introducción .....	68
III.12.2	Vegetación del área de estudio .....	70
III.12.3	Distribución de los tipos de vegetación .....	71
III.12.4	Descripción del uso y los tipos de vegetación .....	73
III.12.5	Registros de flora y estatus NOM-059-SEMARNAT 2001 .....	81
III.12.6	Flora útil .....	82
<b>III.13</b>	<b>FAUNA</b> .....	<b>83</b>

III.13.1	Introducción.....	83
III.13.2	Especies en riesgo .....	84
III.13.3	Distribución de la fauna.....	86
III.13.4	Distribución de otras especies .....	90
<b>III.14</b>	<b>Áreas Naturales Protegidas .....</b>	<b>91</b>
III.14.1	Introducción.....	91
III.14.2	Parque Nacional Los Mármoles .....	92
III.14.3	Sierra Gorda - Río Moctezuma.....	93
III.14.4	Confluencia de las Huastecas: .....	93
<b>III.15</b>	<b>Regionalización Ecológica.....</b>	<b>94</b>
III.15.1	Introducción.....	94
III.15.2	Metodología y Desarrollo .....	95
<b>III.16</b>	<b>Caracterización Social.....</b>	<b>105</b>
III.16.1	Ocupación del Espacio .....	105
III.16.2	Población, Asentamientos Humanos e Infraestructura Social .....	106
III.16.3	Dinámica demográfica.....	107
III.16.4	Población económicamente activa.....	124
III.16.5	Disponibilidad de equipamiento y servicios .....	129
III.16.6	Uso y Tenencia de la Tierra.....	137
III.16.7	La economía y las actividades productivas .....	139
<b>IV</b>	<b>DIAGNOSTICO AMBIENTAL.....</b>	<b>151</b>
<b>IV.1</b>	<b>Consideraciones Generales. ....</b>	<b>151</b>
<b>IV.2</b>	<b>Evaluación del Potencial y Compatibilidad de Uso del Paisaje. ....</b>	<b>152</b>
IV.2.1	Aspectos Abióticos .....	152
<b>IV.3</b>	<b>SUELOS.....</b>	<b>155</b>
IV.3.1	Potencialidad de los Suelos .....	156
IV.3.2	Erosión (Tabla IV.7) (Figura IV.5).....	164
<b>IV.4</b>	<b>HIDROLOGÍA.....</b>	<b>168</b>
IV.4.1	Disponibilidad .....	168
IV.4.2	Calidad del Recurso Hídrico.....	170
IV.4.3	Hidrología Subterránea.....	172
IV.4.4	Factores limitantes de uso y eficiencia de agua .....	173
<b>IV.5</b>	<b>Aire.....</b>	<b>173</b>
IV.5.1	Análisis del comportamiento del viento. ....	173
IV.5.2	Dispersión de contaminantes .....	177
<b>IV.6</b>	<b>Calidad de los Recursos Naturales .....</b>	<b>180</b>
IV.6.1	Calidad Ecológica (FIGURA IV.8 y TABLA IV.26).....	180
IV.6.2	Condición de la calidad ecológica en los cuatro municipios (Figura IV.8) .....	181
IV.6.3	Fragilidad Natural (Tabla IV.28).....	183
<b>IV.7</b>	<b>Aspectos Bióticos.....</b>	<b>186</b>
IV.7.1	Pérdida de la Biodiversidad.....	186
IV.7.2	Índice de Riqueza de Especies de la NOM-059-SEMARNAT-2001 .....	188
IV.7.3	Cambio de Uso de Suelo y Vegetación .....	189
IV.7.4	Deforestación.....	194
<b>IV.8</b>	<b>Peligros y Amenazas Naturales.....</b>	<b>195</b>
IV.8.1	Deslizamientos .....	196
IV.8.2	Caída de Rocas o Derrumbes.....	199
IV.8.3	Hundimientos .....	200
IV.8.4	Inundaciones.....	201
IV.8.5	Áreas Sísmicas .....	202
IV.8.6	Volcanes Activos.....	204
<b>V</b>	<b>DIAGNOSTICO SOCIOECONÓMICO.....</b>	<b>206</b>
<b>V.1</b>	<b>Evaluación del desarrollo urbano regional y dinámica de las actividades productivas</b>	<b>206</b>
V.1.1	Desarrollo urbano e infraestructura .....	206
V.1.2	Dinámica de las actividades productivas.....	218
<b>VI</b>	<b>PRONÓSTICO.....</b>	<b>225</b>
<b>VI.1</b>	<b>Consideraciones Generales .....</b>	<b>225</b>
<b>VI.2</b>	<b>Escenario Tendencial.....</b>	<b>226</b>
VI.2.1	Evaluación del potencial actual del suelo de las ecorregiones.....	226
VI.2.2	Socioeconómico .....	229

VI.2.3	Escenario Contextual y Estratégico .....	236
<b>VI.3</b>	<b>Pronostico Integrado .....</b>	<b>243</b>
<b>VII</b>	<b>PROPUESTA DEL MODELO DE ORDENAMIENTO .....</b>	<b>247</b>
VII.3.1	Aprovechamiento .....	249
VII.3.2	Conservación .....	249
<b>IX</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>291</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA (anexo) .....</b>	<b>294</b>

# I

## I INTRODUCCIÓN

Es necesario considerar a nuestro país no como el inagotable e inexplorado cuerno de la abundancia, sino reconocerlo como un gran recurso al que, sin embargo, podríamos destruir sin haberlo aprovechado cabalmente para el crecimiento y el bienestar de sus habitantes.

Nuestro país es considerado entre los 12 países con mayor diversidad biológica en el mundo. Asimismo, goza de una gran riqueza en metales como plata (primer productor mundial), níquel y cadmio (cuarta y quinta reservas más grandes en el mundo, respectivamente), petróleo (tercera reserva mundial) y cobre (sexto productor del mundo), además de contar con valiosos y muy variados ecosistemas de montaña, marinos y costeros.

Sin embargo, la enorme riqueza natural de México ha sido utilizada en forma irracional al seguir un modelo de crecimiento económico basado en una continua extracción de los recursos naturales por considerarlos infinitos y por suponer que el entorno natural tiene la capacidad de asimilar cualquier tipo y cantidad de contaminación. Esta actitud ha resultado en una severa pérdida y degradación de nuestros recursos y del entorno natural, porque la estrategia de desarrollo económico no ha sido sustentable. De no revertirse esta tendencia en el corto plazo, estará en peligro el capital natural del país, que es la base de nuestro proyecto de desarrollo.

El crecimiento demográfico y la urbanización desordenada han sido factores determinantes en la erosión y tala de bosques. Por su parte, la expansión de industrias generadoras de emisiones de carbono y otros contaminantes repercute directa o indirectamente en el cambio climático.

Otro efecto grave del crecimiento demográfico sobre el medio ambiente se refleja en la contaminación y en el dispendio de agua que alcanza niveles críticos.

En el año 2000 México presenta altos niveles de degradación ambiental, como se muestra en los siguientes ejemplos:

El país pierde 600 000 hectáreas de bosque anualmente y experimenta una tasa anual de deforestación de 1.5 por ciento.

De las 100 cuencas hidrológicas del país, 50 están sobreexplotadas, y extensas regiones del país tienen problemas de abasto de agua.

Las selvas tropicales de México han disminuido 30% en los últimos 20 años.

Se han extinguido 15 especies de plantas y 32 de vertebrados en México. En nuestro país se han dado 5.2% de las extinciones del mundo en los últimos 400 años.

La contaminación del aire y del agua en las grandes ciudades del país ha alcanzado niveles tales que tienen efectos negativos sobre la salud y el bienestar de la población.

México lanza a la atmósfera más de 460 000 toneladas de gases de desecho y se estima una producción anual de 3 705 000 toneladas de residuos peligrosos.

La degradación de los recursos naturales del país y la creciente generación de contaminantes representan una pérdida neta del capital natural, así como una disminución importante de nuestro potencial para promover un desarrollo económico que permita satisfacer las necesidades básicas de la población.

El medio ambiente es prioritario. Se trata de un mandato social, de una convicción de gobierno, de una estrategia para el crecimiento de largo plazo y, finalmente, de un requerimiento ético y comercial de la nueva convivencia internacional. El medio ambiente es una prioridad para el Ejecutivo Federal y Estatal y para sus respectivos Planes de Desarrollo, toda vez que el desarrollo de la nación y del Estado no será sustentable si no se protegen los recursos naturales con que contamos.

Se ha visto cómo la degradación del capital natural del planeta ha producido cambios climáticos que afectan negativamente a las actividades humanas, y ello confirma la necesidad de conservar de manera racional los recursos naturales de nuestro país.

### I.1 Justificación

El Parque Nacional “Los Mármoles” (PNLM), localizado en la confluencia de los municipios de Jacala de Ledesma, Nicolás Flores, Pacula y Zimapán, en el Estado de Hidalgo, fue declarado como Área Natural Protegida en el decreto publicado el 8 de septiembre de 1936 en el Diario Oficial de la Federación, por el, entonces Presidente de la República, General Lázaro Cárdenas del Río.

El Parque Nacional Los Mármoles se encuentra enclavado en la Meseta Central de la República mexicana y cuyo brazo alimentador en la Sierra Madre Oriental. No existen zonas de valles ni

---

cuenas que pudieran servir de planicie, por el contrario se tiene un terreno accidentado, muy agreste en donde el rango de altitudes va de los 1060 a los 2820 msnm, es decir 1760 m en diferencia de altura, pendientes con mas de 60 y 70° de inclinación. Existen cerros como La Veguita (1940 msnm), Apezco (2000 msnm) y Cagandhó (2820 msnm) y las Barrancas de: Adjunta, El Salto, Chalma, Milpas, Huizache, Peña Blanca, El Tule, El Rico y San Vicente.

Las zonas más accidentadas son las que tienen mejor cubierta vegetal como lo son el centro del Parque en donde barrancas como San Vicente y Las Milpas lo ejemplifican. Sin embargo en la parte sur los problemas de erosión pluvial aunado a la orografía, tipo de suelo, drenaje han ocasionado un paisaje agreste y poco fértil. Esto último corresponde al municipio de Nicolás Flores.

Tanto la declaratoria como las disposiciones del Artículo 50 dicta: “Los Parques nacionales se constituirán, tratándose de representaciones biogeográficas, a nivel nacional, de uno o más ecosistemas que se signifiquen por su belleza escénica, su valor científico, educativo, de recreo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o bien por otras razones análogas de interés general. En los Parques nacionales sólo podrá permitirse la realización de actividades relacionadas con la protección de sus recursos naturales, el incremento de su flora y fauna y en general, con la preservación de los ecosistemas y de sus elementos, así como con la investigación, recreación, turismo y educación ecológicos”.

Sin embargo, la categoría que ostenta “Los Mármoles”, no permite la explotación y el beneficio económico del mármol legalmente, de donde toma su nombre el Parque. No existe una alternativa dada por la Ley de ANP para poder hacer compatibles las políticas de explotación con la conservación, es decir, no se da pauta para un desarrollo sustentable.

La explotación del mármol es una actividad que se ha realizado en el Parque desde hace más de treinta y cinco años, principalmente en los terrenos comunales de “La Encarnación” y “Villa Juárez”, así como en algunos terrenos de pequeños propietarios. Los sistemas rústicos de explotación de baja eficiencia empleados por los habitantes de estas comunidades han generado impactos ambientales graves y acumulativos al entorno.

Derivado de situación anteriormente expuesta, y en atención a diversas denuncias ciudadanas presentadas por lo habitantes de la comunidad de La Encarnación, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), inició el 7 de marzo de 2001 hasta el 22 de agosto de 2002 una serie de inspecciones que convergieron en sanciones, suspensiones y clausuras.

El 5 de septiembre de 2002 se reunieron los titulares la Procuraduría Federal para la Protección al Ambiente (PROFEPA), Consejo Estatal de Ecología del Gobierno del Estado de Hidalgo (COEDE) y de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) con el propósito de plantear estrategias y alternativas de solución a la problemática del Parque Nacional Los Mármoles (PNLM), acordando que es necesario resolver la situación legal del Parque, considerar una recategorización o replantear la redefinición y excluir las áreas productoras de carbonato de calcio.

Como parte de las estrategias planteadas, el 9 de septiembre de 2002 se llevó a cabo la primera reunión de Coordinación Interinstitucional para tratar lo relacionado con el Parque, acordando la integración de los actores y sectores vinculados con la problemática por medio de la conformación de una Mesa Interinstitucional para definir el Plan de Acción de Regularización y Reordenamiento del Parque Nacional “Los Mármoles”, instaurada en sesión de trabajo realizada el 27 de septiembre de 2002.

Por lo anteriormente dicho, se firmo un convenio de colaboración entre el Gobierno del Estado de Hidalgo representado por el Consejo Estatal de Ecología con el Consejo de Recursos Minerales dependiente del Poder Ejecutivo Federal. Dicho convenio de colaboración establece la base para realizar el Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Los Mármoles que comprende el Parque Nacional Los Mármoles y la totalidad de la superficie de los municipios que lo integran, como son: Jacala de Ledezma, Nicolás Flores, Pacula y Zimapán. Lo anterior se debe a que el problema no esta focalizado sino regionalizado.

El presente estudio estuvo a cargo del Consejo de Recursos Minerales actualmente Servicio Geologico Mexicano y ejecutado directamente por la Gerencia de Geología Ambiental.

## **I.2 Problemática regional**

La dicotomía moderna entre beneficio económico y conservación tiene una buena representación en el Parque Nacional “Los Mármoles”. Los problemas giran en torno a la extracción de carbonato de calcio (marmolina) para exportarlo del municipio y cuyo beneficio económico directo es casi nulo.

---

El avance en las tecnologías de prospección, exploración, explotación y procesamiento de minerales, ha generado un incremento de conflictos entre el uso de los recursos no renovables y su conservación, propiciando una renuente aceptación internacional para la incursión de la minería en ciertas categorías de ANP's bajo estrictas condiciones de planeación, operación, monitoreo y restauración.

La explotación del mármol, por su propia naturaleza minera, prioriza la explotación de los recursos sobre la conservación del medio. Los problemas con un énfasis mayúsculo son:

- Explotación del mármol dentro PNLN.
- Existencia de un Área Natural Protegida.
- Extracción del recurso mineral agresivamente al ambiente.
- Incertidumbre jurídica-ambiental en la explotación del mármol.
- Inexistencia de un Plan de Manejo del PNLN.
- Falta de una delimitación de la Zona de influencia del PNLN
- Degradación y eliminación de los recursos forestales.
- Falta de fuentes de empleo alternativos a la minería.
- Inexistencia de instrumentos de planeación al sector minero y ambiente.
- Agotamiento de los acuíferos y falta del recurso agua.

La elaboración e instrumentación del ordenamientos ecológicos permitirá, entre otros logros, facilitar la evaluación de proyectos de impacto ambiental, aportar información para la definición de programas de manejo de áreas naturales protegidas y apoyar la realización de programas para el desarrollo regional sustentable, al proporcionar elementos de carácter regional básicos para la toma de decisiones en el ámbito de planeación.

Aunque en México existen pocos ordenamientos ecológicos formalizados y operando, indudablemente es uno de los instrumentos de política ambiental más importantes, por tanto el sector público minero deberá mantener su participación en la elaboración de los mismos, sobre todo en aquellas regiones donde se ubican o existen potencialmente recursos minerales, atendiendo al propósito de asegurar que se considere su posible aprovechamiento, sin menoscabo de que estos ocurran bajo las condiciones de protección ambiental que establezcan las autoridades ambientales.

El Plan Nacional de Desarrollo, dicta: "Para asegurar un desarrollo sustentable se difundirá información para promover una cultura en la que se respete el medio ambiente; se apoyará a instituciones dedicadas a la conservación del medio ambiente; se reglamentará el uso y la explotación de acuíferos para optimizar su uso y conservar este recurso; se fomentará la adopción de procesos productivos limpios; se aplicarán políticas de respeto al medio ambiente en las empresas paraestatales. Además, se incorporarán nuevas áreas naturales a un régimen de protección y conservación, promoviendo alternativas económicas para sus pobladores y se fomentarán las unidades de manejo ambiental sustentable, que contribuyan a conservar, promover y facilitar la biodiversidad, a disminuir las probabilidades de degradación de ecosistemas y especies en riesgo de extinción y a fomentar la recuperación de especies de alto significado ecológico, simbólico y económico para las identidades regional y nacional".

## II MARCO JURIDICO Y ADMINISTRATIVO

### II.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

El ordenamiento del territorio (OT), es un instrumento normativo básico o de primer piso, que permite orientar el emplazamiento geográfico de las actividades productivas, así como las modalidades de uso de los recursos y servicios ambientales, lo cual le convierte en un cimiento de la política ecológica; es decir es un instrumento de planeación de la política nacional.

El ordenamiento ecológico (OE) se define jurídicamente como: "El instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos". (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Título Primero, Art.3 Párrafo XXIII).

Sin embargo las bases y sustento de lo que conlleva y abarca un Ordenamiento Ecológico

---

Territorial (OET), esta en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, como instrumento máximo y rector de las conductas, obligaciones y beneficios de los mexicanos establece que, en lo referente al tema:

*...“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar (Artículo 4, Párrafo IV)”.*

En sus artículos 25, 26 y 27, establece los principios de planeación y ordenamiento de los recursos naturales en función de impulsar y fomentar el desarrollo productivo con la consigna de proteger y conservar el medio ambiente. Se establece la participación de los diversos sectores de la sociedad y la incorporación de sus demandas en el plan y los programas de desarrollo.

*...“El Estado planeará, conducirá, coordinará y orientará la actividad económica nacional, y llevará al cabo la regulación y fomento de las actividades que demande el interés general en el marco de libertades que otorga esta Constitución (Artículo 25, Párrafo II)”.*

*...“Bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente (Artículo 25, Párrafo VI)”.*

Este precepto es el apoyo constitucional para establecer modalidades a la actividad industrial, por ejemplo, la reubicación de empresas que afecten a centros poblacionales.

*...“Los fines del proyecto nacional contenidos en esta Constitución determinarán los objetivos de la planeación. La planeación será democrática. Mediante la participación de los diversos sectores sociales recogerá las aspiraciones y demandas de la sociedad para incorporarlas al plan y los programas de desarrollo. Habrá un Plan Nacional de Desarrollo al que se sujetarán obligatoriamente los programas de la Administración Pública Federal (Artículo 26, Párrafo II)”.*

*...“La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico; para el fraccionamiento de los latifundios; para disponer, en los términos de la ley reglamentaria, la organización y explotación colectiva de los ejidos y comunidades; para el desarrollo de la pequeña propiedad rural; para el fomento de la agricultura, de la ganadería, de la silvicultura y de las demás actividades económicas en el medio rural, y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad (Artículo 27, Párrafo III)”.*

Es decir, la explotación de los recursos naturales de cualquier índole, en modalidad de la propiedad privada, regulará el aprovechamiento de dichos recursos y la conservación de los mismos por medio de políticas de ordenamiento y uso de suelo para finalmente preservar y restaurar el equilibrio ecológico, con ello, que la nación logre un desarrollo equilibrado y sustentable del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.

Los artículos 73, 115 y 124 definen las facultades tanto de la Federación, como de los municipios y de los estados en diferentes rubros, así como en el ámbito ambiental.

*...“El Congreso tiene facultad de:*

Para dictar leyes sobre nacionalidad, condición jurídica de los extranjeros, ciudadanía, naturalización, colonización, emigración e inmigración y salubridad general de la República (Artículo 73, Fracción XVI)

Las medidas que el Consejo haya puesto en vigor en la campaña contra el alcoholismo y la venta de sustancias que envenenan al individuo o degeneran la especie humana, así como las adoptadas para prevenir y combatir la contaminación ambiental, serán después revisadas por el Congreso de la Unión en los casos que le competan (Artículo 73, Fracción XVI, Cláusula 4ª).

Para expedir las leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, de los Estados y de los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de asentamientos humanos, con objeto de cumplir los fines previstos en el párrafo tercero del artículo 27 de esta Constitución (Artículo 73, Fracción XXIX-C);

Para expedir leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de

---

los Estados y de los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico (Artículo 73, Fracción XXIX-G)".

Cabe señalar que el texto es el mismo en ambas fracciones, como consecuencia, los temas ecológicos y de asentamientos humanos son de orden general, debiendo instrumentarse por los tres niveles de gobierno, conforme a su ámbito de competencia y recursos disponibles para brindar soluciones integrales a dichos enunciados.

...*"Los Municipios, en los términos de las leyes federales y Estatales relativas, estarán facultados para:*

*Formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal;*

*Participar en la creación y administración de sus reservas territoriales;*

*Participar en la formulación de planes de desarrollo regional, los cuales deberán estar en concordancia con los planes generales de la materia. Cuando la Federación o los Estados elaboren proyectos de desarrollo regional deberán asegurar la participación de los municipios;*

*Autorizar, controlar y vigilar la utilización del suelo, en el ámbito de su competencia, en sus jurisdicciones territoriales;*

*Intervenir en la regularización de la tenencia de la tierra urbana;*

*Participar en la creación y administración de zonas de reservas ecológicas y en la elaboración y aplicación de programas de ordenamiento en esta materia (Artículo 115, Fracción V)".*

...*"Las facultades que no están expresamente concedidas por esta Constitución a los funcionarios federales, se entienden reservadas a los Estados (Artículo 124).*

La Constitución pone de manifiesto y de forma indiscutible que la preservación del medio ambiente, llevando implícito el OE, es una responsabilidad integral y de los tres niveles de gobierno, de donde los instrumentos de planeación están dados para la instrumentación de políticas de protección y equilibrio ecológico. El OET en cualquier orden de gobierno es el instrumento idóneo para llevar a cabo y ejecutar lo explícitamente dicho por la Constitución.

## **II.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)**

Reglamentaria de las disposiciones constitucionales en lo relativo a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección del ambiente en el territorio nacional y en las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción; sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable.

La aplicación de la LGEEPA, está enmarcada en los artículos: 1, 2, 3, 5, 7, 8, 15, 16, 17, 18, 19, 19 BIS, 20, 20 BIS, 20 BIS1, 20 BIS2, 20 BIS3, 20 BIS4, 20 BIS5, 20 BIS6, 20 BIS7 y 23.

En los artículos 1, 2 y 3 de la LGEEPA se definen y establecen las bases para la formulación del ordenamiento ecológico, considerándolo de interés y utilidad pública y social. A partir de lo anterior, la LGEEPA establece claramente el vínculo jurídico entre el ordenamiento ecológico y la planeación nacional, pues en su artículo 17 indica la obligatoriedad de la observancia de este instrumento en el esquema de planeación nacional del desarrollo.

Por último la LGEEPA en su capítulo IV, Sección I "Planeación Ambiental", en el artículo 19, establece los criterios que deben considerarse en la formulación del Ordenamiento Ecológico y en el 19 BIS, se establece las modalidades de los programas de ordenamiento ecológico (General del Territorio, Regionales, Locales y Marinos). Los artículos 20 al 20 BIS 7 establece las instancias y los órdenes de gobierno a quienes compete la formulación de las diferentes modalidades del Ordenamiento Ecológico así como los objetivos que deben cumplir dichos programas.

Cabe señalar que en los casos de:

- Programas de Manejo de Áreas Naturales Protegidas.
- Programas de Restauración.
- Programas de Protección Ambiental.

Son instrumentos adjuntos de planeación que requieren utilizar la técnica de ordenamiento ecológico y que la LGEEPA contiene un mecanismo de declaratoria a través del cual el Ejecutivo Federal establece formalmente a partir de un decreto dichas áreas.

La LGEEPA, es apoyada por una serie de reglamentos que manejan temas transversales:

---

- Reglamento de la LGEEPA en materia de Áreas Naturales Protegidas.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Ordenamiento Ecológico.

Por lo tanto, el ordenamiento permite orientar el emplazamiento geográfico de las actividades productivas, así como las modalidades de uso de los recursos y servicios ambientales integralmente, lo cual lo convierte en un cimiento de la política ecológica. Además, se trata de un instrumento normativo básico, sobre el cual se encuentran asociados otros instrumentos que no pueden tomar en cuenta impactos o efectos acumulativos.

El ordenamiento ecológico está regulado por disposiciones dispersas en un gran número de leyes y reglamentos que abarcan aspectos administrativos, civiles, penales, ecológicos, territoriales, económicos, procedimentales e internacionales; así como ámbitos de competencia de los tres niveles de gobierno.

La formulación correcta y mínima del Ordenamiento Ecológico Regional se establece en el Capítulo Cuarto del Reglamento de la LGEEPA en materia de Ordenamiento Ecológico.

### II.3 Ley de Planeación

Para el caso del OE la LGEEPA señala que el programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio será formulado por la Secretaría, en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática y tendrá por objeto determinar:

La regionalización ecológica del territorio nacional y de las zonas sobre las que la nación ejerce soberanía y jurisdicción, a partir del diagnóstico de las características, disponibilidad y demanda de los recursos naturales, así como de las actividades productivas que en ellas se desarrollen y de la ubicación y situación de los asentamientos humanos existentes.

Los lineamientos y estrategias ecológicas para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como para la localización de actividades productivas y de los asentamientos humanos.

La formulación, expedición, ejecución y evaluación del Ordenamiento Ecológico General del Territorio se llevará a cabo de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Planeación.

En este sentido la Ley de Planeación establece en el Capítulo Cuarto, que el Plan Nacional de Desarrollo (2001-2006) indica los programas sectoriales, institucionales, regionales y especiales que fueron elaborados. Para el caso de OE este es parte del programa de medio ambiente que es un programa sectorial.

Sin embargo, cabe señalar que el OE no es un programa que pueda clasificarse dentro de los que contiene la Ley de Planeación, ya que para ella este tipo de programas no forma parte del esquema del Sistema Nacional de Planeación Democrática (Art. 19), sino que son programas que tienen más la característica de reguladores de usos y actividades que exceden, en tiempo y espacio a la planeación tradicional.

En el OE se presentó la incongruencia en estas dos leyes, la de Planeación y la LGEEPA; esta última nos remite a la primera, debido a que la forma en que la LGEEPA concibe a los programas de OE es distinta a la concepción de los programas que consagra la Ley de Planeación. Es aquí, donde se faculta al Estado de Hidalgo para cubrir con su propia Ley Estatal de Planeación Para el Desarrollo y la Ley Para la Protección al Ambiente en el Estado de Hidalgo; los faltantes legales y controversias que se pudieran suscitar.

La liga entre el ámbito federal y el Estatal de logra con Reglamento de la LGEEPA en Materia de Ordenamiento Ecológico, en su Artículo 1º, Fracción V; donde se establece la determinación de las bases para proporcionar apoyo técnico a los gobiernos locales y municipales en la formulación y en la ejecución de los programas de ordenamiento ecológico de su competencia.

### II.4 Ley General de Asentamientos Humanos

Otro de los instrumentos jurídicos que complementa la reglamentación en materia de planeación es la Ley General de Asentamientos Humanos, que en su artículo 3 determina que el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros

---

de población, tenderán a mejorar la calidad de vida de la población urbana y rural, mediante:

La prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanas en los centros de población.

La conservación y mejoramiento del ambiente en asentamientos humanos.

La coordinación y concertación de la inversión pública y privada con la planeación del desarrollo regional y urbano.

El artículo 11 de esta Ley refiere que la planeación y regulación del ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y del desarrollo urbano de los centros de población forman parte del Sistema Nacional de Planeación Democrática, como una política sectorial que contribuye al logro de los objetivos de los planes nacional, sectorial y municipal de desarrollo.

## II.5 Leyes complementarias federales

- Ley Minera (DOF 26/06/1992).
- Ley de Aguas Nacionales (DOF 29/04/2004).
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (DOF 25/02/2003).
- Ley General de Vida Silvestre (DOF 10/01/2002).
- Ley General de Salud (DOF 05/11/2004).
- Ley de Variedades Vegetales (01/10/1996).

### II.5.1 Áreas Naturales Protegidas

La legislación ambiental reconoce la existencia de asentamientos humanos comunidades dentro de las ANP's y les concede ciertas prerrogativas para el aprovechamiento de los recursos naturales, al permitir únicamente la realización de actividades productivas emprendidas por las comunidades que habiten en las zonas de amortiguamiento de dichas áreas al momento de la declaratoria, o con su participación (artículo 48 de la LGEEPA) o que generen beneficios a los pobladores del área (artículo 81 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Áreas Naturales Protegidas), siempre que sean acordes con los esquemas de Desarrollo Sustentable, el decreto respectivo, su programa de manejo, los programas de ordenamiento ecológico, las normas y demás disposiciones legales aplicables. La filosofía de las anteriores disposiciones legales pretendía abrigar a las pequeñas comunidades localizadas dentro de las áreas protegidas, cuya economía de subsistencia se basa principalmente en prácticas de recolección y agropecuarias, para que la regularización de estos aprovechamientos conforme al resto de las actividades productivas no causara graves impactos socioeconómicos (Carrillo-Bañuelos, *op. cit.*).

En México, alrededor del año 1994 y derivado de los cambios en la política minera del Gobierno, el segmento de la pequeña minería ha venido decreciendo hasta convertirse en grupo muy reducido comparativamente a las cifras registradas en la década de los 80's. Por otro lado, y como parte de las políticas de desarrollo social, se ha incentivado la minería realizada por “mineros sociales”, que son aquellos ejidatarios o comuneros que básicamente efectúan el aprovechamiento de materiales de pétreos o de construcción que se ubican en sus propios terrenos. Las características de ciertas actividades artesanales y de minería social se ajustan a los criterios de aprovechamiento de los recursos naturales renovables definidos para las comunidades y grupos indígenas, lo que representa una oportunidad para la diversificación productiva del sector social, generando beneficios y disminuyendo las presiones de prácticas tradicionales sobre los recursos naturales renovables (Carrillo-Bañuelos, *op. cit.*).

Este esquema evitaría que se repita la deforestación de la campiña inglesa en el siglo XVII, causado por la decisión de sustituir el carbón mineral por vegetal, pues causaba “infición en el aire y el ambiente” (Chaparro, 2000), o el descontento social provocado en las comunidades del Parque Nacional Los Mármoles, donde la prohibición de la explotación de sus bancos de mármol, los obligó reconvertir terrenos no aptos a la agricultura, con bajos e insuficientes rendimientos (Consejo de Recursos Minerales, 2004).

Dado que, en definitiva, es la comunidad en total la que acepta los riesgos o rechaza las malas prácticas mineras o de cualquier otra industria (Sánchez-Rial, 2001). es menester hacer especial hincapié en la participación social dentro del proceso de ordenamiento ecológico.

Aún en los propios decretos de ANP's se hace énfasis en el reconocimiento a las comunidades, mencionando que se respetarán los usos, tradiciones y costumbres de los grupos indígenas y, en su caso, se concertarán con éstos las acciones para alcanzar los fines del decreto del área

---

protegida. La filosofía de las anteriores disposiciones legales pretendía abrigar a las pequeñas comunidades localizadas dentro de las áreas protegidas, cuya economía de subsistencia se basa principalmente en prácticas de recolección y agropecuarias, para que la regularización de éstos aprovechamientos conforme al resto de las actividades productivas no causara graves impactos socioeconómicos (Carrillo-Bañuelos, *op. cit.*).

El marco regulatorio de las ANP's y del ordenamiento ecológico del territorio en perspectiva con la Ley Minera, vislumbran una puerta jurídica que debe ser considerada para el acceso de la minería a los terrenos. El papel del sector público minero como mediador es determinante para alcanzar los consensos entre los intereses de los particulares y el sector ambiental.

## **II.6 Ley Para la Protección al Ambiente en el Estado de Hidalgo (POE 21/06/04)**

Recientemente aprobada y reestructurada para estar acorde a las necesidades del Estado de Hidalgo en los inicios del siglo XXI, define el Ordenamiento Ecológico en su Artículo 3º, Fracción XXI; “*El instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales a partir del análisis de las tendencias de deterioro y de las potencialidades de aprovechamiento de los mismos*”.

En el Título Segundo, dedicado exclusivamente al ordenamiento da las pautas hacia el trabajo de los municipios y las responsabilidades de cada órgano de gobierno; sin embargo, no determina el contenido en específico de los ordenamientos, solo pautas generales; ni la planificación general del estado. Se recurrió al Reglamento de la LGEEPA en materia de Ordenamiento Ecológico para cubrir el contenido del estudio.

## **II.7 Ley de Planeación para el Desarrollo del Estado de Hidalgo (POE 24/11/03)**

El equivalente estatal de la Ley de Planeación, establece en su Artículo 2 la definición del proceso de planeación y ejecutado por el titular del poder ejecutivo estatal en materia de actividades económicas, sociales, políticas, ambientales y culturales. El artículo 3º establece y confirma y corrobora los lineamientos generales que también rigen al país; las Fracciones VII y IX, establecen el mecanismo específico para llevar a cabo las políticas de planeación

...”VII.- La coordinación de esfuerzos, objetivos, estrategias y acciones entre órdenes de Gobierno para obtener un desarrollo integral y sustentable del Estado”.

...”IX.- El impulso al desarrollo regional equilibrado, con base en las potencialidades de las regiones; en políticas diferenciadas de desarrollo y en el aprovechamiento racional de los recursos naturales, humanos, técnicos y financieros del Estado y los Municipios”.

## III CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO NATURAL

### III.1 Localización y extensión territorial

El estado de Hidalgo se ubica en la parte central del país, comprende una superficie de 20,836 km<sup>2</sup>, equivalente al 1.06% de la superficie total del país. Colinda por el norte con los estados de San Luis Potosí, Veracruz y Querétaro, hacia el oriente con Puebla y Veracruz, al poniente con Querétaro y al sur con los estados de Tlaxcala y México. (Figura III.1)

En la parte noroeste del Estado de Hidalgo se localiza el Ordenamiento Ecológico Territorial (O.E.T) “Los Mármoles”, el cual comprende cuatro municipios.

Municipio	Superficie km <sup>2</sup>	% del área de ordenamiento
Zimapán de Zavala	869.85	44.40
Jacala de Ledesma	448.65	22.90
Nicolás Flores	258.20	13.18
Pacula	382.30	19.52
<b>Total</b>	1,959	100.00

Dentro de esta área de estudio se encuentra el Parque Nacional “Los Mármoles”, el cual fue declarado como área natural protegida bajo decreto publicado el 8 de septiembre de 1936 en el Diario Oficial de la Federación, siendo presidente de la República el C. Gral. Lázaro Cárdenas del Río.

El Parque Nacional “Los Mármoles” presenta una operación de pequeña minería y minería social, ajustándose a los criterios del Desarrollo Sustentable, generando crecimiento económico y bienestar social.

Paradójicamente, este sitio suele ser de alta diversidad biológica y representan funciones y valores ambientales y culturales de importancia nacional, lo que genera conflictos entre la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos.

Cabe hacer mención nuevamente que el Parque Nacional “Los Mármoles”, es un área Natural Protegida (ANP), lo que constituye un instrumento para la conservación de la biodiversidad y los bienes y servicios ecológicos que ofrecen los ecosistemas.

A partir de esta fecha, dicho parque nunca fue protegido en su medio natural, lo que propició la tala inmoderada de los recursos maderables, así como la explotación de los bancos de mármol y el exterminio de gran parte de su flora y fauna.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), publica en el Diario Oficial de la Federación el día 13 de diciembre de 1996, el decreto que sólo permiten la realización de actividades relacionadas con la protección de sus recursos naturales, el incremento de su flora y fauna y de sus elementos, así como con la investigación, recreación, turismo y educación ecológicas.

En el año de 2001, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente realiza una serie de inspecciones dentro del área del parque, detectando que se estaba alterando el paisaje, así como la deforestación del mismo, por lo que ordenó el cese de las actividades mineras, llegando incluso a la clausura de toda actividad minera en tanto no se tuviera una Evaluación de Impacto Ambiental del parque.

El Parque Nacional Los Mármoles (PNLM), se ubica al Noroeste (NW) del Estado de Hidalgo, cubriendo una superficie total de 23,150 ha e incide en la unión de los cuatro municipios antes mencionados, en él se presentan condiciones climáticas, topográficas y de relieve propias de la Sierra Madre Oriental. Dicha Área Natural Protegida (ANP) es descrita a mayor detalle (escala 1:20 000) y referida así a lo largo del estudio.

Cartográficamente, el Parque se sitúa en la carta topográfica a escala 1:50,000, denominada San Nicolás, con clave F14 - C59, editada con fotos aéreas de 1995 de la cual la impresión y edición se dio en 2000-2001 por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (INEGI).



Figura III.1. Macro y micro localización del área de estudio.

### III.2 Relieve

**Forma de relieve (*Landform*):** Se considera el concepto genérico para el nivel menor del sistema jerárquico propuesto. Es la unidad geomórfica elemental, la cual puede ser subdividida sólo por medio de fases. Tipo de geoforma básica y conspicua caracterizada por una combinación única de geometría, dinámica e historia. Se clasifica como una unidad con jerarquía de SUBFAMILIA. Para su delimitación es necesaria información espacial obtenida de un intenso muestreo en el campo. Se representa a escala mayor de 1:50,000 (1:25,000).

Desde el punto de vista del relieve, México es un país muy accidentado ya que posee elevaciones superiores a 5,500 metros, mesetas externas, grandes depresiones y profundas barrancas. Tres series de cadenas montañosas, con orientación general de noreste a sureste, conforman el principal sistema orográfico que recibe el nombre de Sierra Madre: al oeste, la cordillera de Sierra Madre Occidental, con un promedio de altitud de 2,500 metros; al este la Sierra Madre Oriental con 2,200 metros y finalmente la Sierra Madre del Sur con 2,000 de altitud media.

La superficie de la faz del planeta presenta una serie de accidentes, estos pudieran ser geológicos y geográficos y la gran mayoría de las veces una combinación de ambos, conformada por una sucesión de irregularidades, depresiones y elevaciones, de magnitudes variables, denominadas formas del relieve. Una forma en que se correlaciona el relieve es con las pendientes y sus productos, la carta temática hipsográfica y la de pendientes.

Aunado a lo anterior, se puede conceptualizar a la provincia fisiográfica como región natural, constituida por conjuntos de unidades genéticas de relieve, con relaciones de parentesco de tipo geológico, topográfico y espacial (Villota, 1992). Las subprovincias fisiográficas se refieren a aquellas unidades de escala media o de menor extensión que pertenecen o se hayan asociadas a la provincia, pero que se diferencian por rasgos distintivos o de variación estructural que merecen su individualización.

El origen y la evolución del relieve están influenciados por un conjunto de factores, que no siempre tienen igual importancia, ya que algunos prevalecen sobre otros logrando la diferenciación del relieve terrestre; estos factores son litológicos, estructurales, tectónicos y climáticos.

### III.2.1 Descripción

Fisiográficamente el área de estudio, de acuerdo a la clasificación de Raisz E. (1964), se ubica en la porción limítrofe de las Provincias de: La Sierra Madre Oriental con la provincia de La Mesa Central y hacia el sur oeste con la zona Neovolcánica (Figura III.2)

La Sierra Madre Oriental es una de las provincias fisiográficas más extensas de la República Mexicana, está formada por dos subprovincias: la de las Sierras Altas constituida por sierras alargadas orientadas NWSE, que presentan pendientes muy abruptas en donde se presentan alturas de más de 2700 msnm y que se manifiestan principalmente en la parte noreste del área de estudio, desde Pacula hasta el río Amajac y desde la parte norte del río Moctezuma hasta Nicolás Flores, separadas por valles estrechos, y la subprovincia de las Sierras Bajas, donde las sierras son paralelas a las anteriores pero sus valles son más anchos. En algunos lugares se observan depresiones semicirculares que varían desde 100 a más de 3000 metros de diámetro. En la parte sur occidental del área de estudio, las elevaciones alcanzan los 2100 msnm, presentando desniveles que difícilmente llegan a los 200 m, con respecto a su base.

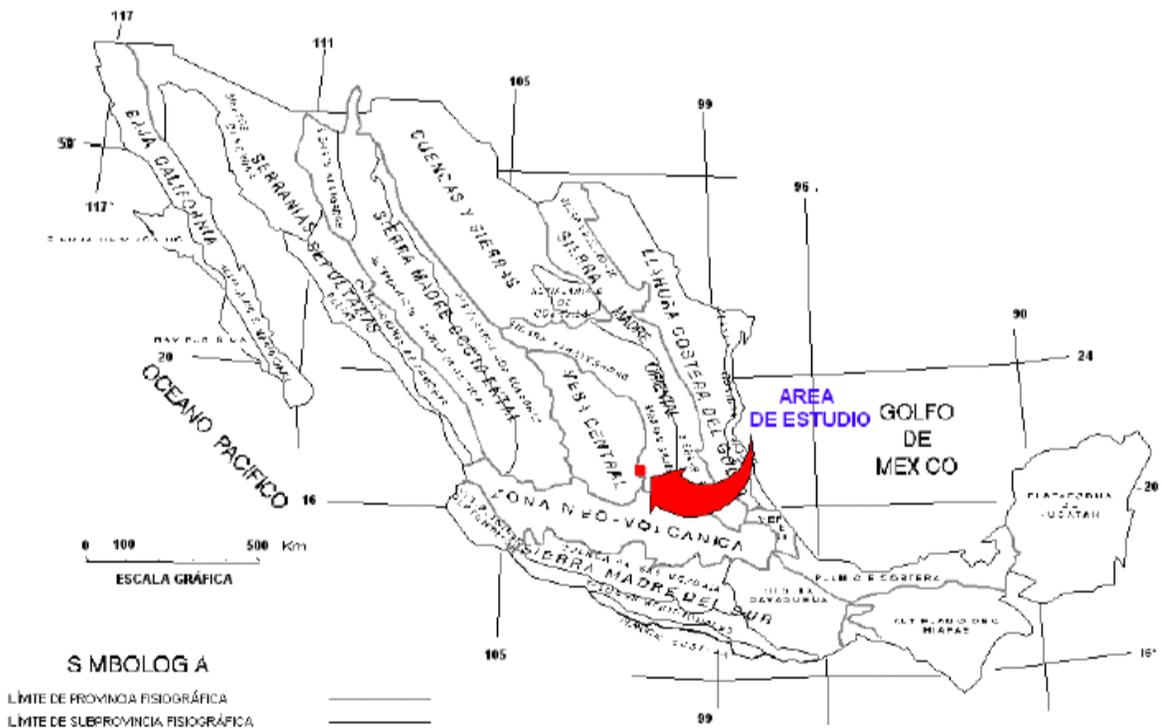


Figura III.2. Provincias fisiográficas de México. CRM.

Se caracteriza por presentar sistemas montañosos alargados de orientación NW-SE, en la porción norte del área, existen mesetas de forma irregular (Mesa del León), en la porción centro y suroccidente del área con una orientación NW-SE. Se ubican dos valles importantes uno en el nororiente del área de estudio, correspondiente a los valles de Zimapán y otro al sur, conocido como el Valle del Mezquital, fuera del área de estudio. Presenta corrientes fluviales de tipo dendrítico que desembocan en los ríos Moctezuma y Tula y estos al Golfo de México por medio del Río Pánuco. Las elevaciones en esta región varían de los 1,160 m.s.n.m (Río Moctezuma) hasta los 2,360 m.s.n.m (Cerro. San Antonio y Cerro. Juárez).

El área de estudio comprende dos paleoelementos con características litoestratigráficas bien definidas que son la Cuenca de Zimapán y el Complejo Arrecifal El Doctor, los cuales posteriormente fueron cubiertos por materiales volcánicos asociados al Eje Neovolcánico Transmexicano.

Durante el Albiano-Cenomaniano, se presentaron mares transgresivos que inundaron las tierras emergidas, desarrollándose plataformas, cuencas y taludes asociados a ellas, en las cuales contemporáneamente se depositaban rocas sedimentarias asociadas a esos ambientes como lo son calizas arrecifales (Formación El Doctor), facies de plataforma (Formación El Abra, así como facies de talud (Formación Tamabra). Desde el Turoniano al Campaniano, se interrumpen drásticamente los depósitos carbonatados, manifestándose un gran aporte de sedimentos turbidíticos representados por la Formación Soyatal.

A finales de Cretácico y principios del Terciario inicia la fase de deformación correspondiente a la orogenia Laramide, la cual imprime en las rocas preexistentes, estructuras del dominio frágil y dúctil-frágil representadas por un cinturón de pliegues y cabalgaduras que conforman la Sierra Madre Oriental, dando un relieve de sierras alargadas con rumbo NNW-SSE.

Contemporáneamente con el levantamiento de la Sierra Madre Oriental, inicia el proceso de erosión que origina el depósito de sedimentos continentales representados por el conglomerado El Morro (**Teo Cgp-Brp**) dando un relieve distinto a la cuenca de Zimapán.

En el Eoceno-Oligoceno, se emplazan rocas intrusivas originando metamorfismo de contacto (hornfels y skarn) y aportando soluciones hidrotermales, que generaron la mineralización de la Zona Mineralizada río Toliman y Los Mármoles.

A partir del Mioceno inicia una etapa de distensión que permite la generación de fallas normales algunas con componente lateral, las cuales facilitan el flujo de lavas de los primeros eventos volcánicos del Eje Neovolcánico, dando un relieve distinto al de la Sierra Madre Oriental.

La presencia de fallas normales afectando a rocas de edad Plioceno permite sugerir que la tectónica distensiva se prolonga al menos hasta finales del Plioceno, dando un relieve de sierras y montañas bajas al poniente del área de estudio.

El relieve correspondiente a la Cuenca de Zimapán perteneciente a la Mesa Central, se encuentra localizado en el extremo sur occidental del área de estudio. Presenta una serie de características asociadas con geoformas elongadas, orientadas en una dirección NW-SE, lo cual, se asume que corresponde con el rumbo de los planos axiales de las estructuras dúctiles (pliegues), así mismo, la ausencia de valles intermontanos se interpreta como el resultado producido por el acortamiento considerable de la carpeta de sedimentos, así como a la vergencia de los pliegues hacia el NE. El bloque de la Cuenca de Zimapán, se considera que está sobrepuesto a la plataforma Valles San Luis Potosí, por medio de una falla de cabalgadura. El relieve de la Plataforma Valle San Luis Potosí abarca la parte norte central y los extremos noroccidental y suroriental del área de estudio, sus geoformas tienen un rumbo NW-SE, guardando un cierto paralelismo con las que se encuentran en la Cuenca de Zimapán, se interpreta a estas prominencias topográficas como estructuras plegadas de amplio radio, en las cuales su continuidad longitudinal se encuentra interrumpida por el emplazamiento de tres cuerpos intrusivos, los cuales producen curvilineamientos, así como una serie de fallas normales (Figura III.3)

Las estructuras producidas por estos cuerpos granodioríticos se manifiestan exclusivamente en el sector occidental del Parque Los Mármoles, produciendo incrementos notables en la elevación del terreno o del relieve. La parte oriental de la plataforma se encuentra fuera del radio de influencia de los intrusivos, de tal forma, el relieve disminuye considerablemente, así mismo esta característica, se considera que está acentuada, por cambios laterales de facies en las rocas de la plataforma.

Por otra parte hacia el sector central de la plataforma, se manifiesta un lineamiento que tiene un "trend" NE-SW, el cual se extiende hasta la cuenca de Zimapán. Esta estructura regional, interrumpe la continuidad de los ejes de los pliegues y las fallas de cabalgadura, a la vez de delimitar de manera abrupta la zona afectada por el intrusivo, ocasionando una diferencia de nivel entre los bloques adyacentes a su traza.

---

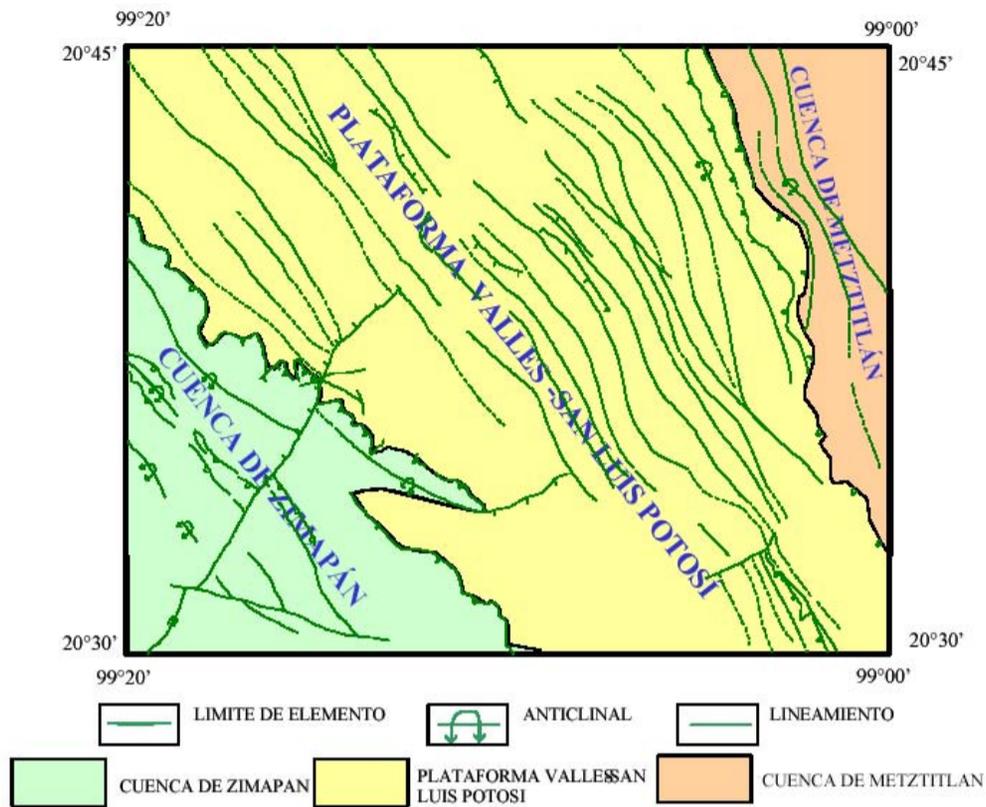


Figura III.3. Plano estructural del área de estudio.

Hacia la parte centro oriental, se manifiesta un curvilineamiento, así como un incremento en la elevación del terreno, lo cual se interpreta que es ocasionado por el emplazamiento de varios cuerpos intrusivos.

Mediante el análisis del modelo digital de elevación, se determinaron una serie de lineamientos, curvilineamientos y geformas; así mismo en base al relieve del terreno, se establece una diferenciación de bloques asociados con un patrón de estructuras con características bien definidas (Figura III.4).

En cuanto a la Zona Neovolcánica, bajo este contexto se marcan algunos rasgos de geformas cuyos límites se encuentran establecidos por cambios notables en el relieve, asociados con la presencia de aparatos volcánicos, fallas de cabalgadura, y lineamientos implicados con fallas normales y laterales.

El relieve configurado a partir de rocas volcánicas, abarca desde la parte sur central hasta el límite occidental del área de estudio; la presencia de los mayores desniveles ocurren en su porción septentrional, característica que corresponde con la zona en donde se manifestó la máxima actividad volcánica; los curvilineamientos detectados en el sector centro occidental del área se interpreta que fueron ocasionados por el estratovolcán que conforma el Cerro Juárez.

La cubierta volcánica enmascara casi por completo los rasgos de la carpeta sedimentaria mesozoica, ubicada en niveles topográficos más bajos. Este rejuvenecimiento del relieve, se considera que se encuentra estrechamente relacionado con una zona de debilidad, en donde los lineamientos, que presentan un “trend” NE-SW en el sector central del área, posiblemente formen parte de un patrón de fallas regionales profundas, que sirvieron de conducto para la extravasación de los flujos de lava, en donde la serie de pequeñas prominencias topográficas que corren sensiblemente paralelas al sur de los lineamientos, corresponda con una manifestación del vulcanismo relacionado con algunas estructuras rectilíneas.

Otro rasgo topográfico importante se localiza en el sector centro-sur del área de estudio; corresponde a un dominio de rocas sedimentarias plegadas correspondientes a la Cuenca de Zimapán. La mayor parte de las rocas de la cuenca se encuentran bajo la cobertura volcánica. Sin embargo sobresale una geforma elongada, orientada en una dirección NWSE a N-S, lo cual, se asume que corresponde con el rumbo de un pliegue cuyo flanco frontal se encuentra desbordado sobre las rocas de la Plataforma Valles San Luis Potosí. Esta cabalgadura produce el engrosamiento estructural de la columna sedimentaria y creación de relieve a lo largo de su traza (Figura III.5)

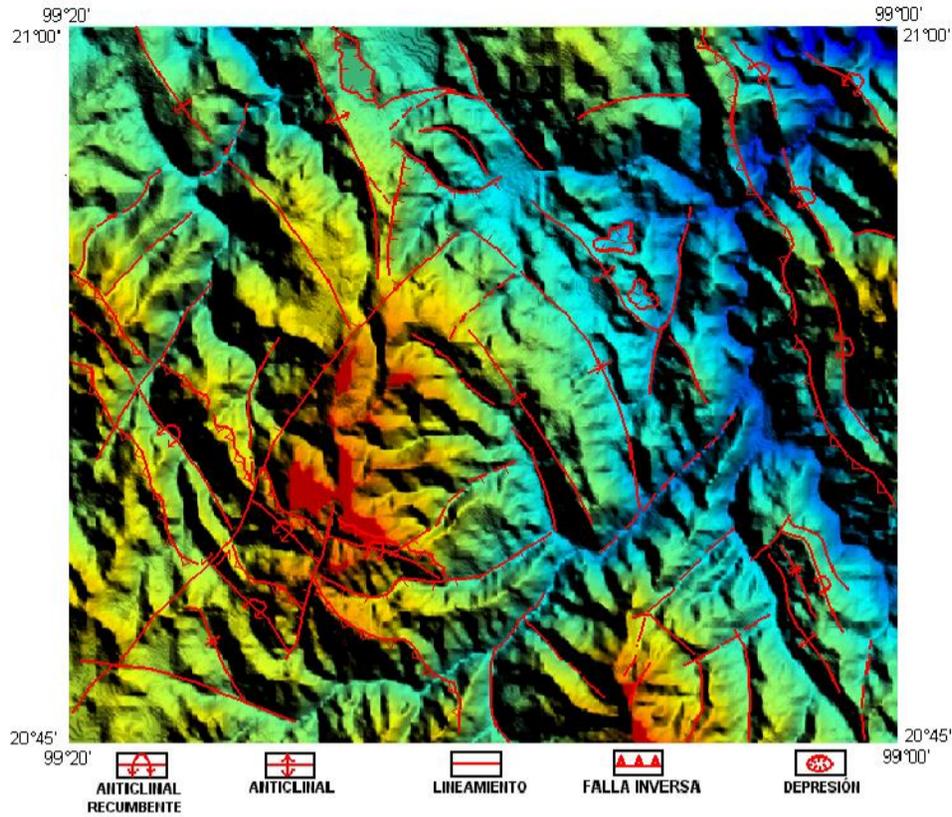


Figura III.4. Modelo Digital de Elevación Carta San Nicolás.

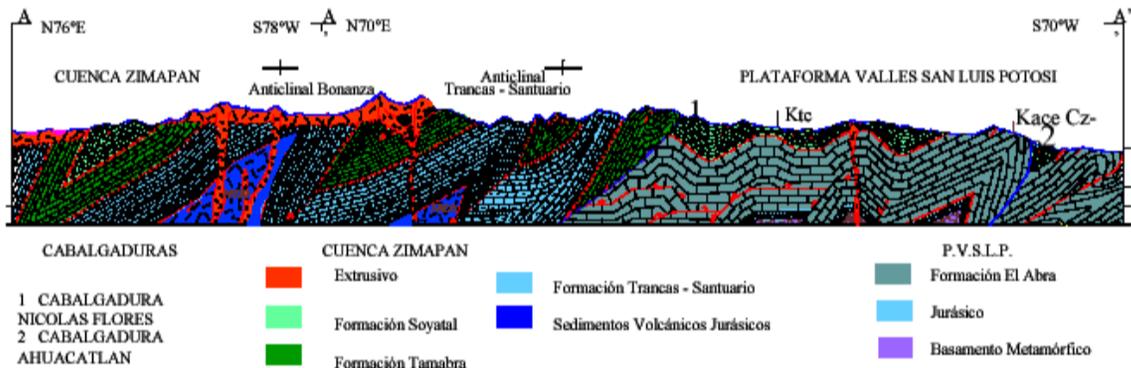


Figura III.5. Patrón Estructural del área de estudio.

Por otra parte hacia el extremo SE, las tendencias de la geofomas son prácticamente N-S, las cuales se interpreta que corresponden con pliegues amplios en la plataforma, así mismo estas estructuras manifiestan dos lineamientos orientados E-W, mismos que debido a la posición escalonada que guardan con el lineamiento que yuxtapone al bloque de la Cuenca de Zimapán, cuya orientación es N30°W, posiblemente formen parte de un sistema de fallamiento lateral derecho.

En la imagen de satélite se aprecian con mayor detalle las características de los bloques establecidos a partir del modelo digital del terreno; también se definen mejor los rasgos estructurales de la región, así como las tendencias de los lineamientos.

Dentro del área de estudio, es notorio la falta de lineamientos asociados con el plegamiento de la carpeta sedimentaria, característica atribuible a la cobertura volcánica, que enmascara los ejes de los pliegues, en donde, por otra parte, las estructuras detectadas corresponden con curvilineamientos asociados con aparatos volcánicos que conforman un característico patrón de fracturas radiales.

Como estructura lineal se detecta la ubicada hacia el sector meridional de este bloque, presentando una orientación en la dirección N67°E, corta de manera abrupta los cerros, y se forma a partir de este rasgo lineal una serie de terrazas; de la misma manera, asociado con este lineamiento se define un patrón de fallas escalonadas cuya continuidad longitudinal se encuentra parcialmente interrumpida por pequeños cuerpos volcánicos.

Esta característica nos permite interpretar que el lineamiento principal forma parte de un corredor conformado por un sistema de fallas profundas y conjuntamente con las estructuras escalonadas, actuaron como conductos de las lavas conformándose a partir de estas zonas de debilidad los aparatos volcánicos de los Cerros Juárez, La Muñeca y Santuario, los cuales guardan un marcado paralelismo con el lineamiento y aportaron gran parte de los productos eruptivos que dominan este relieve.

Otro relieve que se observa en el modelo digital de elevación, corresponde a un dominio de rocas sedimentarias plegadas ubicadas dentro de la Cuenca de Zimapán. Su distribución se encuentra limitada, ya que la mayor parte de las rocas de la cuenca se encuentran bajo la cobertura volcánica. La geoforma elongada, que distingue a este bloque, se encuentra orientada en una dirección NW-SE a N-S, y se interpretó como un frente de cabalgadura que establece la sobreposición de las rocas de la Cuenca de Zimapán con las de la Plataforma Valles San Luis Potosí.

El estado de Hidalgo, esta situado en la parte central de México, al oeste de la Sierra Madre Oriental, al noroeste de la Altiplanicie meridional y al sur de la costera nororiental. El relieve de la zona de estudio se ha formado principalmente por la combinación de tres factores: *tectónicos, erosivos y litológicos*.

Los factores tectónicos se refieren a accidentes geológicos tales como plegamientos y fallas, los cuales se observan hacia la parte oeste del área, entre Zimapán y Pacula y al norte en la región de Jacala, en lo que se conoce como la Sierra Gorda. Estos plegamientos y fallas forman el relieve terrestre plegando, rompiendo, elevando y hundiendo partes de la zona de estudio. Ver modelo digital de elevación (MDE).

La erosión es, por el contrario, el conjunto de procesos que degradan el relieve, como las corrientes de agua, acciones químicas del agua disolviendo la roca, como es el caso de las regiones con abundante material calcáreo (calizas en Zimapán, Pacula y Jacala), y la acción del viento que también es un proceso erosivo muy importante en la región. La erosión tiende a nivelar el relieve, puesto que lo desgasta más en las partes altas de la sierra y tiende a rellenar con aluviones las partes bajas como es el caso de la cuenca de Zimapán. En la región de Jacala y Pacula, las formas de la sierra son casi redondeadas por lo que la fuerza de la erosión disminuye, (ver plano de erosión). También es importante hacer notar que parte del relieve de la región depende casi siempre del clima. Así, en unas zonas predomina la erosión por el viento, como es el caso de la región oeste de Zimapán y en otras es por la acción del agua, como en el caso del Parque "Los Mármoles".

Otro de los factores que influyen en la erosión son los niveles altimétricos existentes en el área de estudio, ya que mientras que en las partes altas existe abundante vegetación, lo cual produce poca erosión, como en el caso del Parque, al contrario, hacia las partes bajas, como en el caso de Zimapán, Jacala y Pacula, existe más erosión.

Los factores litológicos se refieren a la mayor o menor dureza de las rocas. Una roca dura (caliza), resistirá mejor la erosión del agua, (como el caso de las rocas existentes en Jacala, Pacula y norte de Zimapán), que una roca blanda (lutita), como el caso de la parte poniente de Zimapán, de modo que la *erosión diferencial* entre estas dos rocas determinará en gran medida la forma del relieve. En ocasiones una roca blanda resiste mejor la acción química del agua que una roca dura.

Geomorfológicamente, las montañas es la forma más elevada en la que se presenta el relieve. Existen en el área montañas de diferentes alturas y formas, más jóvenes o más antiguas, de contornos afilados o suaves, dependiendo de su litología; estas montañas en conjunto forman cadenas o sierras como el caso de Sierra Gorda que se extiende desde Querétaro hasta Hidalgo (Jacala específicamente).

Las mesetas son relieves planos o apenas ondulados. Este, único ejemplo dentro del área de estudio, ejemplo lo tenemos en el camino de Zimapán a Pacula, en "Potreritos". Las mesetas pueden originarse entre otras cosas, por la erosión de las rocas menos resistentes, a causa de las lluvias o vientos, lo cual hace que lentamente se allane la formación montañosa.

Los valles son terrenos planos que se encuentran rodeados de montañas o colinas, son depresiones alargadas o inclinadas hacia una cuenca, se puede citar en este caso al Valle de Zimapán y los valles intermontanos de Jacala, los cuales al parecer son los únicos dentro del área de estudio.

---

Las pendientes o cañadas son escasas, ya que la más importante dentro del área, es la Barranca de Los Mármoles, con pendiente superior a los 45°, el cañón del río Moctezuma en donde se localiza la cortina de la presa Zimapán y hacia el poniente de Pacula también sobre el mismo río.

Dentro de las cuencas se puede mencionar la cuenca de Zimapán, la cual se encuentra rodeada por una serie de montañas de baja altura y de composición volcánica, con desembocadura hacia el río Tolimán, tributario del río Moctezuma.

Tanto el área de estudio como el Parque Nacional Los Mármoles, presenta un relieve de sierras, mesetas, cuencas y valles, cuyas elevaciones varían desde los 500 hasta los 3000 metros, como ejemplo podemos citar que hacia la región de Jacala, después de la Sierra Gorda, inicia lo que podemos llamar la planicie costera, con elevaciones de 600 metros, continuando con Pacula con alturas de 1 325 metros dentro de la Sierra Gorda; hacia Nicolás Flores se tienen elevaciones del orden de los 1 500 a 1 600 metros, lo que podemos llamar zona de sierras y por último a Zimapán en donde se localiza la cuenca del mismo nombre con elevaciones del orden de los 1 700 a 1 900 msnm.

Los cerros más altos son: cerro Juárez con una elevación de 2 975, localizado al sur del área de estudio; cerro Cangandhó y Campo Santo, localizados dentro del área del Parque Los Mármoles, con alturas de 2 800 metros y el cerro El Tecolote, localizado al norponiente del área de estudio con altura de 2 700 msnm.

### III.3 Geología

La corteza terrestre está formada por rocas de diferente génesis (rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas) y composición mineralógica; estas rocas muestran un comportamiento diferente frente a la acción de los agentes exogenéticos. La resistencia o debilidad de las rocas depende de sus características físicas y químicas, también son importantes las condiciones físico-geográficas en que se encuentran, ya que un mismo tipo de roca se comporta de manera muy diferente bajo condiciones climáticas distintas.

Por tal motivo la descripción de la geología regional y las estructuras presentes en la región es muy importante para el desarrollo de temas como edafología y de ahí la descripción de la cobertura vegetal, ya que de la desintegración de la roca presente en un lugar se originará, con ayuda de la acción climática, los diferentes tipos de suelos y se determinará el tipo de vegetación que crecerá en un lugar. Otra importancia de la descripción geológica es el determinar los tipos de yacimientos que pueden existir en una zona, ya que en ocasiones el tipo de roca es una guía mineralógica y es la que encajona a la mineralización.

### III.4 Provincias geológicas

El área de estudio está comprendida por tres Provincias Geológicas, siendo la de mayor extensión la Provincia de Valles-San Luis Potosí, de edad Mesozoico y origen sedimentario marino (Instituto de Geología, 2000); sigue en proporción la Faja Volcánica Transmexicana de edad Cenozoico y origen volcánico y otra proporción comprendida por la Provincia denominada Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas, de edad Mesozoico que tiene un origen sedimentario marino.

El modelado del relieve en la zona de estudio está determinado por dichas provincias, originando un relieve plicativo y otro volcánico, los cuales forman sistemas de sierras, mesetas, valles y lomeríos.

En la provincia Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas afloran rocas sedimentarias clásticas y químicas como lutitas y calizas mesozoicas que forman los pliegues de diferentes tipos y orientaciones. El carácter estructural de esta cordillera es acentuado por pliegues complejos recostados hacia el noreste y grandes fallas de empuje (INEGI, 1992), que fueron ocasionados por movimientos compresivos que iniciaron al final del Cretácico y culminaron a principios del Terciario, como consecuencia de la Orogenia Laramide, afectando el paquete calcáreo que constituye el núcleo de los anticlinales que forman los pliegues.

Las Sierras forman relieves muy abruptos que se desvanecen hacia el sur del área de estudio debido a la presencia de la Faja Volcánica Transmexicana. Las rocas calcáreas presentan formas abruptas, irregulares y pendientes fuertes, originando profundas barrancas como la del río Moctezuma, el río Tula y la Barranca de Los Mármoles entre otras. El sistema de drenaje en esta zona es paralelo a subparalelo; en ocasiones, las fallas o las fracturas constituyen los cauces de arroyos en barrancas de poca profundidad. Las rocas calizas también llegan a constituir lomeríos con elevaciones promedio de 2100 msnm.

---

La Faja Volcánica Transmexicana está representada por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias (brechas, tobas y derrames riolíticos, intermedios y basálticos). Este conjunto ha sido superpuesto a las rocas sedimentarias mesozoicas por los fenómenos de volcanismo. El relieve en ésta área se conforma por mesetas originadas por los derrames lávicos; por valles como el de Zimapán con una orientación NW-SE que por su origen y morfología indica una discontinuidad dentro de dicha provincia y por lomeríos constituidos por tobas volcánicas y en ocasiones por rocas extrusivas ácidas.

El relieve ha sido modificado por el deslizamiento de masas rocosas provocados por el fracturamiento y la fuerza de gravedad (INEGI, 1992), favorecido por las pendientes tan acentuadas, ocasionando el desgaste de los pliegues y las estructuras volcánicas (Figura II.6); el agua también juega un papel importante en el modelado del relieve ya que actúa como agente de disolución sobre las calizas originando estructuras Cársticas como dolinas, uvalas, poljes y cavernas principalmente en el norte del área de estudio.

La Provincia Geológica Valles-San Luis Potosí está constituida por un complejo arrecifal, en la cual se reconocen dos ambientes sedimentarios principales, un arrecife de rudistas que consta de potentes espesores de construcciones formados por organismos y el segundo lo integran cinco zonas de post-arrecife (Gymsa, 2001); está provincia ocupa la parte norte del área de estudio.

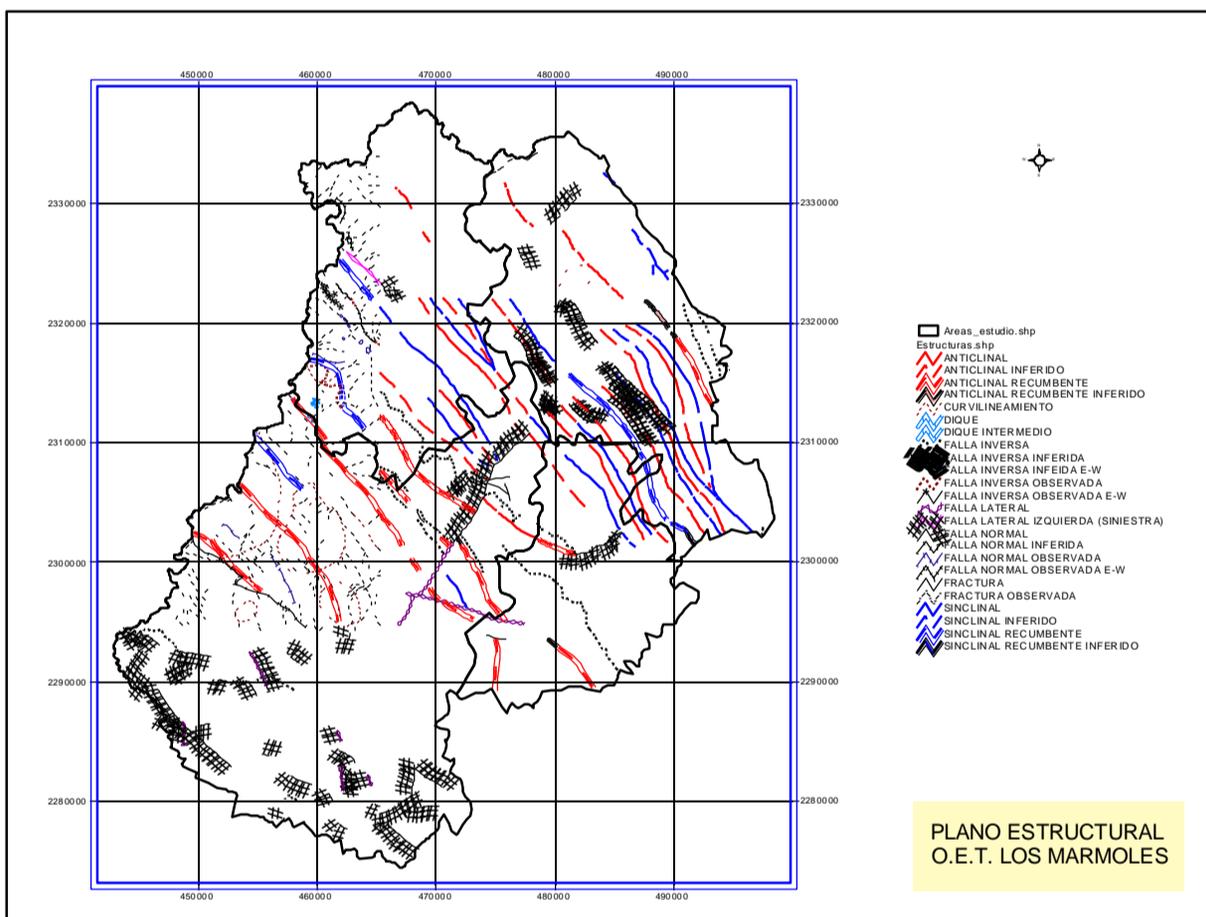


Figura III.6. Carta temática estructural del área de estudio (CRM, 2005).

### III.4.1 Geología regional

El área de estudio se ubica en la porción noroccidental del estado de Hidalgo. Fisiográficamente se ubica en la porción limítrofe de tres provincias: la Sierra Madre Oriental, la Mesa Central y hacia el suroeste con el Eje Neovolcánico.

Esta representada por un marco geológico que ha sido definido por una sucesión de eventos tectónicos relacionados principalmente al origen de la Sierra Madre Oriental (Figura III.7). Bajo este contexto se han diferenciado distintos elementos morfoestructurales que corresponden con paleoelementos que representan características particulares propias de cada uno, dentro del área de estudio, pueden diferenciarse tres elementos que han sido definidos por su expresión regional y que corresponden con la Plataforma Valles San Luis Potosí, La Cuenca de Zimapán y

la Cuenca de Metztlán. En ninguno de ellos aflora el basamento, por lo que se desconocen sus características.

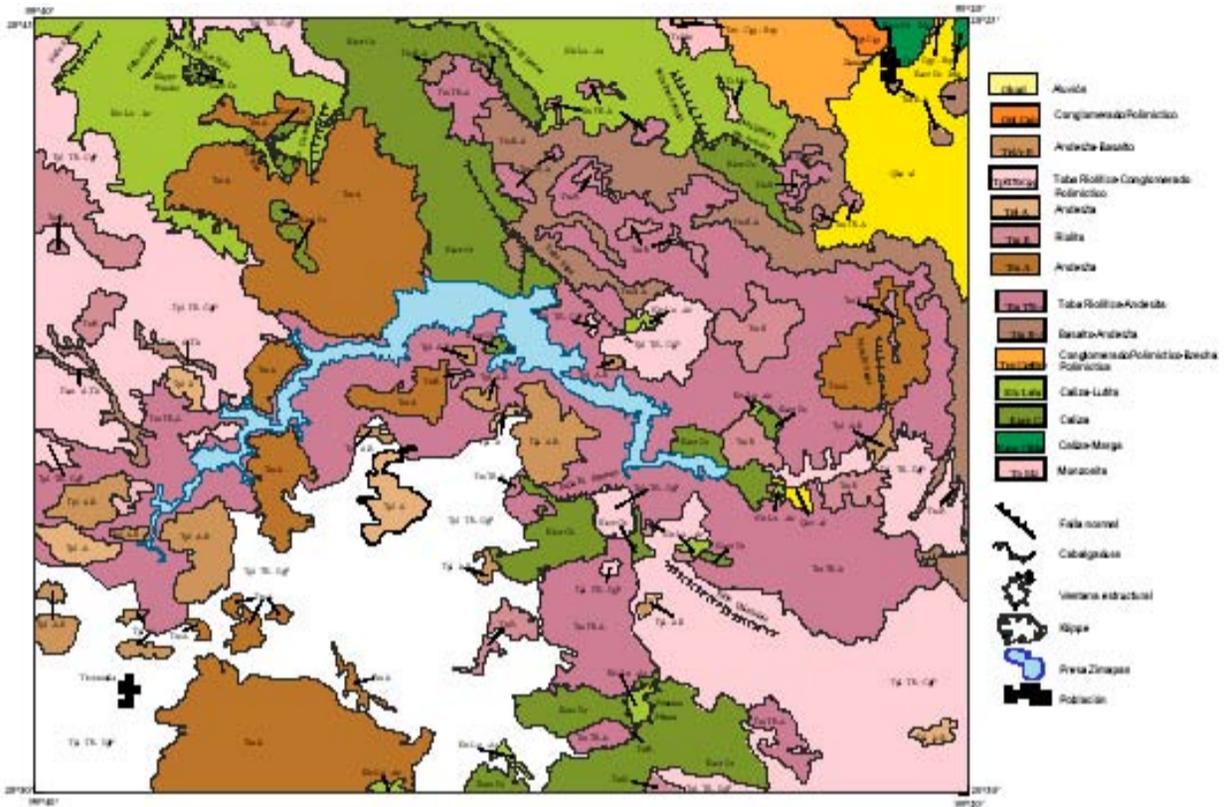


Figura III.7. Plano Geológico de la Región Sur de Zimapan

La Cuenca de Zimapan es una cuenca intracratónica mencionada por Carrillo M. M. et al, (1982), la cual se desarrolla entre la Plataforma Valles San Luis Potosí y el Complejo Arrecifal de El Doctor, en ella se depositó, en su base, una secuencia de rocas jurásicas de origen vulcano-sedimentario asociada a la presencia de un arco volcánico probablemente perteneciente al Terreno Guerrero. Estas secuencias paulatinamente cambian a sedimentos cretácicos de naturaleza calcáreo arcillosa. Posteriormente en el Albiano-Cenomaniano se desarrolla un potente espesor de rocas carbonatadas depositadas en ambientes de mar abierto que se presentan contaminadas por materiales provenientes de las calizas de los complejos arrecifales que la bordean.

El complejo arrecifal que integra la plataforma cretácica de Valles San Luis Potosí, es un elemento que ha sido estudiado ampliamente por distintos investigadores de Petróleos Mexicanos debido a su importancia económica, sin embargo Carrillo B. J. (1971) es quien la define y posteriormente Carrasco B. (1971) la estudia en detalle. Así mismo Aguayo C. J. E. (1978) analiza las diferentes facies que la integran reconociendo en ella dos ambientes sedimentarios principales, el primero es el arrecife de rudistas, el cual consta de potentes espesores de construcciones formadas por organismos y el segundo lo integran cinco zonas de post arrecife.

A la extensión austral de la Plataforma de Valles San Luis Potosí se le ha nominado Plataforma de Actopan, la que fue definida por Carrasco B. (1970). Al igual que la primera, está conformada por un conjunto complejo de litofacies definidas por los constantes cambios en sentido vertical y horizontal dentro de la plataforma, depositados durante el Albiano-Cenomaniano.

En el área de estudio, estos elementos han sido afectados por distintos cuerpos de rocas volcánicas e ígneas intrusivas, ambas de edad Terciaria, que han alterado su morfología original, sin embargo cada uno de ellos presenta columnas sedimentarias con características muy particulares que las diferencian entre sí.

### III.4.2 Estratigrafía

Geológicamente el área esta compuesta principalmente por rocas sedimentarias, ígneas intrusivas y extrusivas y cubriendo, en parte a estas rocas, se encuentran depósitos cuaternarios que corresponden a un conglomerado polimíctico y aluviones que se distribuyen en causes de arroyos y ríos. (Figura III.8) A continuación se describen las unidades litológicas existentes en el área, de la más antigua a la más reciente.

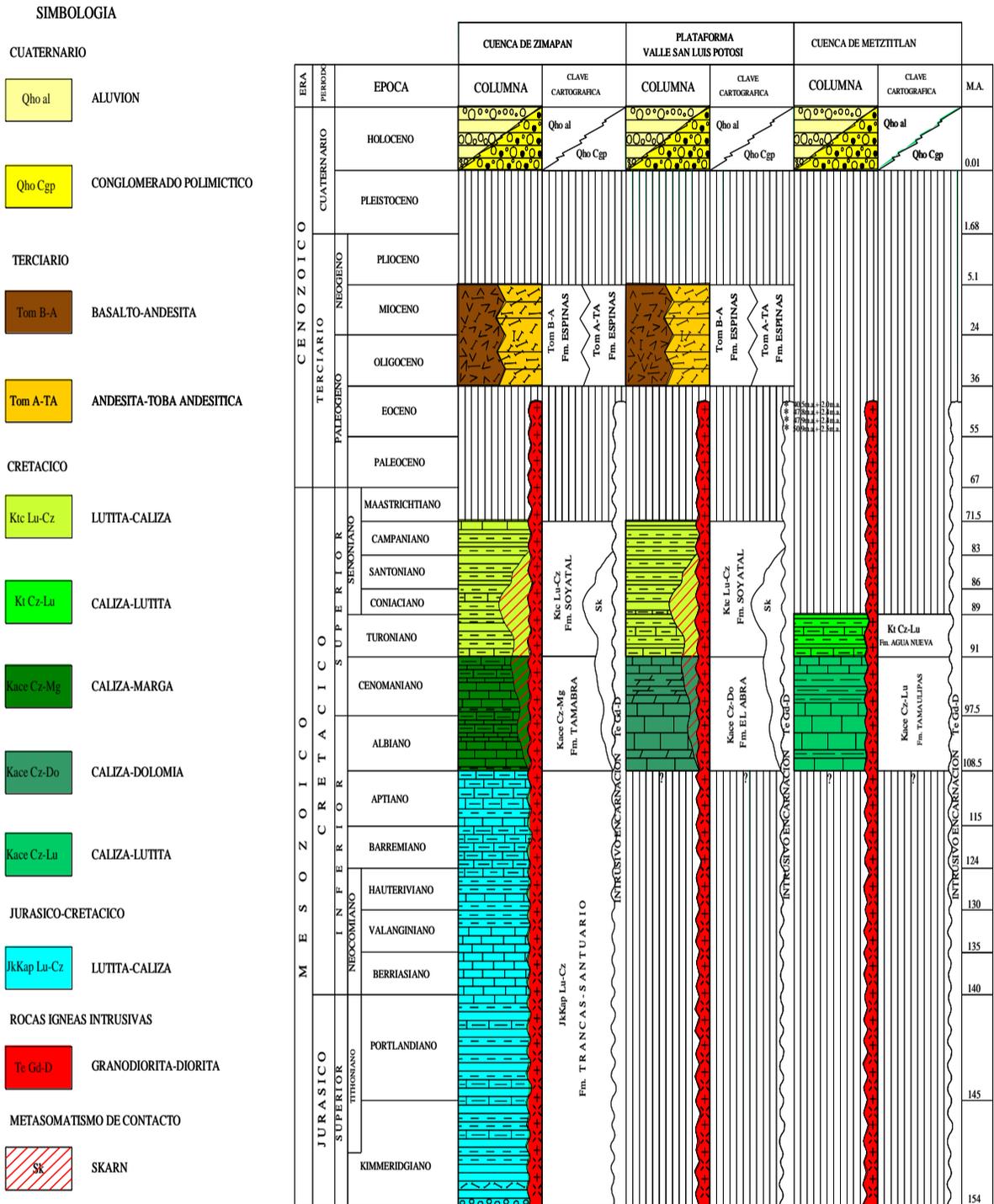


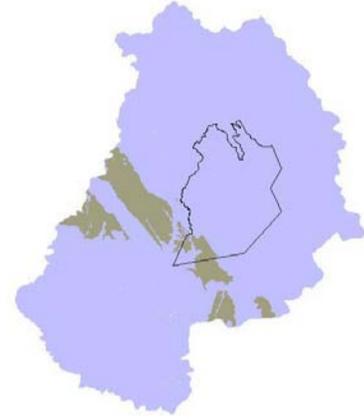
Figura III.8.- Columna Estratigráfica del Parque Nacional “Los Mármoles”

### III.4.2.1 Mesozoico, Jurásico Superior (Js)

#### **Formación Las Trancas-Santuario**

**Clave: JkKap Lu-Cz (Figura III.9.)**

Existe una gran dificultad para separar estas dos unidades debido a su parecido litológico. La formación Santuario descansa sobre la formación Las Trancas, su contacto es muy transicional y concordante, factor que aunado a la presencia de abundantes pliegues secundarios impide precisar el contacto entre ambas, es por ello que en el presente estudio se agrupan como una sola, es decir como Formación Las Trancas; sin embargo, su descripción de cada una se realiza por separado. Dentro del área de estudio ocupa una superficie del 8%.



**Figura III.9. Formación Las Trancas-Santuario**

#### **Formación Las Trancas**

**Clave: Jst**

Definida por K. Segerstrom (1956) como una secuencia de lutitas (de estructura laminar que al intemperismo presenta tonalidades gris claro parduzco, rojizas y rosáceas) y limolitas calcáreas, ligeramente filitizadas, de color gris oscuro, con intercalaciones de calizas arcillosas parcialmente piritizadas y capas delgadas de grauvacas y pedernal; hacia la parte superior de la formación tiene predominancia de calizas, en general, en forma lenticular. La roca corresponde a mudstone y wackestone ligeramente arcillosos de color gris oscuro y arenoso, el espesor de los estratos varía de 2 a 15 cm.

Su localidad tipo es el Puerto de Las Trancas, cerca del kilómetro 217 de la carretera (85) México-Laredo entre las poblaciones de Zimapán y Jacála, Hgo., presenta su desarrollo a 3 km al norte de la mina "El Carrizal", también se hace presente en los 200 m del socavón "San Francisco" en el área "El Monte". Existe una franja de esta Formación con rumbo NW-SE que se extiende desde el Río Moctezuma, (ranchería El Aguacate) pasando por la localidad tipo, Las trancas, hasta cerca de la población de Nicolás Flores.

Esta formación presenta pliegues anticlinales y sinclinales así como fracturas orientadas NS y EW. El mayor espesor medido es de aproximadamente 800 m al norte del Río Tolimán, cerca de la ranchería San Cristóbal. Se le atribuye una edad tentativa del Kimeridgiano-Tithoniano. Su ambiente de depósito es de mar abierto, donde el gran aporte de terrígenos no permitió la precipitación de carbonato de calcio.

### III.4.2.2 Cretácico Inferior (Ki)

#### **Formación Santuario**

**Clave: Kis**

Según K. Segerstrom (1961), esta formación corresponde a una secuencia de rocas muy similares a la de la Formación Las Trancas, difiriendo de ésta la mayor proporción de carbonatos, horizontes calcareníticos y ausencia de pedernal.

Dicha formación está conformada por calizas de color gris oscuro de estratificación delgada (5 a 20 cm), con grandes concreciones de lutitas, filitas y grauvacas, que subyacen a la Formación El Abra (Segerstrom 1961). La localidad tipo se ubica en el poblado de Santuario, fuera del área de estudio y al sur de Nicolás Flores, ubicado a 22 km al noreste de Ixmiquilpan, Hgo. Se le atribuye una edad del Berriasiano - Aptiano.

#### **Formación Tamabra**

**Clave: Kace Cz-Mg (Figura. III.10)**

Término estratigráfico adoptado por Heim A. (1940) para la secuencia de calizas con características de mar abierto (Fm. Tamaulipas) y que presenta interdigitaciones con rocas de facies pertenecientes a las formaciones El Abra y Taninul.



**Figura II.10 Formación Tamabra.**

Compuesta por calizas dispuestas en capas delgadas a gruesas (25 a 80 cm) que texturalmente varían de mudstone a wackestone de microfósiles pelágicos (entre ellos calciesférulas), son de color gris oscuro y al intemperizar son gris cenizo en ocasiones amarillento o pardo rojizo; se intercalan calizas arcillosas de color negro e intemperismo gris crema, los cuales pueden variar a lutitas calcáreas y formar horizontes de hasta 7 cm. Una característica muy distintiva de la unidad es la presencia de lentes y bandas de pedernal negro de hasta 10 cm de espesor; la presencia de estructuras abudnadas; así como, el desarrollo de pliegues secundarios son también muy frecuentes. Comúnmente la unidad se presenta con abundantes fracturas muchas de ellas rellenas por calcita.

Esta formación se le asigna una edad comprendida entre el Albiano - Cenomaniano.

Se localiza en la porción suroccidental de la carta Nicolás Flores, además aflora dentro del área de estudio, en los poblados de: Domathí, La Mora y sureste de La Palma, (en este municipio). La superficie en la que aflora no es muy extensa dentro del área, ocupa un 1.1%.

### **Formación El Abra y El Doctor (Figura. III.11.)**

Estas rocas son importantes dentro del área de estudio por que cubren un poco más de la mitad de la superficie total, con un porcentaje del 53% del área, están representadas por importantes espesores de rocas sedimentarias carbonatadas y evaporitas como dolomitas, yeso, anhidritas y calizas; junto con los cuerpos intrusivos, hospedan importantes yacimientos de minerales metálicos y no metálicos.

#### **Formación El Abra**

##### **Clave: Kapce Cz-Do**

Fueron estudiadas por Heim en (1925), Carrillo B. En (1971) y por Aguayo en (1978). Es la que presenta mayor importancia económica cuando se asocia al intrusivo granodiorítico, así como a áreas donde se encuentran dolomitas. Dicha formación al estar en contacto con el intrusivo se marmoliza, el material es explotado para obtener marmolina; no es apta para rocas dimensionables debido a que está muy fracturada, como ejemplo tenemos los bancos de mármol localizados en el Parque Nacional Los Mármoles. Comprendida por calizas de estratificación gruesa y masiva que texturalmente corresponden a packstones y grainstones fosilíferos, se intercalan calizas dolomíticas; el color de la roca es gris y gris oscuro; al golpear la roca se percibe un olor fétido.

#### **Formación El Doctor**

##### **Clave: Kace Cz**

La Formación El Doctor fue estudiada por Wilson et al. en 1955 y posteriormente por Segerstrom (1961) en las inmediaciones del poblado El Doctor, en el estado de Querétaro, lugar donde se encuentra su localidad tipo.

Esta formación consiste de calizas de color gris en capas de 10 a 90 cm con intercalación de lentes de pedernal de color negro, el cual en las cercanías de las zonas mineralizadas adquiere un color blanco. Se pueden observar intercalaciones de calizas masivas de posible origen arrecifal, estas calizas tienen hasta 300 m de espesor y decenas de kilómetros de extensión, aún fuera del área de estudio.

Por su contenido fosilífero, Segestrom (1957) le ha asignado una edad Albiano Medio-Cenomaniano Inferior. Esta formación descansa concordantemente sobre la formación “Las Trancas” y en algunas zonas está cubierta discordantemente por el conglomerado “El Morro”, rocas volcánicas y aluvión del reciente.

Wilson et al., (1955), y Segerstrom (1957), la dividen en cuatro facies: Facies La Negra, consistente en calizas de 10 a 20 cm de espesor, con bandas de pedernal negro de 1 a 10 cm, con laminas de material clástico de grano fino, con lutitas intercaladas hacia la base y un espesor total de 300 m. Facies San Joaquín, conformada por caliza de color gris oscuro de estratificación gruesa y nódulos de pedernal. Facies el Socavón, constituida por calcarenitas de estratificación gruesa y conglomerado de grano fino. Facies Cerro Ladrón, consiste en biostromas de rudistas, calizas de estratificación gruesa y un conglomerado calcáreo de grano fino. Estas facies están conjuntadas en una sola unidad conocida como Formación El Doctor .



**Figura III.11. Formación El Abra y el Doctor**

### III.4.2.3 Cretácico Superior (Ks)

#### **Formación Soyatal**

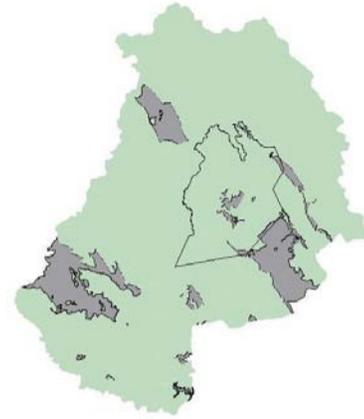
##### **Clave: KtcLu-Cz (Figura III.12.)**

Nombre asignado por Wilson B. W. et al. (1955) para designar una secuencia de lutitas y calizas que afloran en las inmediaciones del poblado Soyatal en el estado de Querétaro. Esta unidad esta conformada por intercalaciones de lutitas calcáreas, areniscas, limolitas y calizas arcillosas; las primeras son de color gris a negro, al intemperizar son pardo amarillento ocasionales con tintes rojizo y crema, la estratificación es laminar, formando intervalos generalmente menores a los 30 cm, pero llegan a formar bancos masivos.

La litología varía lateralmente aumentando o disminuyendo la fase calcárea; se ha calculado que su espesor es de aproximadamente 1000 m en la zona de Tolimán, la formación “Soyatal” se encuentra metamorfozada alrededor del intrusivo “Tolimán” y se presenta en hornfels verdes con bandeamiento bien desarrollado. La edad de esta formación ha sido determinada con macro y microfósiles, por lo cual se le ha asignado una edad Cenomaniano-Maestrichtiano. La formación “Soyatal” es concordante con la formación “El Doctor” y subyace discordantemente, en un ángulo de 45° al conglomerado “El Morro”.

Las calizas se encuentran en capas delgadas de 10 a 30 cm de espesor, aunque es común observarlas con estructura laminar, son arcillosas y contienen microfósiles, lo que texturalmente corresponden a mudstone arcilloso con microfósiles. Se le asigna una edad comprendida del Turoniano al Campaniano (JICA 1982). Esta Formación se observa desde Zimapán, en una franja que corre de NW-SE hasta en Río Moctezuma, continuando hasta la localidad tipo en Querétaro. Ocupa una superficie del 12%.

La Sierra Madre Oriental es principalmente una secuencia de calizas, lutitas y areniscas plegadas e imbrincadas por fallas de empuje del Mesozoico superior, deformada durante la Orogenia Laramide de finales del Cretácico – principios del Terciario (de Cserna y colab. 1977) e intrusionada por cuerpos intrusivos de composición granito – granodiorita, y en parte cubierta por rocas volcánicas extrusivas del Terciario. Las rocas sedimentarias cubren el 75.27% de la superficie del área de estudio, es decir, las tres cuartas partes del área.



**Figura III.12. Formación Soyatal**

### III.4.2.4 Cenozoico

#### **Terciario (T)**

##### **Conglomerado El Morro**

##### **Clave: Teo Cgp-Brp (Figura III.13.)**

El Terciario esta representado por el Conglomerado El Morro (Teo Cgp-Brp) descrito por Simons F. S. et. al. 1956, como un conglomerado de color rojo, gris rojizo a gris púrpura, constituido por clastos de caliza y lutitas, clastos de roca volcánica y margas de color rosa a blanco, de grano anguloso a subanguloso, con diámetros de 20 a 50 cm, en un matriz de arenisca calcárea y cuarzo, además de granos de feldespato y micas. Esta unidad presenta sus mejores exposiciones en las inmediaciones de Zimapán. Se le ha calculado una superficie del 0.1%.



**Figura III.13. Conglomerado El Morro**

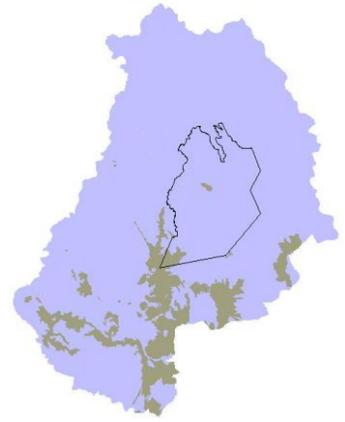
Consiste de un conglomerado de color rojizo, constituido por clastos de lutitas, caliza, arenisca y en menor proporción fragmentos volcánicos, mal clasificado contiene fragmentos angulosos a redondeados en diámetro de 1 cm hasta 50 cm, englobados en una matriz de composición silíceo y calcita secundaria, con estructura compacta y dura, ocasionalmente presenta en sus estratos gradación normal e imbricación de clastos. La localidad tipo de esta formación se encuentra en el Cerro El Morro, 5 km al noreste de Zimapán, le sobreyace concordantemente la Formación Las Espinas. Se le asigna una edad tentativa del Eoceno-Oligoceno debido a que no existen dataciones paleontológicas.

### **Formación Las Espinas**

**Clave: TOM B-A y TOM A-TA (Figura III.14.)**

Descrita por Simons, F. S. et. al., 1949, en el Cerro Las Espinas al noroeste de la población de Zimapán y las describe como rocas de composición desde cuarzolatítica hasta andesítica de piroxeno y olivino e incluso basaltos de olivino e hiperstena, además de tobas y aglomerados andesíticos.

Esta unidad esta representada por derrames andesíticos, andesitas basálticas, tobas andesíticas y aglomerados andesíticos con intercalaciones de derrames riolíticos. Se le atribuye una edad Mioceno superior (Cantagrel y Robin en Carrillo M. M. op cit.). El cálculo arrojó una superficie del 9.8% del área de estudio.



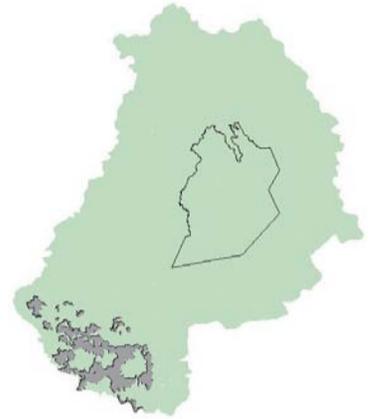
**Figura III.14. Formación Las Espinas**

### **III.4.2.5 Mioceno (Rocas Extrusivas) (Tm )**

#### **Toba Riolítica-Andesita**

**Clave: Tm TR-A (Figura III.15.)**

Consiste en una alternancia de tobas líticas, litocristalinas, brechas, intercaladas con andesitas, dacitas, tobas, dacíticas, coronadas por derrames e ignimbritas de composición riolítica. Descansa en forma discordante a los derrames de riolitas (TmR). Por su posición estratigráfica se le asigna una edad del Mioceno superior, se puede correlacionar con las tobas de composición riolítica del grupo Pachuca (Segerstrom K., 1962). Su superficie corresponde al 4.2% del área total de estudio.



**Figura III.15. Rocas Extrusivas Miocénicas**

#### **Riolitas**

**Clave: Tm R (Figura III.16.)**

Se presenta de color rosa a rosa rojizo, de estructura compacta, dura y fluidal, con una textura fanerítica fina, en la cual se observa desarrollo de cristales de ortoclasa y sanidino, además de unas plagioclasas, cuarzo y abundante vidrio. Contiene abundantes fracturas en diversas direcciones y una característica particular de esta unidad es que se presenta en forma de derrames, diques y posibles domos. Se le atribuye una edad del Mioceno superior. Ocupa el 0.7% del área.



**Figura III.16. Localización de las Riolitas**

#### **Monzonita**

**Clave: To Mz (Figura III.17.)**

De color negro a gris oscuro, en ocasiones gris verdoso y pardo grisáceo por efecto del intemperismo, con estructura compacta, dura, de textura porfídica a fanerítica fina, con cristales bien desarrollados de plagioclasas. La descripción microscópica reporta una roca de color gris verdoso, de estructura compacta y textura afanítica, con pirita diseminada; microtextura microcristalina ligeramente porfídica, constituida por andesina oligoclasa (en forma de microlitos tabulares orientados al azar, con pequeños fenocristales con una incipiente alteración a calcita) y ortoclasa (en forma de cristales pastosos dentro de la masa de microlitos) en una proporción aproximada de 25 a 50%; biotita-horblenda (en pequeños cristales escamosos) y augita entre 5 y 25%; como constituyentes secundarios en proporciones menores al 5% se tiene calcita-esfena-clorita (como producto de alteración de los minerales máficos), sericita-calcita (alteración de los feldespatos), cuarzo como relleno de oquedades, fue clasificada como monzonita.

Presenta pequeños afloramientos hacia la porción occidental de la población de Zimapán. Esta unidad se observa intrusionando a la secuencia sedimentaria de la Formación Soyatal y al



**Figura III.17. Localización de la Monzonita**

Conglomerado El Morro y a su vez se presenta afectado por diques riolíticos. Se reporta para esta unidad una edad del Oligoceno (Kiyokawa M. 1981). Las rocas ígneas extrusivas cubren un 18.28% del área de estudio. La superficie carografiada del cuerpo monzonítico es de 0.03%.

**Intrusivo Encarnación**

**Clave: Te Gd-D (Figura III.18.)**

Litológicamente los stocks intrusivos se clasificaron como diorita de hornblenda, cuarzo-diorita de biotita y hornblenda y granodiorita. Son de color gris y gris oscuro, por lo general de textura holocristalina equigranular. Los constituyentes primarios corresponden con cristales subhedrales de plagioclasas, hornblenda y biotita, el cuarzo se presenta de forma anhedral; en algunos cuerpos se presentan cristales de augita y pertita. Las alteraciones más comunes por intemperismo corresponden con argilitización.

El granito provocó metasomatismo en las zonas de contacto con las rocas calcáreas dando origen a skarn de granate y fierro, estas rocas se presentan preferentemente en la formación El Abra (Kace Cz-Do), y están directamente relacionados con los yacimientos minerales metálicos, y a la marmolización, como es el caso de los yacimientos de mármol en el Parque Nacional y a pequeños cuerpos de wollastonita. Su edad es del Eoceno con sus últimas manifestaciones en el Mioceno (JICA, 1982). Las rocas ígneas intrusivas solamente comprenden el 1.7% del área de estudio.



Figura III.18. Localización del Intrusivo La Encarnación

**III.4.2.6 Cuaternario (Q)**

**Conglomerado Polimíctico**

**Clave: Qpt Cgp (Figura III.19.)**

Consiste en un conglomerado de color gris claro a pardo claro, con estructura de grano grueso poco consolidado, esta pobremente clasificado con arcillas hasta cantos de 10 cm lo constituyen fragmentos de diversa composición, entre los que destacan andesitas, calizas, lutitas y cenizas, estas cenizas en ocasiones dan la impresión de que corresponden a horizontes delgados de tobas. Por su posición estratigráfica y características físicas de la unidad, se le ha asignado una edad del Pleistoceno. Ocupa el 0.1% de la superficie total.



Figura III.19. Conglomerado Polimíctico

**Aluvión**

**Clave: Qho al (Figura III.20.)**

Son materiales de relleno originados por corrientes fluviales en los cauces de los ríos y arroyos depositados en llanuras de inundación. Estos depósitos corresponden en orden de importancia a arenas, arcillas y gravas de diferentes tamaños y formas de subredondeados a redondeados. Dichos depósitos se encuentran burdamente estratificados, se observan en algunos cortes de caminos y canales de riego con espesores no mayores a 1 metro. Las rocas no consolidadas representan el 4.5% y los cuerpos de agua el 0.25% del área de estudio.

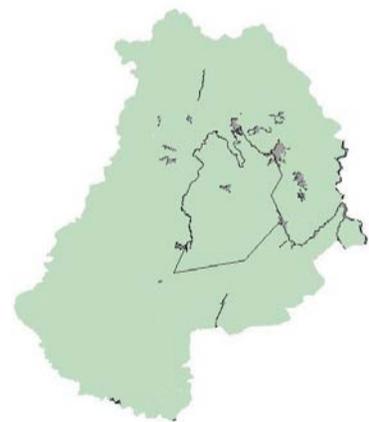


Figura III.20. Localización del Aluvión

### III.5 Yacimientos Minerales Metálicos

Los yacimientos minerales que se ubican dentro del área de estudio pertenecen al Distrito Minero de Jacala y Zimapán; el primero comprende tres zonas mineralizadas: La Encarnación, Los Gallos y Encino Prieto (Figura III.21).

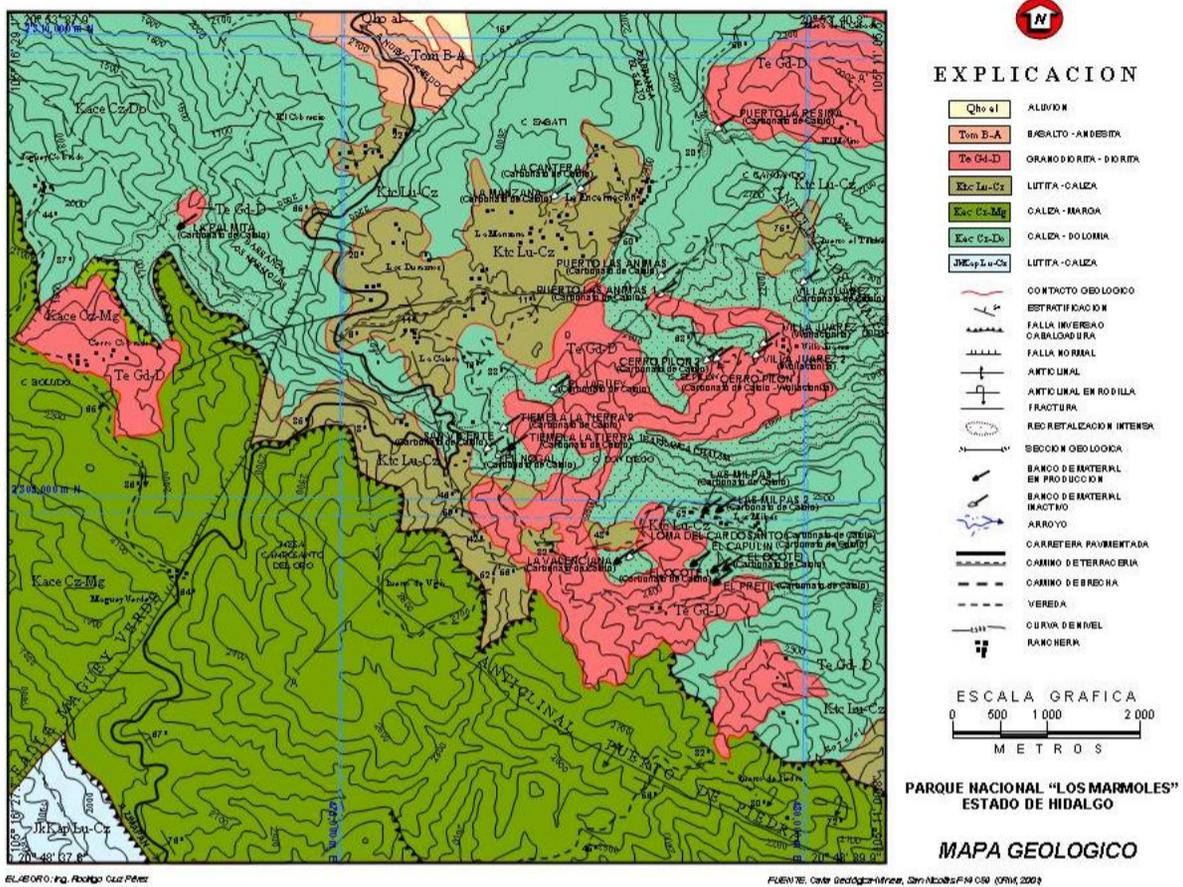


Figura III.21. Detalle geologico-minero de la carta F14-C59 (CRM, 2004).

La zona mineralizada La Encarnación comprende las minas: Las Delicias, La Esmeralda, Plomosas, Garay, El Rincón, El Petatillo, El Refugio, Piedra Imán, El Durazno, El Tejocote y La Naranja. Las rocas que afloran en el área pertenecen a la plataforma de Valles-San Luis Potosí, representadas por calizas y dolomias del Albiano-Cenomaniano; estas unidades fueron afectadas por varios stocks granodioríticos por lo que la mineralización se ubica en los contactos únicamente sin un patrón estructural definido.

El tipo de yacimiento es pirometasomático (Fe, Cu, Pb, Zn, Ag y Au); estos yacimientos se localizan en los contactos cuarzdiorita-caliza dando origen a zonas de endo y exoskarn con granate y fierro. Actualmente ninguna mina se encuentra en operación (Figura III.22).

La zona mineralizada Los Gallos se localiza al sur de La Encarnación, dentro de calizas y dolomitas del Albiano-Cenomaniano y lutitas y calizas del Turoniano-Cenomaniano, las cuales fueron afectadas por un cuerpo granodiorítico del Terciario Inferior dando origen a rocas de metamorfismo de contacto como skarn y en menor grado hornfels. La marmorización de la caliza es casi total.

El tipo de yacimiento es hidrotermal mesotermal (Cu, Au, Ag, Zn y Pb). Estos yacimientos se ubican en rocas calcáreas y están relacionados con cuerpos intrusivos ácidos, formando vetas, chimeneas, mantos y lentes (Figura III.22).

La zona mineralizada de Encino Prieto se localiza al oeste del poblado San Nicolás y al sur de Jacala; el área se ubica dentro de la Formación Tamabra, donde se emplazó un cuerpo intrusivo el cual dio origen a la mineralización.

El tipo de yacimiento se clasifica como hidrotermal, mesotermal de reemplazamiento y relleno de cavidades, con un telescopio en el depósito de minerales ya que se encuentra estibinita y calcopirita en forma conjunta.

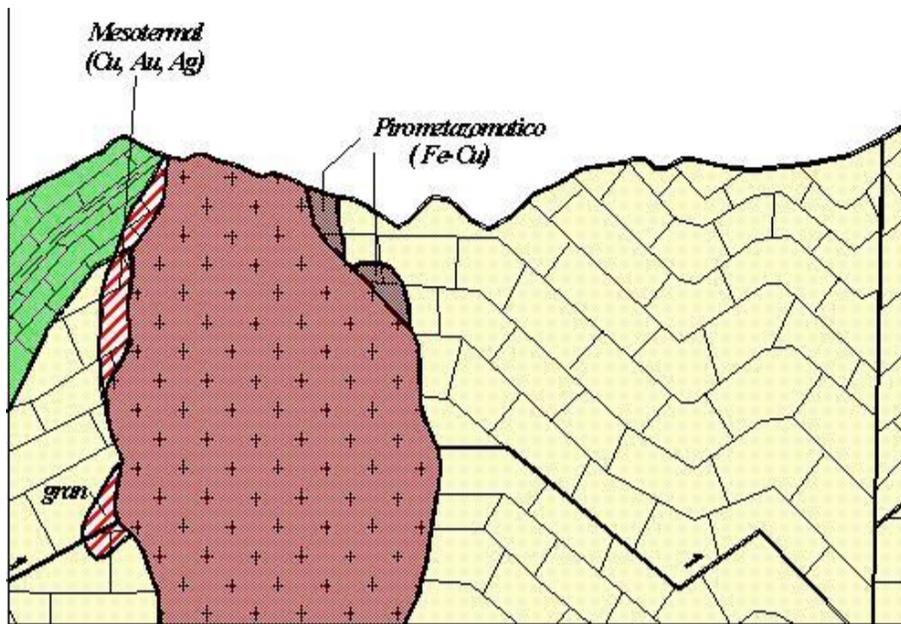


Figura III.22. Modelo idealizado de yacimientos tipo mesotermales (zona Los Gallos, Encino Prieto, Cerro Colorado) y tipo pirometasomáticos (La Encarnación).

### III.6 Modelo de yacimientos

El Distrito Minero de Zimapán se localiza al W-NW de éste poblado; en este distrito se tienen las minas El Carrizal, El Monte, San Francisco, Pino Alto, Santa Martha, Fátima, Vaquero y Caña Brava. La mineralización se presenta en forma de chimeneas, vetas y mantos representada por sulfuros y óxidos de platas, plomo, zinc y cobre; esta asociada a cuerpos intrusivos de composición monzonítica.

Esta mineralización se encuentra emplazada en calizas de la Formación El Doctor, calizas arcillosas de la Formación Las Trancas, lutitas de la Formación Soyatal-Mezcala y en el conglomerado El Morro.

Las minas más importantes, actualmente explotadas por contratistas de COMSA, son El Carrizal y El Monte. La mineralización de estas minas presenta morfología de mantos, chimeneas y diseminaciones, tanto en el intrusivo como en el skarn.

La mineralización, siempre se encuentra asociada al cuerpo intrusivo o a sus derivaciones en forma de diques y diquestratos.

### III.7 Yacimientos Minerales No Metálicos

Dentro del área de estudio se tiene una gran variedad de minerales no metálicos como: mármol, barita, dolomita, yeso, wallastonita, fosforita y agregados pétreos. Los principales yacimientos que actualmente son explotados, son los bancos de mármol localizados en la zona de la Barranca de los Mármoles; existen algunos bancos de dolomita en la zona de la Barranca Arriba; un banco de yeso en San Nicolás y una gravera en El Cobrecito.

El yacimiento de fosforita es el más grande de la región de San Francisco, Municipio de Pacula.

Los cuerpos de mármol y wallastonita se originaron como resultado del metamorfismo de contacto de las calizas de las Formaciones Tamabra y Soyatal, afectados por rocas intrusivas (Gd-D). Las dolomitas se restringen a la unidad Tamabra y su origen es singenético.

La Barita es de origen Hidrotermal encajonada en calizas del Albiano-Cenomaniano. El cuerpo de Yeso de San Nicolás es de origen singenético y representa la parte inferior de la Formación Tamabra como un depósito de aguas someras en ambiente lagunar y por último la gravera de El Cobrecito se localiza sobre la traza de una falla regional, la cual dio como resultado una cataclasita, produciendo fragmentos de muy diversa granulometría en la Formación Tamabra.

El Yacimiento de Fosforita comprende una superficie de 120 hectáreas dentro de la caliza de la Formación El Doctor y los valores de mayor interés económico se encuentran en la fosforita

negra sumamente porosa, con valores hasta del 42% de pentóxido de fósforo. Este yacimiento es de origen sedimentario y se emplea para la elaboración de fertilizantes. (R.L. Quintus Bosz, 1982).

### III.7.1 Calizas y Mármoles

Geológicamente, el mármol es una roca metamórfica carbonatada, derivada de calizas y/o dolomías que han sido afectadas por metamorfismo ya sea regional o de contacto.

En términos comerciales, la palabra mármol no tiene un sentido petrográfico, aunque a menudo se refiere a rocas calcáreas como a calizas recristalizadas, dolomías, mármol, ónix y travertino; en ocasiones se aplica el término a rocas como tobas, serpentinas y granito. Cada una de estas rocas tiene características propias, a las cuales se le agregan los siguientes requerimientos comerciales comunes y de mayor relevancia referidos generalmente a placas y parquet.

El mármol es la roca metamórfica con mayor interés minero. Se forma como consecuencia del metamorfismo de calizas, bajo condiciones de metamorfismo tanto regional como de contacto, que inducen la recristalización de la calcita a alta temperatura. Este proceso transforma las variadas texturas originales de las calizas en texturas granoblásticas de tamaño de grano muy variable, que puede llegar a ser de varios milímetros, lo que se traduce en una mayor resistencia mecánica y homogeneidad de la roca.

El mármol está compuesto mayoritariamente por calcita granoblástica, pero pueden contener además otros minerales, tales como micas (mármoles cipolínicos), dolomita, brucita, vesuvianita, wollastonita, diópsido, tremolita, grafito, pirita.

Las rocas que afloran en los PNLN, comprenden rocas sedimentarias marinas, constituidas por calizas y lutitas; rocas metamórficas, como las pizarras y rocas ígneas intrusivas y extrusivas. La edad de estas formaciones, que afloran en el área, varían desde el Jurásico superior para la formación Las Trancas; del Cretácico medio para la formación El Doctor y del Cretácico inferior para la formación Agua Nueva, del mismo tiempo geológico a las rocas intrusivas que intrusionaron a la secuencia sedimentaria y las rocas volcánica del cuaternario (SARH, 1994: 13-14) (Figura III.23).

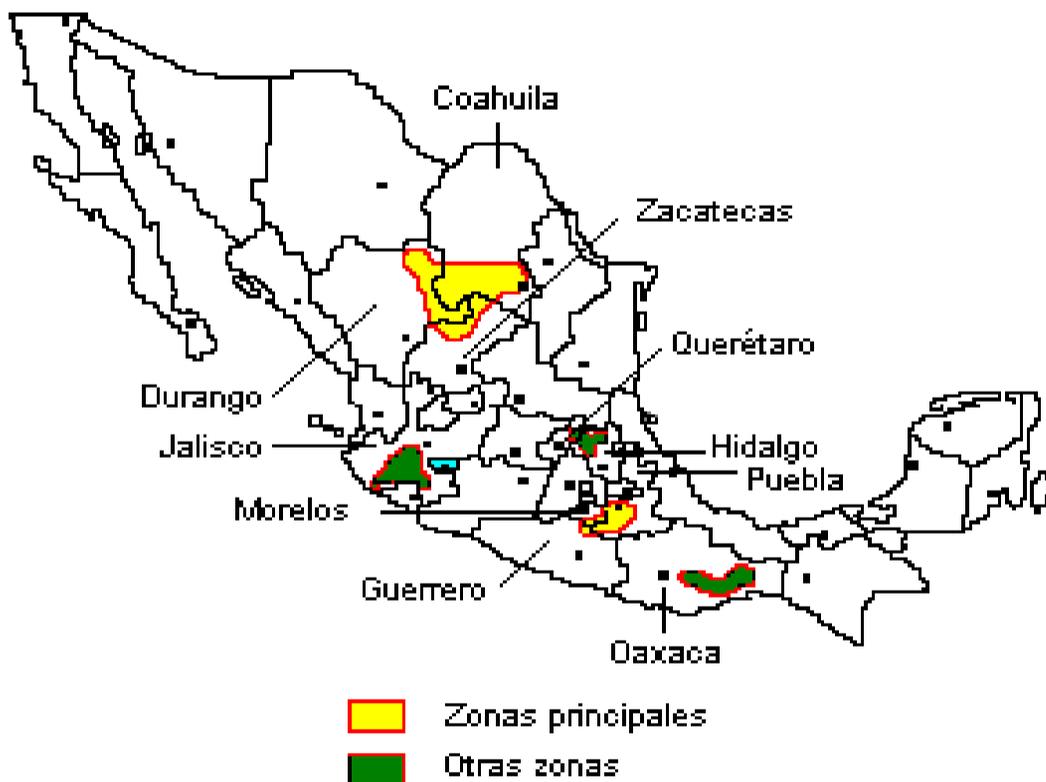


Figura III.23. Principales zonas de Mármol en México.

## III.8 CLIMA

### III.8.1 Metodología

Una de las clasificaciones de climas que ha tenido mayor difusión es la que propuso el científico alemán Wladimir Köppen, en 1936; mérito importante de dicha clasificación es que abarca a la diversidad climática mundial y define sus tipos de clima numéricamente, relacionándolos con los tipos de vegetación existentes en el planeta, sobre todo con los grandes grupos de plantas superiores.

Este sistema fue concebido para describir los climas de las amplias zonas del mundo que se extienden esencialmente en latitud y no en altitud. En el caso de México, no es lo suficientemente detallado como para dar una idea completa de la enorme variedad de climas del país, que a causa del relieve, cambian en distancias relativamente cortas.

Esta clasificación está estructurada alrededor de los datos de temperatura y precipitación total mensual y anual. Considera la existencia de 5 grupos climáticos fundamentales:

Tabla III.1. Correlación de climas con su clasificación según Copen

Grupo	Características
A	Climas cálidos húmedos
B	Climas secos
C	Climas templados húmedos
D	Clima frío boreal, de inviernos intensos
E	Climas muy fríos o polares o de grandes alturas

### III.8.2 Tipos de clima de la región

Los climas A se extienden a lo largo de las vertientes de ambos mares. En la costa del Pacífico se distribuyen desde el paralelo 24° norte hacia el sur y abarcando desde el nivel del mar hasta una altitud de unos 800 a 1000 m. Por le lado del Golfo de México comprenden desde el paralelo 23°8' latitud norte, hacia el sur a lo largo de la llanura costera, de la base de los declives correspondientes de la Sierra Madre Oriental. En Hidalgo se encuentran como climas sucesorios que da pauta a los templados y muy asociado a bosques de pino y encino.

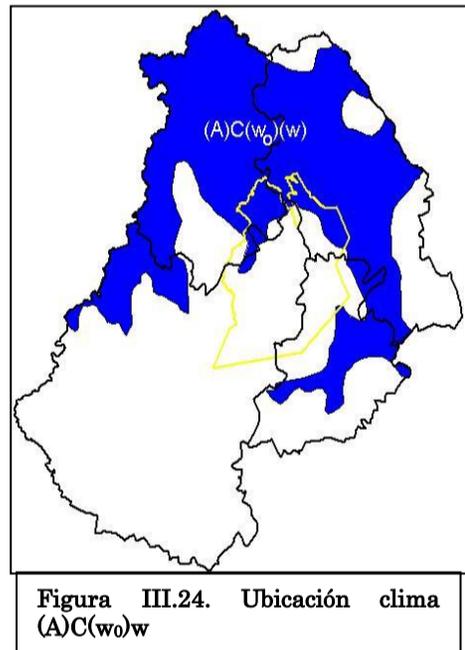
El primer grupo de climas esta conformado por los cálidos húmedos (A).

**(A)C(w<sub>0</sub>)w** (Figura III.24).

1. **(A)C**: Clima semicálido con temperaturas medias anuales mayores de 18 °C;
2. **(w<sub>0</sub>) w**: Subtipo de clima subhúmedo con lluvias en verano y sequía en invierno con un % de lluvia invernal menor de 5. Esta clasificación corresponde a los más secos de los subhúmedos con un coeficiente P/T menor de 43.2.

Cubre un área de 7-75-19 ha y ubicado en los municipios de Pacula, Jacala, Nicolas Flores y Zimapán con porcentajes del área municipal de 90%, 74%, 32% y 11% respectivamente.

En general se puede decir que a pesar de tener lluvias en verano, la humedad es baja en el ambiente pero no en el suelo donde se tienen de 7 a 9 meses de humedad con lo cual favorece la formación de capas vegetales y todos los procesos relacionados con ello para finalmente incidir en el crecimiento de pino y encino, ejemplo de ello son los bosque de pino y encino (con sus respectivas combinaciones) en los municipios de Jacala y Pacula. La humedad en el suelo de casi ¾ partes del año ayuda a crear una capa de bruma en las mañanas evitando con ello las perdidas de humedad por las corrientes frías y nubosidad ligera en el día reduciendo las temperaturas y el fenómeno de albedo. En lo que respecta a su temperatura se considera semicálidos en verano con inviernos frescos con ligeras corrientes de aire en promedio, sin embargo la temperatura promedio es de 14 °C. En las regiones de tierra Colorada, Agua Fría Grande y Chica, municipio de Jacala, se registran descensos en época frías hasta de -2 a 3 °C.



Debido a la situación de la República Mexicana en la zona de alta presión y aires descendentes y a la orientación general de sus amplias sierras en relación con los mares, existen en México, especialmente en la porción septentrional los climas secos y áridos (**B**). Los climas **BS** bordean a los **BW**.

Este segundo grupo de climas del área de estudio, se encuentra específicamente en la región sur y sur occidente del estado de Hidalgo y cuya descripción se basa en climas templados de la sierra Madre Oriental y Sierra Volcánica Transversal (Eje Neovolcánico). Este clima tiene dos variables, cuya diferencia estriba en la cantidad de humedad y su concentración de lluvias y están asociadas a comunidades de pino-encino en las partes altas y a vegetación de chaparral en las bajas.

La primera clasificación es el semiseco **BS<sub>1</sub>**, ahora bien, el **BS<sub>1</sub>** tiene un coeficiente de P/T (precipitación total anual / temperatura media anual) mayor de 22.9. El subíndice uno significa que dentro de las clasificaciones de los climas B, el **BS<sub>1</sub>** es el de mayor humedad de los tres tipos, le sigue el **BS<sub>0</sub>** que corresponde a un clima seco y el **BW** a un clima muy seco (desértico).

Los climas específicos para **BS<sub>1</sub>** son:

**BS<sub>1</sub>(h')hw(w)** (Figura III.25)

- **BS<sub>1</sub>**: Clima seco subtipo semiseco por su humedad y muy cálido por su temperatura;
- **(h')**: Temporadas cálidas con temperatura media anual mayor a 22 °C, con una temperatura del mes más frío inferior a 18 °C;
- **w(w)**: Régimen de lluvias en verano con un 5% de lluvias invernales respecto al total anual.

Cubre un área de 21-23 ha y ubicado en los municipios de Pacula y Jacala con porcentajes del área municipal de 0.5% y 6% respectivamente.

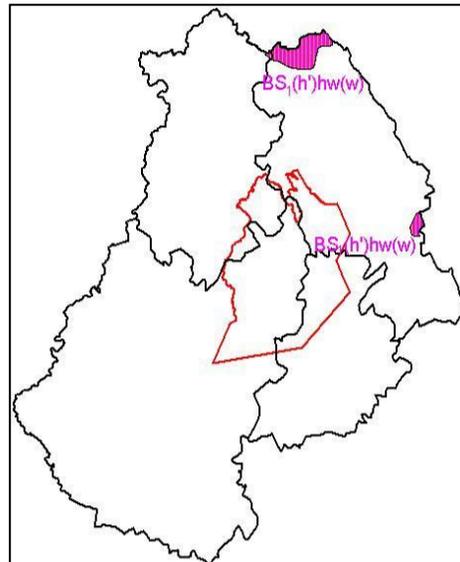


Figura III.25. Ubicación clima BS<sub>1</sub>(h')hw(w)

Existen dos porciones de esta clasificación, el primero ubicado en la parte superior de la prolongación geológica que conforma la Barranca de Meztlán y que se establece en la parte oriente de la zona de estudio, justo donde se produce la entrada del río Amajac. La otra porción se establece en la parte Norte de los cuatro municipios, en el límite con el estado de Querétaro y la Reserva de la Sierra Gorda, en esta región en particular, la orografía muestra paredes verticales a la rivera del río Moctezuma y donde más adelante hacia el este las elevaciones capturan toda la humedad (Zona de las Huastecas) dando por resultado este clima. En general ambas son regiones cálidas en donde el aire ha perdido casi toda su humedad al paso por las regiones altas y presionado por movimientos convectivos impulsa más el aire frío que el caliente hacia la atmósfera.

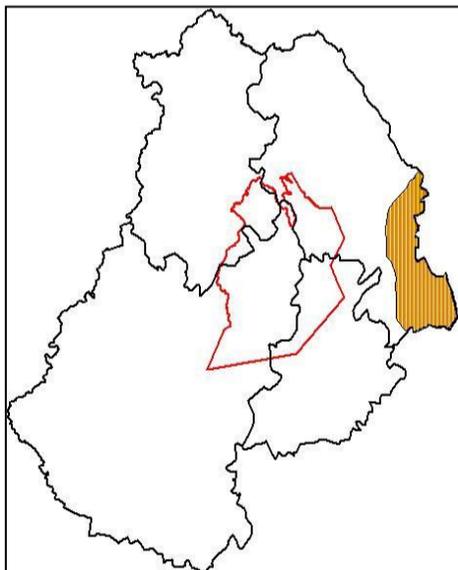


Figura III.26. Ubicación clima BS<sub>1</sub>hw(w)

**BS<sub>1</sub>hw(w)** (Figura III.26)

**BS<sub>1</sub>**: Clima seco subtipo semiseco por su humedad y muy cálido por su temperatura.

- **h**: Temporadas semicálidas con invierno fresco, temperatura media anual mayor de 18 °C, con una temperatura del mes más frío inferior a 18 °C;
- **w(w)**: Régimen de lluvias en verano con un 5% de lluvias invernales respecto al total anual.

Cubre un área de 78-96 ha y ubicado en el municipio de Jacala con un porcentaje del área municipal del 18%.

Este clima está en el valle que forman las elevaciones de la huasteca y las elevaciones de la región de estudio y donde también golpean los vientos provenientes del Golfo de México en su descenso de la huasteca. La orografía de la Barranca de Meztlán conduce los vientos hasta esta zona donde rompen ya sin humedad, solo la conducción en épocas ciclónicas y de nortes inyecta humedad en periodos cortos pero intensos.

**BS<sub>1</sub>hw BS<sub>1</sub>**: Clima seco subtipo semiseco por su humedad y muy cálido por su temperatura;

- **h:** Temporadas semicálidas con invierno fresco, temperatura media anual mayor de 18 °C, con una temperatura del mes más frío inferior a 18 °C;
- **w:** Régimen de lluvias en verano con un intervalo del 5% al 10.2% de lluvias invernales respecto al total anual.

Cubre un área de 17-27 ha y ubicado en el municipio de Zimapán con un porcentaje del área municipal del 20%.

Este tipo de clima se localiza en la porción territorial conformado principalmente por el Valle de Zimapán y donde la circulación de vientos es controlado por los cerros que circunscriben a la cuenca y la dominancia de los vientos en época de inviernos y de ciclones. La cuenca en donde se localiza el Valle de Zimapán es exorreica y cuyo rompimiento se encuentra en la parte sur hacia la presa de Zimapán, esto último conforma el otro segmento del clima descrito, cabe mencionar que el espejo de agua le confiere características a la zona de la presa de Zimapán, entre ellas: que el espejo de agua forma una nube de vapor de grandes proporciones y con ello modifica el microclima circunscrito; el fenómeno del albedo y cuerpo oscuro que incrementado por la poca vegetación permite temperaturas extremas, elevaciones con paredes casi verticales que reducen la circulación de los vientos, como el lugar donde se ubica la presa y suelo conformado por roca a la intemperie cuya incidencia del sol magnifica el fenómeno del albedo.

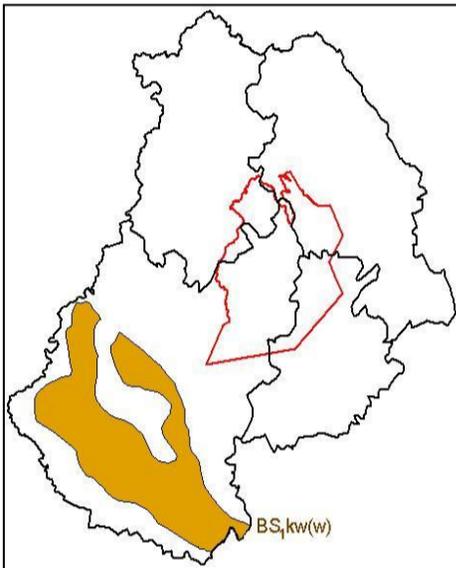


Figura III.27. Ubicación clima BS<sub>1</sub>kw(w)

**BS<sub>1</sub>kw(w)** (Figura III.27)

- **BS<sub>1</sub>:** Clima seco subtipo semiseco por su humedad y muy cálido por su temperatura;
- **k:** Temporadas templadas con veranos cálidos en donde la temperatura media anual oscila entre 12 y 18 °C, con una temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C, existiendo para el mes más cálido una temperatura superior a los 18 °C.
- **w(w):** Régimen de lluvias en verano con un 5% de lluvias invernales respecto al total anual.

Cubre un área de 27-16 ha y ubicado en el municipio de Zimapán con un porcentaje del área municipal del 31%.

Relacionado mucho con el clima anterior, ya que lo circunscribe y remata las elevaciones del valle de Zimapán. Las diferencias de altura entre el valle y los cerros aledaños es del orden de los 500 metros lo cual sirve para crear barrera que aísla dos ecosistemas, el del valle y el de la presa. El área cubierta por este clima es

embestida por los vientos que provienen de las montañas y que carecen de humedad y por lo tanto sustraen la poca que pudiera existir en el suelo y en la noche con las bajas temperaturas y con ello terminar de secar el suelo.

El tercer grupo que predomina en el área de estudio son los Templados (**C**). Existen en México, amplias zonas con clima C que se localizan en las zonas montañosas o llanuras de altitud superior a 800-1,000 msnm, en lugares en donde la temperatura media de un mes desciende por lo menos, por debajo de 18 °C.

**C(w<sub>0</sub>)(w)** (Figura III.28)

- **C:** Clima templado, en general con temperaturas medias anual entre 12 y 18 °C;
3. **(w<sub>0</sub>)w:** Tipo de clima subhúmedo con lluvias en verano y sequía en invierno con un % de lluvia invernal menor de 5. Esta clasificación corresponde a los más secos de los subhúmedos con un coeficiente P/T menor de 43.2. Cubre un área de 27-16 ha y ubicado en el municipio de Zimapán con un porcentaje del área municipal del 11%.

En general tiene humedad baja ambiental y de 7 – 8 meses de humedad en el suelo. Las lluvias son en verano. Es de los climas más agradables para las actividades humanas; las comunidades que circundan esta área (Durango, Maguey Verde y Los Puertos) aprovechan para dedicarse al comercio en el derecho de vía.

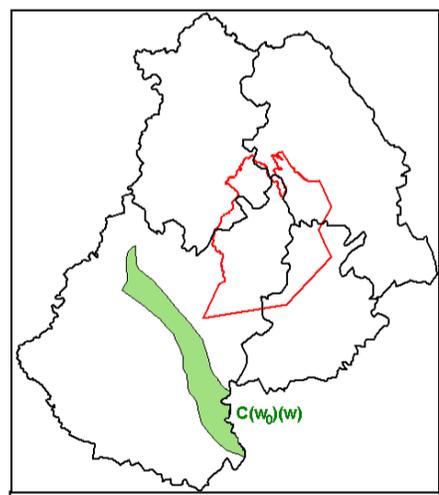


Figura III.28. Ubicación clima C(w<sub>0</sub>)(w)

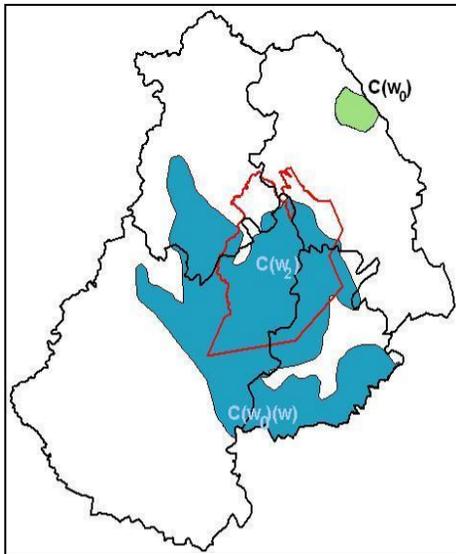


Figura III.29. Ubicación clima C(w<sub>2</sub>) y C(w<sub>2</sub>)(w)

**C(w<sub>2</sub>) y C(w<sub>2</sub>)(w) (Figura III.29)**

- **C:** Clima templado, en general con temperaturas medias anual entre 12 y 18 °C;

4. **(w<sub>2</sub>) / (w<sub>2</sub>)(w):** Tipo de clima subhúmedo con lluvias en verano y sequía en invierno con un % de lluvia invernal entre 5 y 10.2. Esta clasificación corresponde a los más húmedos de los subhúmedos con un coeficiente P/T menor de 55.0.

Tienen una alta humedad propiciada por las lluvias en verano, lo cual mitiga los inviernos secos.

Cubre un área de 5-40-95 ha y ubicado en los municipios de Pacula, Jacala, Nicolas Flores y Zimapán con porcentajes del área municipal de 9.5%, 2%, 68% y 20% respectivamente.

En general, los límites entre estos climas y los climas A o B, dependen de la altitud, de la latitud y de la exposición a los vientos húmedos, en este caso provenientes del Golfo de México. En aquellas zonas que se encuentran

directamente expuestas a la influencia de vientos húmedos, la transición es de climas calientes húmedos A a climas C; en cambio, en las zonas menos expuesta a dichos vientos, la transición es de climas secos B a climas C.

### III.8.3 Dinámica climática

Los elementos climáticos se correlacionan con elementos geográficos y humanos; una correlación marcada es la dada por el elemento agua. La escasez o la abundancia del agua determinan el grado de desarrollo y de recursos naturales que en el área de estudio es evidente. La Tabla III.2, elaborada por la Comisión Nacional del Agua (CNA) detalla y relaciona elementos atmosféricos de cada una de las Subregiones que integran el estado de Hidalgo. La zona de estudio comprende parte de la Subregión Pánuco y la Subregión Tula. Esta Clasificación es abordada en el apartado de hidrología.

Tabla III.2. Síntesis climática según la agrupación de subregiones de la CNA

SUBREGIÓN	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL(mm/año)	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	EVAPORACIÓN POTENCIAL MEDIA ANUAL (mm/año)	CLIMA
TULA	1267.50	16.19	93.05	De semiseco templado a templado subhúmedo
VALLE DE MEXICO	485.00	13.55	14.52	De semiseco templado a templado subhúmedo
VERACRUZ NORTE	1013.98	16.62	14.92	De templado a Húmedo
PANUCO	1403.23	16.64	1.25	De templado subhúmedo a semiseco semicálido
ESTADO DE HIDALGO	858.74	16.19	93.05	

Fuente: CNA. Cuadros estadísticos del programa hidráulico estatal al 2020 de Hidalgo.

La información de la región sur de la zona de estudio fue modelada en el programa Surfer para una mejor aproximación de los elementos descritos, el modelo no contiene el elemento 3D que sería la orografía del terreno. La Tabla siguiente es la que sirvió para la alimentación al programa.

En las estaciones climatológicas listadas en la Tabla III.3, existen elementos comunes como: cercanía entre ellas, que están constituidas alrededor del valle de Zimapán, relación climática y ambiental (humedad del suelo, vientos, altitud y orografía pobre). Solo existen estas seis estaciones en la zona de estudio; rodean al área otras seis pero la modelación será presentada en el diagnóstico.

Tabla III.3. Resumen de los datos climáticos para la zona de estudio (1960-2004).

X	Y	Estación	Elevación msnm	Temp Max °C	Temp. Min. °C	Temp prom °C	Pres. Max mm/24H	Pres. Pluvial mm/año	Evap. mm/año	Heladas días/año
465244	2281654	Xitha	1300	28,91	3,40	15,88	11,72	358,55	1.513,51	22
458644	2292919	Zimapan	1813	28,19	8,50	17,61	16,20	111,31	648,00	26
495834	2286752	Tixqui	1850	26,93	4,62	14,91	11,15	460,02	1.220,26	15
468353	2272917	Tasquillo	2040	32,04	6,62	19,06	12,24	337,34	2.273,47	15
489005	2285126	Santuario	2300	25,14	3,15	13,91	13,85	509,28	1.484,39	32
478330	2308499	Encarnación	2330	24,44	3,42	13,84	25,81	1.136,11	1.054,33	30

Fuente: CNA para Xitha, Tixqui, Tasquillo, Santuario, Encarnación; Protección Civil municipal para Zimapán (2004)

De las estaciones climáticas que se describen en la Tabla III.3 son todas operativas y a cargo de distintos organismos pero toda la información es recopilada por la CNA, incluyendo la de la estación que se encuentra en la Presa Hidroeléctrica Zimapán, sin embargo, en la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) maneja las siguientes estaciones, todas las pertenecientes a la Región Hidrológica 26:

26C123	Mesa el Maguey
26C124	Jacala
26C190	Zimapán
26C191	Encarnación
26C224	Xitha

Tres de cinco estaciones son operativas en la actualidad, las dos siguientes solo operaron hasta 1985 y la información se encuentra dispersa en las bibliotecas de la CNA y la SAGARPA.

### III.8.4 Temperaturas máximas

El intervalo de medición estuvo de los 24.44 °C a los 28.31 °C. Se puede establecer, independientemente de la orografía que se descende un grado centígrado por cada 250 metros de altura (Figura III.30).

Uno de los factores de las altas temperaturas (Tabla III.4), es la entrada de aire caliente proveniente del Valle del mezquital en los meses de marzo a junio, el efecto de aire seco barlovento proveniente del Golfo de México y la acumulación de vapor de agua en el sistema de la Presa Hidroeléctrica Zimapán.

Según el boletín climatológico No. 25 de la Región Hidrológica No. 26, el cual presenta un análisis de las observaciones desde 1951 a 1980, describe que para la zona de estudio se registraron temperaturas máximas de 45 °C para Zimapán, 36 °C para La Encarnación y 42 °C para Pacula. Para dicho periodo se establecieron dos zonas termicas, la primera en el Valle de Zimapán donde un microclima aparece encerrado y en la parte norte de Jacala y Pacula donde conjugado con la evapotranspiración de la vegetación constituyó otro clima abrasivo (Figura III.31).

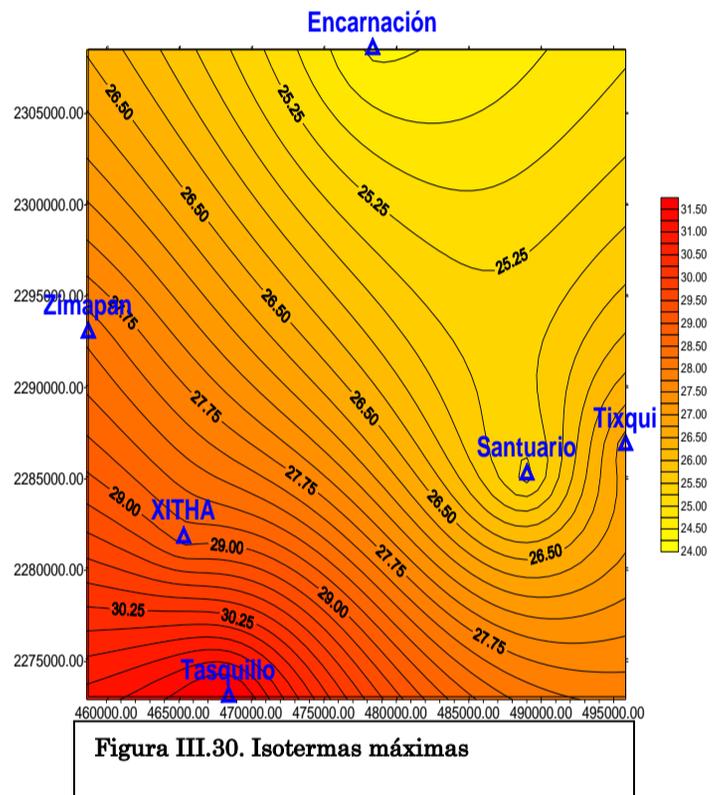


Figura III.30. Isotermas máximas

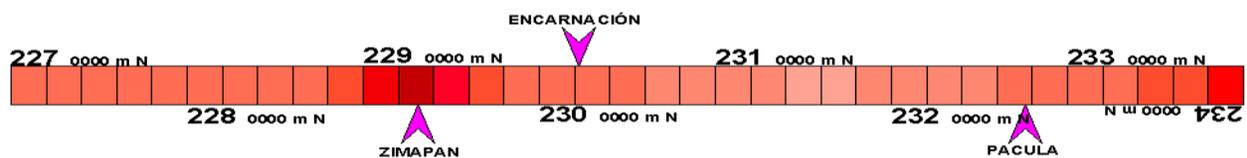


Figura III.31. Histórico de isotermas máximas

Tabla III.4. Temperaturas máximas (1980-2003)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Xitha	26.70	28.45	31.30	32.45	32.80	30.31	28.76	27.71	27.55	27.43	27.38	26.26
Tixqui	26.89	26.61	27.11	28.00	29.72	28.56	28.61	26.03	25.82	26.11	26.59	27.27
Tasquillo	29.13	40.10	32.83	33.72	34.91	33.66	31.09	30.88	30.29	30.28	29.79	28.58
Santuario	23.45	24.82	26.63	27.20	27.87	25.75	25.33	24.96	23.78	24.00	23.85	23.68
Encarnacion	22.54	24.15	26.03	27.76	28.14	26.71	24.58	23.37	23.21	22.96	22.65	22.19

### III.8.5 Temperaturas mínimas

El modelo indica que las temperaturas mínimas (Tabla III.5), se presentan en el valle de Zimapán, por circunstancias propias de la cuenca, un fenómeno similar ocurre en la población de Tixqui.

Estaciones como Santuario y Encarnación que por ser lugares altos y estar expuestos a una mayor circulación de los vientos aumenta la circulación de la temperatura y la ruptura de células termales (Figura III.32).

Sin embargo, la vegetación alta sirve para atrapar y perdurar dichas células hasta que se de un mayor gradiente termal provocado por una mayor insolación, aumento en la velocidad y temperatura del viento.

Tabla III.5. Temperaturas mínimas (1980-2003)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Xitha	-0.17	0.29	0.67	3.57	5.71	7.24	6.76	7.17	5.88	2.76	1.24	0.10
Tixqui	2.83	3.44	4.22	5.50	6.13	6.58	5.47	5.17	5.39	4.26	3.94	4.13
Tasquillo	2.13	3.03	4.64	8.14	10.33	10.71	10.75	11.02	9.50	6.53	4.05	2.65
Santuario	-0.07	0.61	2.17	3.48	5.43	5.35	5.67	5.08	4.61	2.86	1.70	0.07
Encarnacion	-0.12	0.28	1.81	4.79	6.21	6.26	6.61	6.27	4.44	2.46	1.13	0.57

Fuente: CNA con datos modificados por el autor

### III.8.6 Temperaturas promedio

Observando la imagen III.33 generada por el programa y analizando las temperaturas máximas y temperaturas mínimas se puede concluir que es una combinación de ambas (Tabla III.6). Se conservan rasgos sobresalientes como los puntos donde se realiza un quiebre de línea para ejemplificar máximos / mínimos. Se conserva también rasgos topográficos y líneas de tendencia de los gradientes de temperatura de lugares altos a zonas bajas y en algunos casos valles.

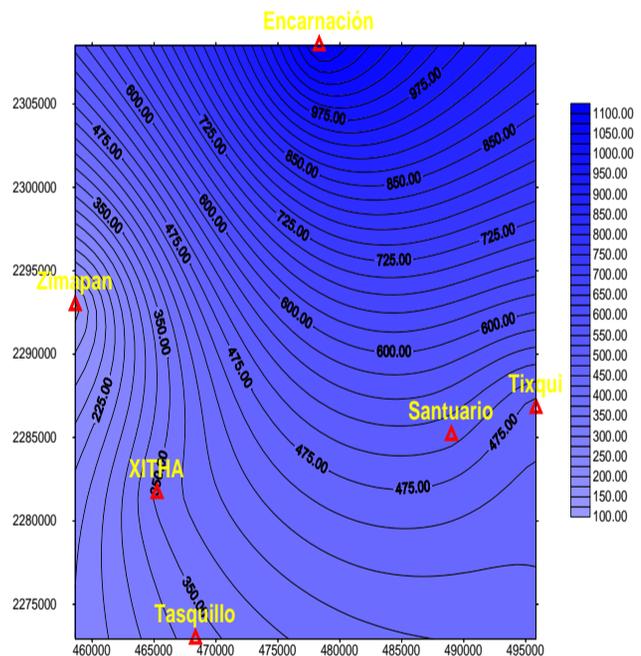


Figura III.33. Isoyetas promedio

Tabla III. 6. Temperaturas promedio (1980-2003)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Xitha	12.73	13.81	15.98	18.02	19.02	18.12	17.30	17.30	16.20	14.96	14.21	12.75
Tixqui	14.12	14.49	14.76	15.71	16.81	16.14	15.72	14.78	15.11	15.18	14.79	14.90
Tasquillo	2.13	3.03	4.64	8.14	10.33	10.71	10.75	11.02	9.50	6.53	4.05	2.65
Santuario	11.84	12.57	14.43	15.30	16.05	15.06	14.84	14.83	13.74	13.35	12.63	12.00
Encarnacion	10.53	12.31	14.10	15.95	16.86	15.84	15.17	14.83	14.07	13.11	12.16	11.41

Fuente: CNA con datos modificados por el autor

### III.8.7 Precipitación pluvial anual

El comportamiento de la precipitación es todo lo contrario del comportamiento de temperaturas. Los máximos se establecen en las partes altas de los cerros donde se precipita debido a los cambios de temperatura y dirección de los vientos Tabla III.7.

Durante el día, el aire que se encuentra en inmediato contacto con las laderas de los cerros se calienta más que el aire que se encuentra un poco más arriba. Esto determina que el aire en inmediato contacto con el suelo adquiera movimiento ascendente haciendo que se produzca un movimiento de partículas hacia arriba, a lo largo de la pendiente, es decir, son corrientes adiabáticas. La intensidad de una corriente adiabática decrece a medida que se acerca la hora de puesta del sol y desaparece por completo durante la noche. La existencia de asociaciones vegetales sirve para contener estas corrientes o en otros casos desviar su dirección y con ello magnifica el efecto de erosión eólica. Sin embargo la conjunción de estos fenómenos provoca las fuertes precipitaciones en la parte norte del área y la zona del PNLM.

Durante la noche, el enfriamiento que experimentan las laderas de los cerros produce un fuerte enfriamiento en las partículas de aire que se encuentran en su inmediato contacto. Las partículas enfriadas, por haber aumentado de peso, comienzan a resbalar cuesta abajo dando origen a que se forme un viento desde la parte más alta de los cerros hacia su parte inferior hacia los valles. Lo anterior se conoce con el nombre de vientos katabáticos.

Tabla III.7 Presipitación pluvial anual (1980-2003)

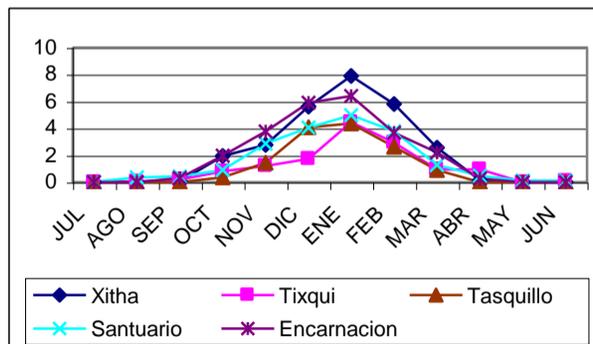
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Xitha	6.45	10.44	7.79	26.96	27.92	66.12	60.19	46.30	66.29	35.99	14.03	3.63
Tixqui	4.12	11.26	12.83	32.08	21.01	60.14	79.52	74.39	111.06	39.03	24.12	1.14
Tasquillo	8.61	8.22	7.42	24.66	45.20	57.68	56.91	39.21	58.18	30.79	8.07	5.17
Santuario	12.51	9.32	9.67	28.44	51.36	91.80	73.78	76.44	97.90	39.35	14.69	5.72
Encarnacion	26.87	16.82	24.85	42.65	55.54	165.11	163.68	176.88	262.20	127.87	43.41	19.52

Fuente: CNA con datos modificados por el autor

### III.8.8 Heladas (días al año)

El comportamiento de las heladas es muy similar al de la precipitación, ambos son fenómenos atmosféricos basados en las propiedades del agua. Los días de frío intenso (por debajo de los 4 °C, en promedio) se acrecientan por las entradas de nortes, mas de 54 en la última temporada) y donde la mayor intensidad conjugada con el viento se da en las alturas. Los fríos remanentes duran más de 4 días en donde el gradiente de temperatura es cercano al cero (Figura III.34).

Solo cambios drásticos en la dirección del viento y una apertura casi total de los cielos aumenta el gradiente. Lo anterior es general para las zonas de montaña, pinos de coníferas y de encinos.



### III.8.9 Zonificación climática

#### Zona cálido-subhúmeda

(A)C(w<sub>0</sub>)w

5. Selva baja
6. Selva mediana subcaducifolia
7. Selva mediana caducifolia
8. Matorral subtropical

#### Zona templado subhúmeda

BS<sub>1</sub>(h')hw(w)

BS<sub>1</sub>hw(w)

BS<sub>1</sub>hw

BS<sub>1</sub>kw(w)

- Bosque de oyamel
- Bosque de pino
- Bosque de pino-encino
- Bosque de táscate
- Bosque de cedro
- Bosque de encino
- Bosque de encino-pino
- Bosque bajo abierto
- Matorral de coníferas

#### Zona semiárida

C(w<sub>2</sub>)

C(w<sub>0</sub>)(w)

C(w<sub>2</sub>)(w)

- Selva baja espinosa
- Mezquital
- Matorral submontano
- Matorral espinoso tamaulipeco
- Chaparral
- Pastizal natural
- Pastizal – huizachal

## III.9 AIRE

### III.9.1 Introducción

En el área de estudio no existen estaciones de monitoreo de la calidad del aire que aportan datos de manera oficial, por lo tanto el diagnóstico expresado se basa en modelos aplicados para industrias y ciudades de entidades gubernamentales tales como la United States Environmental Protección Agency (USEPA), Gobierno del Distrito Federal (GDF) y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

La contaminación del aire incluye elementos de origen natural y emisiones resultantes de actividades humanas. Los contaminantes atmosféricos pueden ser compuestos gaseosos, aerosoles o material particulado. Entre los contaminantes gaseosos se encuentran el ozono, los óxidos de azufre y de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos

volátiles orgánicos e inorgánicos. El material particulado se clasifica, a su vez, en partículas suspendidas totales, partículas suspendidas menores a diez micras y partículas suspendidas con diámetro menor a 2.5 micras. Entre las diferentes fuentes de emisiones a la atmósfera podemos distinguir dos grandes tipos: las fuentes fijas y las móviles.

### III.9.2 Fenómenos atmosféricos en relación a las actividades antropogénicas

Las actividades humanas influyen en el clima, y en el área de estudio se ejemplifica por la quema de basura en los municipios de Zimapán y Nicolas Flores y la dispersión de partículas producto del triturado de rocas en las industrias de Zimapán.

### III.9.3 Orografía

Debido a la orografía de la zona de estudio se dan una serie de fenómenos atmosféricos característicos y correlacionados con el clima, dominancia de vientos, vegetación y actividades humanas.

El Valle de Zimapán se considera una cuenca exorreica, es decir una cuenca abierta y donde existe circulación de los vientos con salidas en las vertientes sur y suroeste lo cual permite la circulación de los vientos en la mayoría del año, sin embargo en épocas de nortes o de fuertes vientos del Golfo de México provoca una concentración e inversión térmica en invierno (Figura III.35).

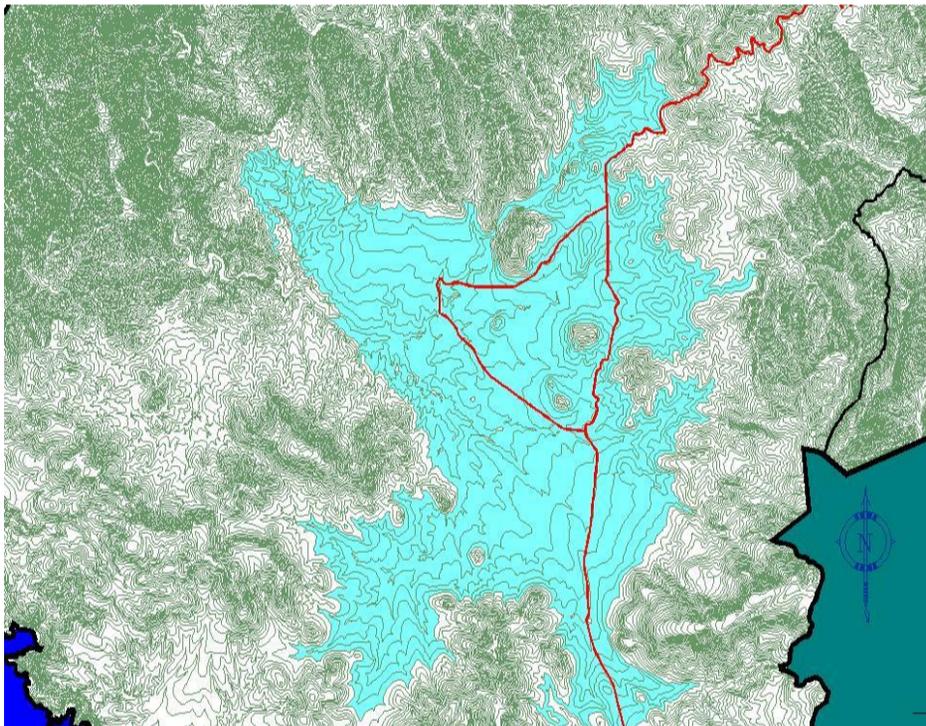


Figura III.35. Ubicación y extensión del Valle de Zimapán. en el municipio del mismo nombre.

### III.9.4 Inversión térmica

En el valle de Zimapán se da el principal fenómeno atmosférico / antropogénico: la inversión térmica. La presencia de cadenas montañosas que rodean a dicho valle en la parte norte pertenecen a la Sierra Madre Oriental y en el sur al Eje Neo volcánico, en el interior existen cerros aislados o cadenas de montañas que puede producir fuertes alteraciones en el sentido de la circulación del aire.

### III.9.5 Fuentes de emisiones a la atmósfera

#### III.9.5.1 Fuentes Fijas

Una Fuente Fija se define como la instalación o conjunto de instalaciones pertenecientes a una sola persona física o moral, ubicadas en una poligonal cerrada que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios o actividades que

generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. (NOM-085-SEMARNAT-1994). De forma general las fuentes fijas para el área de estudio son comprendidas por:

- Plantas trituradoras de rocas
- Presas de Jales
- Hornos de Pan
- Talleres de Pintura de automotriz
- Estufas y calentadores de agua

Para muchos de los procesos descritos anteriormente no existe información confiable, solo se tienen estimaciones como son, número de aparatos, combustibles, procesos, emisiones directas y balances de materia.

### III.9.5.2 Fuentes puntuales

Derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, textil, alimentaria, maderera, metalúrgica, metálica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Las emisiones derivadas de la combustión utilizada para la generación de energía o vapor, dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de control al final del proceso (filtros, precipitadores y lavadores, entre otros). Los principales contaminantes asociados a la combustión son partículas de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NOx), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC).

Fuentes de área. Incluyen la generación de aquellas emisiones inherentes a actividades y procesos, tales como el consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas LP, principalmente. Esta fuente también incluye las emisiones de actividades como son: el tratamiento de aguas residuales, plantas de composteo, rellenos sanitarios, entre otros. En este tipo de emisión se encuentra un gran número de contaminantes, de muy variado nivel de impacto en la salud.

### III.9.5.3 Fuentes móviles

Ejemplos de fuentes móviles son los aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijas con motores de combustión y similares, que por su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Si bien la definición de fuente móvil incluye prácticamente a todos los vehículos automotores, la NOM para fuentes móviles se refiere básicamente a las emisiones de automóviles y camiones. Los motores de los vehículos son los responsables de las emisiones de CO, de compuestos orgánicos volátiles, SO<sub>2</sub>, y NOx, producidos durante la combustión.

El parque vehicular dentro de los municipios esta conformado y detallado en la tabla III.8. Cabe aclarar que los datos del 2004 están dados al primer trimestre.

Tabla III.8. Parque vehicular por municipio

Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004
Jacala	Diesel	34	39	45	49	50	Nicolas Flores	Diesel	5	5	6	8	8
	Gas L.P.	2	2	2	0	0		Gas L.P.	0	0	0	0	0
	Gasolina	1,082	1,251	1,704	1,853	1,995		Gasolina	190	230	352	396	428
	Total	1,118	1,292	1,751	1,902	2,045		Total	195	235	358	404	436
Pacula	Diesel	33	29	33	34	36	Zimapan	Diesel	519	519	549	530	528
	Gas L.P.	0	0	0	0	0		Gas L.P.	6	8	10	8	10
	Gasolina	398	484	617	688	726		Gasolina	5,714	6,735	7,703	8,038	8,343
	Total	431	513	650	722	762		Total	6,239	7,262	8,262	8,576	8,881

Fuente: COEDE, información modificada y calculada por el autor.

Las consideraciones que se tomaron en cuenta para los cálculos de factores de emisión del parque vehicular son las siguientes:

1. Los autos particulares a gasolina representan el 84% del total de cada año, 15% son vehículos de carga a gasolina menor a 3 toneladas y el 1% restante son motocicletas.
2. El promedio de año en los vehículos particulares es de 1998.
3. El uso de gas licuado de petróleo es utilizado solo por vehículos de carga menores a 3 toneladas y de tecnología superior al año 2000.

4. La totalidad del uso del diesel es por camiones de carga mayores a 3 toneladas y de antigüedad en promedio mayor a 15 años.
  5. No se incluyo los camiones foráneos de pasajeros.
  6. No se incluyo a tractocamiones, tractores ni autoimplementos agrícolas.
  7. No se segrego por año, modelo y uso.
  8. Se contempla el cálculo con hidrocarburos totales.
9. La totalidad de los vehículos utilizados en él calculo son con placas en el estado de Hidalgo.
  10. Existen más de 450 vehículos con placas foráneas estatales no incluidos en el cálculo. Incluye vehículos a carga menores a 3 toneladas.
  11. Existen alrededor de 55 camiones del Servicio Público Federal de Carga superiores a las 50 toneladas / viaje.
  12. Se desconoce el valor de los kilómetros recorridos en promedio por cada tipo de transporte, por lo tanto los resultados son puestos en g/Kg/año. (partes por mil/año).

Después de considerar los puntos anteriores, se realizo el cálculo de los hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno emitidos anualmente y los cuales están dados en la Tabla III.9 La gran mayoría de las emisiones son generadas por camiones pesados de carga, transporte de pasajeros local y foráneo.

**Tabla III.9. Parque vehicular emisiones de hidrocarburos (HC) [g/Kg] anual**

Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004
Jacala	Diesel	186.29	213.68	246.56	268.47	273.95	Nicolas Flores	Diesel	27.40	27.40	32.87	43.83	43.83
	Gas L.P.	0.56	0.56	0.56	0.00	0.00		Gas L.P.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gasolina	1,301.48	1,504.76	2,049.65	2,228.88	2,399.68		Gasolina	228.54	276.65	423.40	476.33	514.82
	Total	1,488.33	1,719.00	2,296.77	2,497.35	2,673.63		Total	255.94	304.05	456.28	520.16	558.65
Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004
Pacula	Diesel	180.81	158.89	180.81	186.29	197.24	Zimapan	Diesel	2,843.60	2,843.60	3,007.97	2,903.87	2,892.91
	Gas L.P.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Gas L.P.	1.68	2.24	2.80	2.24	2.80
	Gasolina	478.73	582.18	742.16	827.56	873.27		Gasolina	6,873.07	8,101.17	9,265.53	9,668.48	10,035.35
	Total	659.54	741.07	922.96	1,013.84	1,070.51		Total	9,718.35	10,947.02	12,276.30	12,574.59	12,931.06

Fuente: COEDE, modificado por el autor.

La Tabla III.9 describe las emisiones de hidrocarburos en g/kg generadas anualmente. La descripción es hecha por municipio y su consumo de diferentes combustibles contra lo generado desde el 2000 al 2004 (marzo).

El mayor consumo de combustible se da en el municipio de Zimapan, seguido de Jacala, Pacula en tercer lugar y finalmente Nicolas Flores. Los únicos que emiten hidrocarburos por consumo de gas L.P. son Zimapan en primer lugar y seguido por Jacala. La mayor generación se da por la quema de gasolina incrementandose cerca de un 60% desde el 2000 al 2004. En lo que respecta a las emisiones por diesel, solo se han mantenido estables en Zimapan y Pacula pero en Jacala y Nicolas Flores se han duplicado las emisiones.

En lo que respecta a las emisiones de monóxido de carbono (CO), resultado de la combustión incompleta de los combustibles fósiles, los cuales depende directamente de las tecnologías de los motores de combustión interna obteniendose los siguientes resultados. Tabla III.10 Las emisiones por gasolina que se dan mayormente en el municipio de Zimapan y desde el año 2000 solo se han incrementado cerca del 30%. El segundo lugar lo tiene Jacala, pero su incremento se ha dado cercano al 50%. Solo el CO en diesel en Zimapan resulta significativo y se mantenido estable en el periodo estudiado. En Nicolas F. se incremento un 40% las emisiones por diesel en el 2004 contra el 2000.

El factor de emisión de CO/persona es de 1.65 g/kg para Zimapan, 0.40 g/kg en Nicolas F., 0.99 g/kg para Jacala y finalmente 0.88 g/kg en Pacula. El cálculo es para el año 2004 en lo referente a las emisiones contra la población total por municipio en el censo del 2000.

**Tabla III.10 Parque vehicular emisiones de monoxido de carbono (CO) [g/Kg] anual**

Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004
Jacala	Diesel	408.75	468.86	540.99	589.08	601.10	Nicolas Flores	Diesel	60.11	60.11	72.13	96.18	96.18
	Gas L.P.	0.60	0.60	0.60	0.00	0.00		Gas L.P.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gasolina	6,659.03	7,698.89	10,480.96	11,397.48	12,268.93		Gasolina	1,168.64	1,413.92	2,162.74	2,433.97	2,630.19
	Total	7,068.38	8,168.35	11,022.55	11,986.56	12,870.03		Total	1,228.75	1,474.03	2,234.87	2,530.14	2,726.37
Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004
Pacula	Diesel	396.73	348.64	396.73	408.75	432.79	Zimapan	Diesel	6,239.42	6,239.42	6,600.08	6,371.66	6,347.62
	Gas L.P.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Gas L.P.	1.80	2.40	3.00	2.40	3.00
	Gasolina	2,464.03	2,988.53	3,806.94	4,243.02	4,477.46		Gasolina	35,407.71	41,668.48	47,625.61	49,666.31	51,535.14
	Total	2,860.75	3,337.17	4,203.66	4,651.77	4,910.25		Total	41,648.93	47,910.30	54,228.69	56,040.37	57,885.76

Fuente: COEDE, modificado por el autor.

Los óxidos de nitrógeno, componente fundamental como ignidor y antidetonante para la

combustión de los combustibles. Tabla III.11. El diesel es quien tiene la mayor fracción en su composición respecto a la gasolina, ya que es más pesado. Finalmente en Zimapán el diesel es quien emite la mayor parte de los NOx y se han mantenido estables, alrededor de las 8,400 g/kg. La emisión por gasolina no es significativa, ya que reduce con el desempeño de motor, en Nicolas F. es similar la emisión por diesel y gasolina. Pacula y Jacala tienen un desempeño similar en sus emisiones, lo que resulta en preponderancia del uso del diesel. En Jacala y Nicolas F., el incremento es similar desde el 2000 al 2004, cercano al 66%.

**Tabla 11 .Parque vehicular emisiones de oxidos de nitrógeno (NOX) [g/Kg] anual**

Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	Municipio	Combustible	2000	2001	2002	2003	2004
Jacala	Diesel	554.51	636.05	733.91	799.14	815.45	Nicolas Flores	Diesel	81.55	81.55	97.85	130.47	130.47
	Gas L.P.	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00		Gas L.P.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gasolina	50.16	57.53	66.39	72.29	73.76		Gasolina	7.38	7.38	8.85	11.80	11.80
	Total	605.66	694.58	801.29	871.43	889.21		Total	88.92	88.92	106.71	142.27	142.27
Pacula	Diesel	538.20	472.96	538.20	554.51	587.12	Zimapan	Diesel	8,464.37	8,464.37	8,953.64	8,643.77	8,611.15
	Gas L.P.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Gas L.P.	3.00	4.00	5.00	4.00	5.00
	Gasolina	48.68	42.78	48.68	50.16	53.11		Gasolina	765.64	765.64	809.90	781.87	778.92
	Total	586.88	515.74	586.88	604.66	640.23		Total	9,233.02	9,234.02	9,768.54	9,429.64	9,395.07

Fuente: COEDE, modificado por el autor.

Tanto para los hidrocarburos como para los NOx, no se estiman factores per capita de emisiones, ya que no son directamente responsables de la salud humana como el CO pero los tres son contaminantes prioritarios del aire.

### III.9.5.4 Fuentes Naturales

Son aquellas que generan emisiones producidas por volcanes, océanos, plantas, suspensión de suelos, emisiones por digestión anaerobia y aerobia de sistemas naturales. En particular a todo aquello emitido por la vegetación y la actividad microbiana en suelos y océanos, que se les denomina emisiones biogénicas, cuyo papel es importante en la química de la troposfera al participar directamente en la formación de ozono. Las emisiones biogénicas incluyen óxido de nitrógeno, hidrocarburos no metanogénicos, metano, dióxido y monóxido de carbono y compuestos nitrogenados y azufrados. El inventario de emisiones de la vegetación (biogénicas) consiste en determinar la cantidad de emisiones de hidrocarburos principalmente por la actividad metabólica de la vegetación, así como de los óxidos de nitrógeno producto de los procesos bioquímicos en el suelo. La estimación se realiza para 1990 km<sup>2</sup>.

#### ▪ Cobertura vegetal

La Tabla III.12 describe los tipos de cobertura vegetal que conforman el área de estudio y de las cuales se realizaron estimaciones de hidrocarburos a la atmósfera, las cuales no se estimaron por la falta de una red de monitoreo atmosférico al igual que las PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

**Tabla III.12. Segregación de coberturas vegetales**

Tipo de Vegetación	Vegetación primaria	Con Vegetación secundaria arbustiva y	Vegetación primaria y Vegetación secundaria	Total general	%
Agricultura de temporal	42.646,29			42.646,29	21,89
Asentamiento humano	151,69			151,69	0,08
Bosque de encino		20.436,13	18.888,10	39.324,23	20,19
Bosque de pino		1.197,19	6.771,93	7.969,12	4,09
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)		11.923,76	15.360,23	27.284,00	14,01
Bosque de táscate		8.344,31	5.242,94	13.587,26	6,97
Bosque mesófilo de montaña		5.246,09	334,50	5.580,60	2,86
Cuerpo de agua	157,78			157,78	0,08
Chaparral	152,37			152,37	0,08
Matorral crasicaule	17.265,91	6.241,03		23.506,94	12,07
Matorral desértico rosetófilo	747,88	14,54		762,42	0,39
Matorral submontano	11.087,52	8.517,90		19.605,42	10,06
Pastizal inducido	10.810,64			10.810,64	5,55
Selva baja caducifolia y subcaducifolia		914,39	2.349,57	3.263,96	1,68
<b>Total general</b>	<b>83.020,07</b>	<b>62.835,35</b>	<b>48.947,28</b>	<b>194.802,70</b>	<b>100,00</b>

#### ▪ Suelos erosionados

La incidencia de la erosión del suelo ocasionada por la velocidad del viento, se ve influenciada casi siempre por la disminución de la cubierta vegetal, originado por el sobrepastoreo o a causa de la eliminación de la vegetación para usos domésticos o agrícolas. De acuerdo con la SEMARNAT, los principales procesos de degradación que se presentan en los suelos del país son, la erosión hídrica, que afecta el 57 % del territorio y la erosión eólica presente en el 23 % de la superficie nacional. La erosión eólica es una fuente generadora de partículas suspendidas y, en particular, las PM<sub>10</sub> son un contaminante de gran importancia debido a sus implicaciones en la salud, debido a que durante la temporada de sequía hay frecuentes excedencias a su norma

(150 mg/m<sup>3</sup>, promedio en 24 horas).

Las partículas se originan de una gran variedad de fuentes antropogénicas fijas y móviles, pero también son de origen geológico, estas últimas pueden contribuir del orden de 70% a 90% a las emisiones de PM10 y con 50% a 80% de PM2.5 (Watson y Chow, 2000), cabe mencionar que están asociadas al uso de suelo y condiciones climáticas del lugar.

Del monitoreo atmosférico – climatológico realizado por la extinta SARH y luego por la CNA en el Valle del Zimapán (estaciones de Xitha, Tasquillo, Encarnación y Zimapán) tienen un comportamiento desde 1965 (aunque existen datos desde 1950, discontinuos y esporádicos), hasta el 2002. Actualmente Protección Civil estableció una estación climatológica en la población de Zimapán a mediados del 2003 y la información generada se esta afinando para incluirla en este estudio.

▪ **Velocidad y Dirección del Viento**

El trazado y monitoreo esta basado en rumbos (0° a 90°) y cada rumbo se puede subdividir hasta obtener 16 picos en la rosa de los vientos (N, NNE, NE NEE, E SEE, SE, SSE, S, SSW, SW, SWW, W, NWW, NW, NNW). Este número de picos es el ideal para trazar el diagrama "Rosa de los Vientos", el cual correlaciona dirección e intensidad en porcentaje de incidencia según la velocidad del viento. Lamentablemente las estaciones monitoreadas solo logran dar detalle para un diagrama de 8 picos. Figura III.36

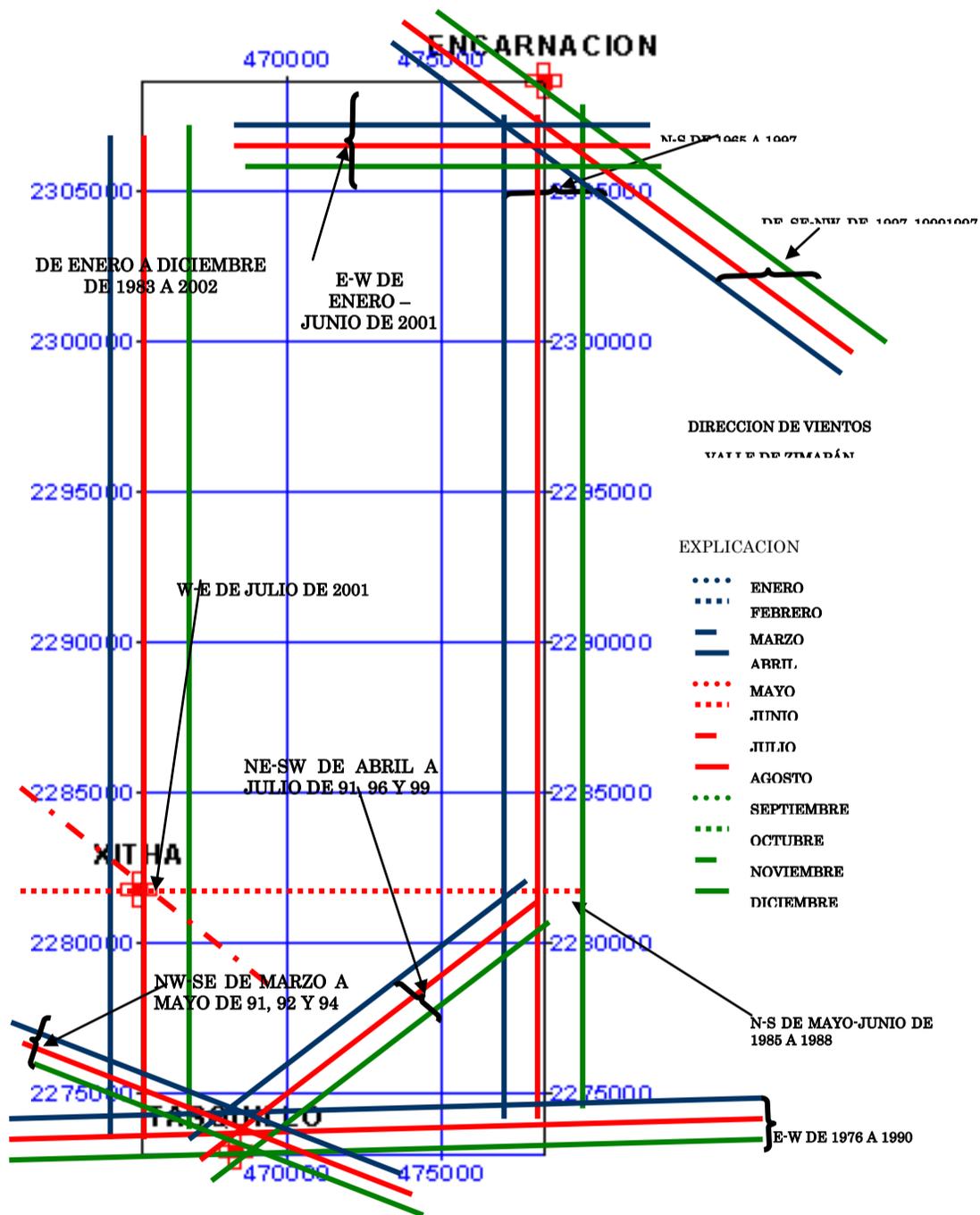


Figura III.36. Diagrama de la dirección de los vientos en el Valle de Zimapán.

De las estaciones climatológicas monitoreadas por la CNA y a cargo del Servicio Meteorológico Nacional, que se utilizaron para la creación de la figura A.36, se tiene un seguimiento de la dirección del viento para La Encarnación, Xitha y Tasquillo, estos puntos conforman el borde del Valle de Zimapán, pero los puntos referidos no detallan la velocidad del viento. Otra estación que para el periodo 2004 se está conformando es la de Protección Civil del municipio de Zimapán la cual es monitoreada en el centro del mismo valle.

La figura A.36 detalla el comportamiento de los vientos, es decir la dirección en que el flujo sopla y se conduce respecto a la topografía. Algunos datos datan desde 1965 al 2003 y se traza el comportamiento mensual de los vientos. Las líneas en diferentes texturas explican en que meses se tiene incidencia o no respecto al monitoreo que se efectúa.

En la estación La Encarnación, durante los meses de Marzo, Agosto y Diciembre del año 1965 hasta principios de 1997 se presentaron vientos predominantes con dirección Norte-Sur. En cambio, en los meses posteriores de 1997 se presentó una variabilidad en la dirección, siendo ahora de SE-NW. También se registraron vientos dirigidos de Este a Oeste en los meses de Enero a Junio del 2001.

En la estación climatológica Xitha, los datos que se tienen corresponden a vientos que van de Este-Oeste en los meses de Mayo a Junio en los años 1985 a 1988 y de SW-SE en Julio del 2001.

La otra estación climatológica que nos proporcionó información respecto al viento es la de Tasquillo, aquí se tienen registrados vientos de E-W desde 1976 hasta 1990; también en los meses de Abril a Julio de 1991, 1996 y 1999 se sabe que los vientos fueron de NE-SW; durante Marzo a Noviembre de 1991 y 1992 el viento sopló en dirección NW-SE. Y fue en 1983 a 2002 cuando se registraron vientos dirigidos de Norte a Sur.

## III.10 SUELO

### III.10.1 Introducción

El suelo es la parte de la corteza terrestre donde se desarrollan todas las manifestaciones de vida en nuestro planeta, constituye una delgada capa cuyo espesor varía entre unos pocos centímetros y dos o tres metros, (Soler, 2002). Es en esos pocos centímetros donde los reinos vegetal y animal se encuentran con el mundo mineral y establecen con él una relación dinámica. Así además de ser el suelo un medio de fijación para plantas, estas obtienen de él, agua y nutrientes necesarios para su desarrollo, constituyendo, al mismo tiempo la base de la cadena alimenticia. Finalmente los residuos vegetales y animales retornan y son incorporados al suelo al ser descompuestos por la numerosa población microbiana que ahí habita (Thompson y Troeh, 1982 *in* Soler, 2002).

Al suelo en su sentido más amplio se le ha considerado como una mezcla de materia mineral, materia orgánica, agua y aire. El volumen ocupado por cada uno de estos componentes en un suelo superficial de textura franca y en condiciones ideales para el desarrollo de las plantas, es aproximadamente como sigue: material mineral 45%; materia orgánica 5%; agua 25% y aire 25%. Es interesante notar que alrededor de la mitad del volumen es espacio poroso (agua y aire).

Los suelos son considerados como cuerpos naturales independientes, cada uno de los cuales presenta una morfología única que resulta de la interacción de la materia viva, la roca de origen, el relieve, el tiempo, el clima y la cubierta vegetal, por lo cual debido a sus diversas características el tipo de vegetación que soportan y el uso al que se destinan varía ampliamente.

El estado de Hidalgo forma parte de la zona centro del país, constituida por una topografía variada donde se encuentran suelos fértiles para las actividades agropecuarias, hasta paisajes boscosos de suelos someros con horizontes ricos en materia orgánica y ecosistemas semiáridos con suelos delgados y rocosos. Los diferentes tipos de suelo presentes en los cuatro municipios que comprende la Región de estudio, contienen alto contenido de carbonatos, derivados de calizas por la acción de la precipitación y la temperatura. Por lo que su presencia está condicionada por el material parental y el clima. Aproximadamente 5,500 Km<sup>2</sup> de los suelos de esta Región (Carso Huasteco) tiene fase lítica, son de origen residual, someros y de desarrollo moderado o incipiente. Las diferentes asociaciones vegetales (Bosque mesófilo de montaña, Bosque de encino, pino, así como selvas y pastizales, estos suelos en su mayoría son de color oscuro destacándose por su abundancia los Leptosoles y los Phaeozems.

### III.10.2 Clasificación

A continuación se presenta la descripción de cada Grupo de suelo según la FAO (1999). La Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) es la sucesora de la Base Internacional de Referencia para la Clasificación de Suelos (IRB), una iniciativa de FAO, apoyada por el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP) y la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, que data de 1980. La intención del proyecto IRB fue trabajar hacia el establecimiento de un esquema a través del cual se pudieran correlacionar los sistemas de clasificación de suelos existentes y armonizar los trabajos de clasificación de suelos en ejecución.

Para la clasificación actual de los grupos mayores de suelos conjugaron las descripciones de la FAO (1988) y FAO (1999), aunado a lo anterior, la base para el texto de la descripción edafológica fue sustraída de la Guía para la Interpretación de Cartografía – Edafología de INEGI (2004), así mismo se realizó una fotointerpretación sobre imágenes satelitales LAND SAT y ortofotos digitales y complementada por puntos de verificación en campo. La carta edafologica del INEGI, hojas F14-11 y F14-8, tienen como base la clasificación de la FAO 1970. La Carta temática del presente estudio esta compuesta por la FAO 1999 modificada por el CRM.

De esta clasificación, en la tabla III.13 se presentan los siguientes grupos de suelos que existen en la Región de estudio así como su porcentaje:

Tabla III.13 Grupos de Suelos.

Grupo	%
Phaeozem (Ph)	17.10
Regosol (Rg)	18.66
Luvisol (Lv)	16.58
Leptosol (Lp)	47.63
Total	100.00

De la anterior clasificación, en la Tabla III.14 se desprenden Los Grupos mayores y las unidades de suelo presentes en la Región de estudio.

En general estos grupos de suelos son someros, pedregosos que subyacen sobre roca, roca parcialmente alterada, o material parental altamente calcáreo, o suelos con una limitada cantidad de material fino.

Tabla III.14. Grupos y Unidades de Suelos.

Grupos	Unidades
Phaeozem (Ph)	Phaeozem háplico (PH+Hh)
	Phaeozem calcarico (Ph+Hc)
	Phaeozem luvico (PH+Hi)
Regosol (Rg)	Regosole calcarico (RG+Rc)
	Regosole eutrico (RG+Re)
Luvisol (LV)	Luvisol crómico (LV+C)
	Luvisol vertico (LV+Vr)
Leptosol (Lp)	Leptosole réndzico (LP+l)
	Leptosole lítico (LP+E)

#### III.10.2.1 Leptosoles (LP). Figura III.40

Los Leptosoles están limitados en profundidad por una roca dura continua o materiales muy calcáreos (carbonato de calcio equivalente de mas del 40%) o por una capa cementada continua dentro de una profundidad de 30 cm a partir de la superficie o con menos del 20% de material fino hasta una profundidad de 75 cm a partir de la superficie; que carecen de otros horizontes de diagnóstico distintos de un horizonte A mólico, Ombrico y Ócrico con o sin un horizonte B cámbico.

Este tipo de suelo cubre una superficie de 93,132.96 ha, equivalente a 47.63%, que se ubican en los cuatro municipios que comprende la región: al Norte, Pacula; al Noreste, Jacala de Ledezma; al Sureste, Nicolas Flores; y

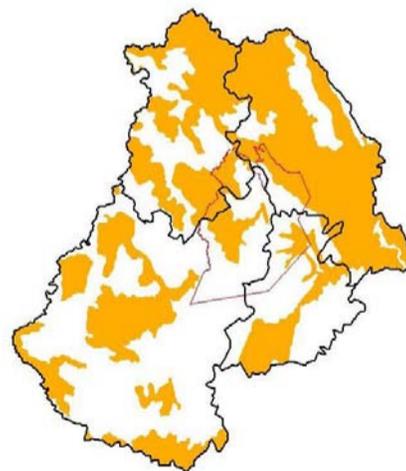


Figura III. 37 Ubicación espacial de suelo Leptosol

al Suroeste, Zimapán de Zavála. Fig. III.37 El porcentaje en terminos territoriales de cada uno de los municipios comprenden el 70%, 75%, 35 y 40% respectivamente.

### III.10.2.1.1 Leptosol Litico (LP-Ii). Fotografía III.1

Del griego *lithos*: piedra. Literalmente, suelos de piedra. Son los suelos más abundantes del país pues ocupan 22 de cada 100 hectáreas de suelo. Se encuentra en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos.

Se caracterizan por su profundidad (<15 cm), por su composición mineralógica heredada del material parental, el cual consiste principalmente en conglomerados calcáreos y lutitas y por su escaso desarrollo morfológico. Presenta una coloración café (10YR 5/5) en horizonte superficial. Contiene materia orgánica que varía del 2 al 4.9% con una textura franco arcillosa para el horizonte supercificial y arcillo limosa para el horizonte subsuperficial. De estructura variable de granular a poliédrica subangular; de compactación ligera.



Fotografía III. 1. Leptosol Litico

Localización: Este suelo esta presente en toda la región en las comunidades: Vicente Guerrero, Laguna Seca y Ojo de Agua (Pacula); El Pinalito, José Ma Morelos y los Duraznos (Jacala de Ledesma); Cerro Colorado, Jagüey Colorado (Zimapán de Zavála) y Santo Domingo y Comatitlán (Nicolas Flores). Ocupando una superficie de 53.230 ha., representando el 27.16 %.

Aunado a tres principales tipos de clima, Calidos Humedos (A) C (w0) w ; Templados C (w0) y Secos y Aridos B S 1 (hi) hw(w).

Estos suelos soportan una vegetación que va de matorral xerófilo, matorral submontano, pastizales inducidos, bosque de pino, encino y táscate entre otros. Entre las principales limitantes que tienen estos suelos están la elevada pedregosidad superficial, el relieve accidentado, la alta susceptibilidad a la erosión, la elevada inestabilidad con alto riesgo al colapsamiento y deslizamiento.

Estos suelos son de vocación forestal y estan limitados a la capacidad de uso agrícola, pecuario y/o urbano.

Uso actual del suelo: Este tipo de suelo esta dedicado a actividades de: Agricultura, pecuario a baja escala.

### III.10.2.1.2 Leptosol Rendzico (LP-rz) Fotografía III.2

Del polaco *rzedzic*: ruido. Connotativo de suelos someros (<30 cm) que producen ruido con el arado por su pedregosidad. Estos suelos se presentan en climas semiáridos, tropicales o templados. Se caracterizan por tener una capa superficial abundante en materia orgánica y muy fértil que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en cal. Tienen un horizonte A mólico de color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) en seco. De textura franca a franca arenosa, consistencia friable, estructura poliédrica subangular y granular. Moderadamente alcalinos de raíces abundantes y finas por debajo del horizonte superficial yace un horizonte C muy rico en carbonato de calcio (>40%). Por debajo del horizonte C aparece el material geológico, que en mayor proporción corresponden a calizas y lutitas. El tipo de clima que predomina sobre este tipo de suelo son: Calidos Humedos (A) C (w0) w ; Templados C (w0) y Secos y Aridos B S 1 (hi) hw(w).



Fotografía III. 2. Leptosol Rendzico

Localización: Este suelo se ubica principalmente en los poblados de El Fraile y el Desviadero (Pacula), La Herradura, Agua Fria Chica y El refugio (Jacala de Ledezma); Santo Domingo y La Mesa (Nicolas Flores) y La Nopalera, El Alamo y san Andres

(Zimapán Zavála). Ocupa una superficie de 39,808 ha, y a 20.31 %.

La vegetación que soporta este tipo de suelo es de Matorral crasicaulo, matorral submontano,

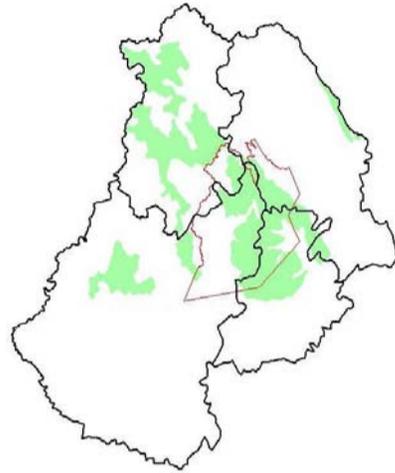
bosque de pino-encino y bosque de juniperus.

Los factores limitantes para el desarrollo de esta unidad son el relieve de laderas y escarpes con pendientes muy pronunciadas, Son vulnerables a la erosión y sus actividades productivas son limitadas.

Uso actual del suelo: se practica la agricultura de temporal y las actividades pecuarias a baja escala.

### III.10.2.2 Luvisol (LV). Figura III.38

Del latín *luvi, luo*: lavar. Literalmente, suelo con acumulación de arcilla. Son suelos que se encuentran en zonas templadas como el extremo sur de la Sierra Madre Occidental, aunque en algunas ocasiones también puede encontrarse en climas más secos. La vegetación es generalmente de bosque o selva y se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a oscuros. Se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos de leves a moderados. Con pastizales cultivados o inducidos pueden dar buenas utilidades en ganadería, sin embargo, debe tenerse en cuenta que suelos con alta susceptibilidad a la erosión. En México 4 cada 100 hectáreas está ocupada por luvisoles.



ser  
la  
son  
de

**Figura III. 38. Ubicación espacial del suelo Luvisol**

Localización: La superficie que cubre este grupo de suelo por municipio es del 15% en Jacala de Ledesma; 45% en Pacula; 30% en Nicolas Flores; y 10% en Zimapán de Zavála. Este tipo de suelo se encuentra dentro del Parque Nacional de Los Mármoles y cubre una superficie de 10.841 ha, equivalente a un 45.69 %.

#### III.10.2.2.1 Luvisoles Crómicos (LVc) Fotografía III.3

Los luvisoles crómicos, tienen un horizonte B ártico con coloración que varía de pardo claro a rojo (el suelo después de mezclarse tiene una coloración de 7.5 YR y un chroma superior a 4, más rojo que 7.5 YR); no tiene propiedades vérticas; no tiene horizonte E albico; no presenta horizonte cálcico, ni concentraciones de caliza suave pulverulenta a menos de 125 cm de profundidad.



**Fotografía III. 3. Luvisol Crómico**

Estos suelos se denominan localmente como “tierras rojas” o “barro colorado”. Fisiográficamente se ubican en lomeríos con pendientes convexas que varían de 5-25% y en cerros dómicos con pendientes inferiores al 35%.

Presentan contenidos de materia orgánica que varían de pobres a moderadamente ricos, después aparecen los horizontes B enriquecidos fuertemente en arcilla, de colores rojizos del tipo 1:1 (barro rojo). Los contenidos de cationes intercambiables y C.I.C. son bajos, presentan de mediana a alta fijación de fósforo por hierro y aluminio. Desde el punto de vista físico estos suelos presentan un manto freático elevado solo en épocas de lluvias, y presentan un clima de Calidos Húmedos (A) C (w0) w ; Templados C (w0), estos suelos son vulnerables a la erosión, soportan tipos de vegetación como encinares, mezquital de prosopis *sp* y agaves *sp*. El uso de suelo es limitado para la agricultura y las actividades pecuarias son moderadas. Se localizan en el noreste de la zona principalmente en localidades de Lagunillas, San Francisco, Los Fresnos del municipio de Pacula. Ocupa una superficie de 22,400 ha y un porcentaje de 11.43.

El uso Actual, esta limitado para la agricultura de temporal, pecuario y forestal a baja escala.

#### III.10.2.2.2 Luvisoles vérticos (LVvr)

El horizonte vértico (del L. *vertere*, dar vuelta) es un horizonte subsuperficial arcilloso que como resultado de la expansión y contracción tiene superficies pulidas y acanaladas o agregados estructurales en forma de cuña o paralelepípedos.

Localización: Este suelo se ubica en los municipios de Zimapán de Zavála y Nicolas Flores en las comunidades de: La Tinaja, La Encarnación, La Manzana y La calera; El cobre Villa Juárez, Puerto el Tiliche y La Laguna, respectivamente, que comprende una superficie de 10,441 ha, representa un 5.32 %.

Este tipo de suelo, presenta un clima Templado C (w0) y soporta una vegetación de Bosque de pino, Bosque de encino y Bosque mixto.

Uso Actual del suelo: Agricultura de temporal, pecuaria a baja escala y Forestal Maderable de auto consumo.

### III.10.2.3 Regosol (RG). Figura III.39

Del griego *reghos*: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos que provienen de materiales no consolidados, excluyendo a materiales de texturas gruesas o que muestran propiedades flúvicas; no tienen otros horizontes de diagnóstico. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Suelos de color gris parduzco claro, pardo grisáceo oscuro en el horizonte A, con una compactación que es de media a nula, estructura poliédrica subangular con un debil desarrollo, textura franca a franca arenosa el espesor de este horizonte oscila entre 20 y 39 cm. Horizonte C color pardo muy pálido, estructura granular, poliédrica subangular, con texturas de arena francosa a franco arcillosa, con un espesor que varia entre 10 y 42 cm.

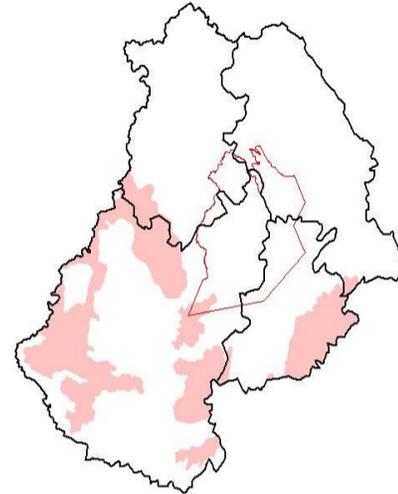


Figura III. 39. Ubicación espacial del suelo Regosol

La superficie que representa este tipo de suelo principalmente se encuentra en el municipio de Zimapán de Zavala abarcando un 40% de su totalidad y para el resto de los municipios varia de un 5% en Jacala de Ledezma, 10% en Pacula y 20% Nicolas Flores.

#### III.10.2.3.1 Regosol calcárico. (RGca)

Son suelos que provienen de materiales no consolidados excluyendo a materiales de texturas gruesas o que muestran propiedades flúvicas. Sus horizontes de diagnóstico son los horizontes A ócrico o A úmbrico y carecen de propiedades gléycas dentro de los primeros 50 cm. Son suelos homogéneos. Se encuentran sobre geoformas como planicies de inundación y antiguas terrazas aluviales, así como en laderas y lomeríos, soportan vegetación de Selva Baja caducifolia y mezquitales, este tipo de suelo se encuentra bajo clima que va desde los Calidos Humedos (A) C (w0) w ; Templados C (w0), hasta los Secos y Aridos B S 1 (hi) hw(w).

Localización: Este tipo de suelo se ubica principalmente en el municipio de Zimapán en las comunidades de: El Salitre, La Hierbabuena, Tierras Amarillas y Puerto la Estancia y Aguacatito, en el municipio de Pacula, representa un 8.93 % y cuenta con una superficie de 17,510 ha.

Uso Actual del Suelo: es empleado para agricultura de temporal y su grado de erosión es variable dependiendo del tipo de cobertura vegetal que presenten.

#### III.10.2.3.2 Regosol eútrico. (RGeu)

Son suelos distribuidos sobre materiales originales no consolidados, derivados de rocas metamórficas, lechos rojos, areniscas y lutitas carbonosas. No tienen otros horizontes de diagnóstico que un A ócrico o un A úmbrico y se localiza principalmente sobre geoformas de laderas rectas, cantiles y mesas de pendientes pronunciadas que limitan su desarrollo. Morfológicamene poseen dos horizontes en cada perfil, los cuales se identifican como A y C. Son suelos someros, con profundidades menores que 30 cm, de colores que varían de café rojizo a pardo amarillento, de textura arenosa, con estructura poliédrica subangular a granular con un débil desarrollo, de consistencia firme, con muchas intrusiones y abundantes raíces finas y medias. Presentan contenidos bajos de materia organica (<2%). Los climas que predominan en este suelo son: Calidos Humedos (A) C (w0) w; Templados C (w0) y Secos y Aridos B S 1 (hi) hw(w).

Este tipo de suelos se localiza en las comunidades de Santa Cruz, Villa Hermosa Francisco, del munipio de Nicolas Flores, y Custa Blanca y Puerto el Efe, en Zimapán de Zavála.

Cuya superficie es de 19,100 ha, que rrepresenta un 9.74 %.

Su uso esta limitado a la agricultura de temporal, predominantemente maíz y maguey. Formando parte de la vegetación natural se encuentran elementos de Selva Baja Caducifolia y Matorrales Cracicaules con plantas de tallos gruesos como el *Myrtillocactus geometrizanz*, asociados con mezquite.

### III.10.2.4 Phaeozem (PH). Figura III.40

Del griego *phaeo*: pardo; y del ruso *zemljá*: tierra. Literalmente, tierra parda. Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desértica. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, pero se encuentra normalmente ausente de capas ricas en carbonatos de calcio. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Los Phaeozems menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos muy bajos y son más susceptibles a la erosión, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o ganadería con resultados aceptables.

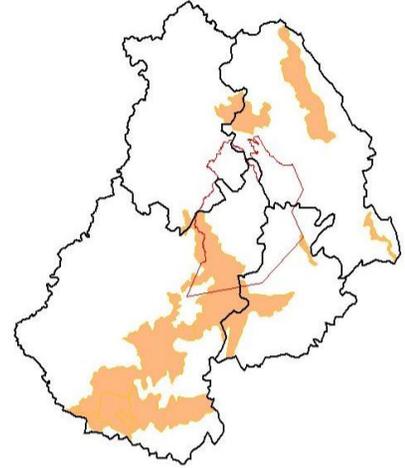


Figura III. 40. Ubicación espacial del suelo Phaeozem

La superficie que abarca este tipo de suelo para los cuatro municipios esta representada de la siguiente manera: 5% en Pacula; 20% en Jacala de Ledezma; 15% en Nicolas Flores; y 40% en Zimapán de Zavála.

#### III.10.2.4.1 Phaeozems háplicos (PHha)

Se caracteriza por presentar un horizonte superficial A mólico el cual es una capa blanda rica en materia orgánica y nutrimentos. Los colores de las capas superficiales van de pardo grisáceo oscuro a pardo muy oscuros a negro. Es ligeramente compacto. Las texturas que presentas varían de franco arenoso a franca. Son de estructura poliedrica subangular fuertemente desarrollada y granular grumosa, el espesor de este horizonte varía entre 10 y 55 cm. Para el horizonte C la coloración se encuentra entre el blanco rosáceo y pardo rojizo. Presentan una cementación ligera. La textura fluctúa entre arena franca a franco arcillo arenosa. El espesor de este horizonte varía entre 19 y 36 cm.

Este tipo de suelo se localiza al Sur del Parque Nacional Los Mármoles, en Los municipios de Zimapán de Zavála y Nicolas Flores, de las comunidades: La Escondida, Puerto de la Zorra y La Majad; La Unión y la Bonanza, respectivamente. Abarca una superficie de 12,647 ha, y representa un porcentaje de el 6.45.

En este tipo de suelo predominan los climas Templados C (w0) y soporta una vegetación de Bosque de Encino, Bosque de Juniperus, y Bosque Mixto.

Uso Actual del Suelo: esta dedicado a la agricultura de temporal a baja escala.

#### III.10.2.4.2 Phaeozem calcárico (PHca)

Este suelo tiene un horizonte mólico cuyo espesor varía entre 17 y 38 cm.

Los materiales parentales que presentan son calizas y lutitas. Su coloración es parda grisácea oscura. Los contenidos de materia orgánica varían del <1.5% a >5%. El horizonte subsuperficial tiene un espesor que oscila entre los 35 y 100 cm. Estos suelos son altamente susceptibles a la erosión, la cual depende de la inclinación y la cobertura vegetal que presentan.

Localización: Se ubica en el Sur de la zona, en las poblaciones de, Llano Blanco, El Salitre, El Sabino y El Palmar, pertenecientes ala municipio de, Zimapán de Zavála. Este tipo de suelo cubre una superficie de 14,509 ha y un 7.40 % del área.

Soportan un tipo de vegetación de *Yucca periculosa* con matorral cracicaule de *Pachycereus marginatus*, *Stenocereus dumortieri*, *Opuntia streptacanta*, mezquital de *Prosopis laevigata*, Huzachal de *Acacia farnesiana*. Aunado a los climas que prevalecen que son Secos y Aridos B S 1 (hi) hw(w).

Uso Actual del Suelo: Este suelo actualmente esta dedicado a la Agricultura de temporal y pecuario.

**III.10.2.4.3 Phaeozem Luvico (PHlv)**

Este tipo de suelo tiene un horizonte subsuperficial que contiene mayor contenido de arcilla, que el horizonte subyacente, con textura franco arenosa, drenaje medio, con espesor en promedio de 100 cm, con presencia de materia orgánica, con una coloración parda grisácea, estos suelos son propensos a la erosión.

Se Localiza al Noreste de la zona, en las comunidades de , El Sotano, El Puerto y Los Hoyos, que pertenecen al municipio de Jacala de Ledesma. Este tipo de suelo abarca una superficie de 6,300 ha con un 3.21 % del área

Presenta un clima de tipo Calido Humedo (A) C (w0) w y soporta varios tipos de vegetación como: Bosque de pino, Bosque de encino y Bosque mixto.

Uso actual del Suelo: Se presentan áreas agrícolas de temporal, cultivándose principalmente maíz, en conjunción con las actividades pecuarias y Forestal maderable para autoconsumo. Tabla III.15

**Tabla III.15. Localización de las Unidades de Suelo, Cobertura y Uso Actual**

Unidades de suelo	Municipios	Localidades	Superficie ha	%	Uso actual
Phaeozem háplico	Zimapán de Zavála, Nicolas Flores	La Escondida, Puerto de la Zorra , La Majada ,La Unión y la Bonanza.	12,647	6.45	Agricultura de temporal
Phaeozem calcárico	Zimapán de Zavála	Llano Blanco, El Salitre, El Sabino y El Palmar.	14,509	7.40	Agricultura de temporal y pecuario
Phaeozem Luvico	Jacala de Ledezma	El Sotano, El Puerto y Los Hoyos.	6,300	3.21	Agricultura de temporal
Regosol calcárico	Zimapán de Zavála, Pacula	El Salitre, La Hierbabuena, Tierras Amarillas y Puerto la Estancia y Aguacatito,	17,510	8.93	Agricultura de temporal
Regosol eútrico	Zimapán de Zavála, Nicolas Flores	Santa Cruz, Villa Hermosa Francisco, del munipio y Costa Blanca y Puerto el Efe.	19,100	9.74	Agricultura de temporal
Luvisol crómico	Pacula	Lagunillas, San Francisco, Los Fresnos	22,400	11.43	Agricultura de temporal, ganadería
Luvisol vértico	Zimapán de Zavála, Nicolas Flores	La Tinaja, La Encarnación, La Manzana y La calera; El cobre Villa Juárez, Puerto el Tiliche y La Laguna	10,441	5.32	Agricultura de temporal, pecuario y forestal
Leptosol réndzico	Zimapán de Zavála, Nicolas Flores, Pacula, Jacala de Ledezma	El Fraile y el Desviadero, La Herradura, Agua Fria Chica , El refugio Santo Domingo, La Mesa, La Nopalera, El Alamo y san Andres.	39,808	20.31	Agricultura de riego , temporal y pecuario
Leptosol líticos	Zimapán de Zavála, Nicolas Flores, Pacula, Jacala de Ledezma	Vicente Guerrero, Laguna Seca, Ojo de Agua, El Pinalito, José Ma Morelos y los Duraznos. Cerro Colorado, Jagüey Colorado, Santo Domingo y Comatitlán.	53,230	27.16	Agricultura de riego y pecuario
TOTAL			195.945	100	

Fuente: elaborada por el CRM con información obtenida en campo y gabinete.

Una mejor descripción de la edafología por los horizontes de diagnostico, y las características de los suelos, se muestran en las Tablas III.16 y III.17.

**Tabla III.16. Matriz integrada de la composición pedológica de los suelos**

Grupos Principales	Horizontes de diagnostico												
	Hístico	Móllico	Umbrico	Ocrico	Fímico	Albico	Cámbico	Argico	Cálcico	Petrocálcico	Gypsico	Petrogypsico	Sulfúrico
Leptosoles		+	+	+			◇						
Regosoles			+	+									
Phaeozems		^					+	+	+				
Luvsoles	◇		+	+	◇	+		^		+	+	+	◇

**Simbología**  
 ^ Horizonte que han de tener obligatoriamente  
 + Horizonte no obligatorio, pero si frecuente  
 ◇ Horizonte no excluido, pero muy raro

**Tabla III.17. Detalle de unidades de suelo, estratos y características de los suelos**

Area Poligonal	Perimetro poligonal	Grupo primero	Unidad suelo primero	Grupo segundo	Unidad suelo segundo	Grupo tercero	Unidad suelo tercero	Clase textura	Fase física	Clave	Nombre del municipio
35566747.851	146672.776	Phaeozems	calcárico	Fluvisol	calcárico			Fina		Hc+Jc/3	Jacala de Ledezma
2586436.939	10623.501	Phaeozems	calcárico					Media		Hc/2	Nicolas Flores
86637806.192	90355.341	Phaeozems	calcárico	Castañozem	cálcico	Rendzina		Media	Lítica	Hc+Kk+E/2/L	Zimapán
48752451.032	52485.722	Phaeozems	calcárico	Litosol		Rendzina		Media	Lítica	Hc+I+E/2/L	Zimapán
19895977.393	29317.960	Phaeozems	háplico	Vertisol	pélico			Media	Gravosa	Hh+Vp/2/G	Zimapán
6548785.315	17496.176	Phaeozems	calcárico	Litosol		Rendzina		Media	Lítica	Hc+I+E/2/L	Zimapán
23919330.166	29362.891	Phaeozems	lúvico	Feozem	háplico			Media		HI+Hh/2	Pacula
39086503.408	43852.632	Phaeozems	lúvico					Fina	Lítica	HI/3/L	Jacala de Ledezma
106291639.420	97081.520	Phaeozems	háplico	Rendzina		Litosol		Media	Lítica	Hh+E+I/2/L	Nicolas Flores
10823726.616	18184.389	Luvisol	crómico	Feozem	háplico			Media	Lítica Profunda	Lc+Hh/2/LP	Zimapán
57627045.332	54885.569	Luvisol	crómico	Feozem	lúvico			Fina	Lítica Profunda	Lc+HI/3/LP	Zimapán
31930689.660	37202.804	Luvisol	crómico	Feozem	lúvico	Cambisol	Crómico	Fina	Lítica	Lc+HI+Bc/3/L	Zimapán
42299577.391	56527.242	Luvisol	crómico	Luvisol	órtico			Fina		Lc+Lo/3	Pacula
8316114.877	29083.570	Luvisol	crómico					Fina	Lítica Profunda	Lc/3/LP	Jacala de Ledezma
74041643.523	90594.554	Luvisol	crómico	Rendzina		Litosol		Fina		Lc+E+I/3	Zimapán
26317890.001	27969.955	Luvisol	vértico	Litosol				Fina	Lítica Profunda	Lv+I/3/LP	Pacula
133190247.360	99304.616	Luvisol	vértico	Rendzina		Litosol		Fina	Lítica Profunda	Lv+E+I/3/LP	Nicolas Flores
104086818.590	84695.896	Regosol	calcárico	Litosol		Rendzina		Media	Lítica	Rc+I+E/2/L	Zimapán
19629467.571	29373.018	Regosol	éutrico	Litosol		Feozem	háplico	Media	Lítica	Re+I+Hh/2/L	Zimapán
40188435.873	45962.517	Regosol	éutrico	Litosol		Feozem	háplico	Media	Lítica	Re+I+Hh/2/L	Zimapán
36313616.813	42923.782	Regosol	calcárico	Litosol		Rendzina		Media	Lítica	Rc+I+E/2/L	Zimapán
100437357.530	90695.500	Regosol	calcárico	Litosol				Media	Lítica	Rc+I/2/L	Pacula
69252610.357	50116.383	Regosol	éutrico	Litosol		Luvisol	crómico	Fina	Lítica	Re+I+Lc/3/L	Jacala de Ledezma
62085834.132	73704.028	Regosol	éutrico	Feozem	háplico	Litosol		Media	Lítica	Re+Hh+I/2/L	Zimapán
262404275.620	160350.145	Leptosol	Lítico			Regosol	calcárico	Media	Lítica	E+I+Rc/2/L	Jacala de Ledezma
63917543.078	63129.153	Leptosol		Regosol	calcárico			Media	Gravosa	E+Rc/2/G	Pacula
63917543.078	63129.153	Leptosol		Regosol	calcárico			Media	Gravosa	E+Rc/2/G	Zimapán
33602200.848	40971.657	Leptosol		Luvisol	crómico	Litosol		Media	Lítica	E+Lc+I/2/L	Pacula
6115587.544	16751.444	Leptosol		Vertisol	pélico			Fina	Lítica	E+Vp/3/L	Jacala de Ledezma
48925673.110	62818.659	Leptosol	Lítico			Luvisol	crómico	Media	Lítica	E+I+Lc/2/L	Zimapán
8910811.203	15507.425	Leptosol	Lítico					Media	Lítica	E+I/2/L	Zimapán
49289062.836	36994.951	Leptosol	Lítico			Luvisol	crómico	Media	Lítica	E+I+Lc/2/L	Nicolas Flores
22066927.195	29327.081	Leptosol		Regosol	calcárico			Media	Lítica	E+Rc/2/L	Zimapán
18306214.767	20722.800	Leptosol		Feozem	calcárico			Media	Petrocálcica	E+Hc/2/PC	Zimapán
35309937.869	36813.891	Leptosol		Feozem	calcárico			Media	Petrocálcica	E+Hc/2/PC	Zimapán
15355585.352	29436.530	Leptosol	Lítico					Media	Lítica	E+I/2/L	Zimapán
95812726.101	106119.122	Leptosol	Lítico					Media	Lítica	E+I/2/L	Zimapán
38810093.644	40549.481	Leptosol	Lítico	Luvisol	crómico			Media	Lítica	E+Lc/2/L	Pacula
142314118.450	144216.407	Leptosol	Lítico	Litosol				Fina	Lítica	E+I/3/L	Nicolas Flores
204284543.010	191147.053	Leptosol	Rendzico					Media		I+E/2	Jacala de Ledezma
19252704.700	21098.709	Leptosol	Rendzico			Regosol	calcárico	Media		I+E+Rc/2	Jacala de Ledezma
13788340.305	28241.703	Leptosol		Regosol	calcárico			Media		I+Rc/2	Nicolas Flores
20957189.150	19927.688	Leptosol	Rendzico					Media		I+E/2	Zimapán
29140501.312	29567.991	Leptosol	Rendzico			Feozem	calcárico	Media		I+E+Hc/2	Zimapán

107508859.030	114648.793	Leptosol	Rendzico			Regosol	calcárico	Media		I+E+Rc/2	Zimapán
113215087.450	118336.483	Leptosol		Regosol	calcárico	Rendzina		Media		I+Rc+E/2	Zimapán
38056954.862	83556.539	Leptosol	Rendzico					Media		I+E/2	Pacula
33767877.014	40791.322	Leptosol	Rendzico			Luvisol	crómico	Media		I+E+Lc/2	Pacula
279518098.570	213392.622	Leptosol	Rendzico			Luvisol	crómico	Media		I+E+Lc/2	Zimapán

### III.11 HIDROLOGÍA

#### III.11.1 Introducción

La problemática que conlleva y encierra la administración del agua es, en su gran mayoría por la falta de conocimiento del recurso. Su gestión, implica saber el dónde y cuanto se tiene para extraerla, sin embargo, detalles como su calidad, disponibilidad, variación estacional y piezométrica pocas veces son proporcionados por las instituciones correspondientes.

La región de estudio, es carente en demasía de este preciado y vital recurso; no existen valles con condiciones geohidrológicas que pudieran retener las precipitaciones; sus laderas demasiado inclinadas propician el arrastre entre otras cosas del poco suelo fértil y aunado a lo anterior son pocas las formaciones que ayuden a la infiltración hacia los acuíferos. De esto último podemos decir que son tres diferentes (Ixmiquilpan, Zimapán y Orizatlán) pero la altimetría registrada (más de 3 000 msnm) sumado a edades geológicas avanzadas dan como resultado que el flujo de escurrimiento y arrastre se de hacia la dirección sur / sureste del estado.

La caracterización hidrológica tanto superficial como subterránea de la región de estudio se llevó a cabo considerando lo establecido en las Guías Metodológicas conformado por: el Plan Nacional Hidráulico, Planes Hidráulicos Regionales; Diagnósticos por región Hidrológica No. 26 por parte de la Comisión Nacional del Agua (CNA); además de 1) Mapa de cuencas hidrográficas y 2) Mapa de escurrimiento medio anual, complementado por informes de la SARH.

Asimismo, se anexa un informe con los datos y estadísticas que fueron posibles obtener para una mejor interpretación del estado del recurso, así como una evaluación cualitativa de las potencialidades, limitaciones y problemas que el territorio presenta.

#### III.11.2 Hidrología superficial

El Territorio Nacional comprende trece Regiones Hidrológico – Administrativas (RHA); el Estado de Hidalgo está comprendido dentro de las siguientes tres: IX Golfo Norte, con 40 municipios; X Golfo Centro, con 5 municipios y XIII Aguas del Valle de México con 39 municipios; puntualizando esta clasificación la zona de estudio queda dentro de la RHA IX Golfo Norte, específicamente la Subregión Pánuco.

Por otro lado el Estado de Hidalgo se encuentra en la Región Hidrológica No. 26 Pánuco con una superficie de 19,793.60 km<sup>2</sup> que representa el 94.7% del área Estatal y la No. 27 del Papaloapan de superficie de 1,111.52 km<sup>2</sup>, para un 5.3% del área restante. (Figura III.44).

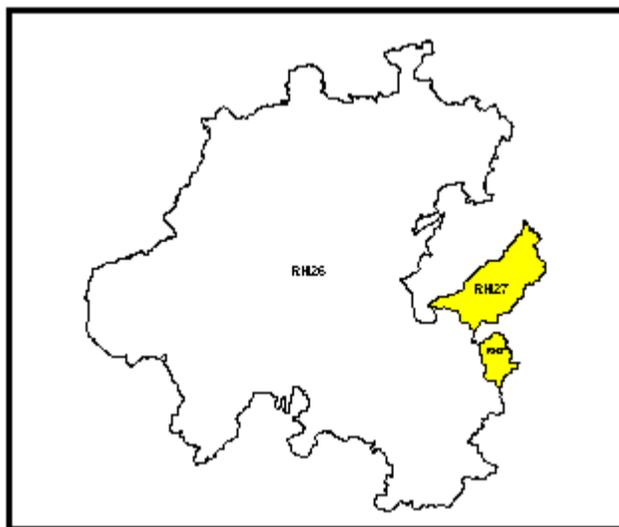


Figura III.40. Regiones Hidrológicas en el estado de Hidalgo

Fuente: Nueva Regionalización Administrativa. C.N.A. 1998.

Las Regiones Hidrológicas a su vez se dividen en cuencas y subcuencas (Tabla III.18 y fig. III.41)

Tabla III.18. Regiones y Cuencas Hidrológicas

Región	Cuenca	Superficie (Km <sup>2</sup> )
26 Pánuco	Río Tula	4,888.26
	Río de las Avenidas	2,531.92
	Río Moctezuma	11,079.44
	Río San Juan	1,293.98
	<b>Subtotal</b>	<b>19,793.60</b>
27 Papaloapan	Río Tuxpan	846.92
	Río Cazones-Tecolutla	264.60
	<b>Subtotal</b>	<b>1,111.52</b>
<b>Total</b>		<b>20,905.12</b>

Fuente: Nueva Regionalización Administrativa, CNA.1998.

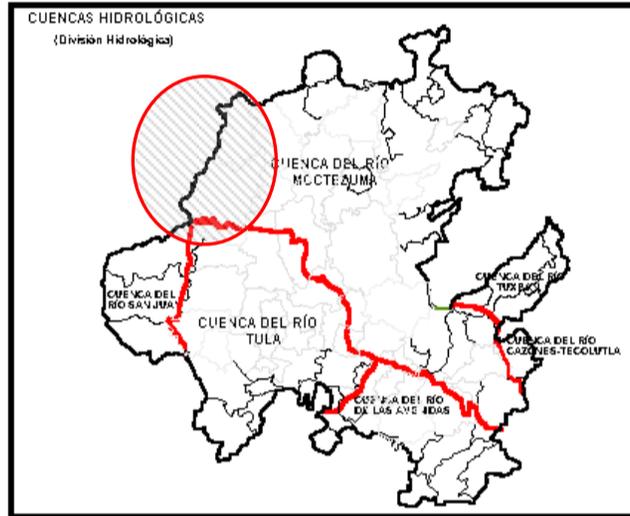


Figura III.41. Cuencas Hidrológicas en el estado de Hidalgo.

Fuente: Nueva regionalización administrativa, CNA 1998

Para estimar y saber donde se encuentran las captaciones y escurrimientos, conjugados con el relieve, edafología y geología, la disponibilidad del agua se ha jerarquizado la zona de estudio de la siguiente manera: Región Hidrológica, Subregión, Cuenca, Subcuenca, Microcuenca, Nanocuencas y Pétalos de Captación. Este último se enfatizo para el área del PNLM.

El área en estudio se ubica dentro de la Región Hidrológica RH 26 Alto Pánuco, comprende la Subregión Tula, la Cuenca Río Moctezuma, la Subcuenca del mismo nombre (Río Moctezuma) y las Microcuencas Río Moctezuma, Río Tula, Río Amajac y Río Zimapán, que en conjunto cubren una superficie total de 5, 467.36 Km<sup>2</sup>, presentan precipitación media de 600 a 2,000 mm, escurrimiento medio de 1, 402.5 mm<sup>3</sup>.

### III.11.2.1 Cuencas

#### III.11.2.1.1 Cuenca del Río Moctezuma

Esta Formada por las subcuencas Moctezuma, Metztitlán, Amajac y Atlapexco. Comprende la mayor parte de la superficie estatal, pues representa hidrológicamente el 53% del área total del Estado. Tiene como corriente principal al río Moctezuma que nace en el cerro de la Bufa en el Estado de México a 3,800 m de altitud. Los afluentes de esta corriente son: El río Tizahuapan que nace en la sierra de Pachuca, el Metztitlán que nace en Puebla y lleva sus aguas a la laguna de Metztitlán con el nombre de río Tulancingo, para continuar posteriormente su curso hasta el Moctezuma como río Amajac.

El río Moctezuma que es de tipo perenne y el más sobresaliente por la gran extensión que irriga, sirve de límite entre el Estado de Hidalgo y los Estados de San Luis Potosí y Querétaro, confluye a este río una gran cantidad de aguas provenientes del río Amajac, al que se le une el río Claro antes de desembocar en el Moctezuma.

Los ríos de cauce menor que confluyen también en el río Moctezuma se encuentran al este y noreste del Estado y son: El río Tenexco y Chahuatlán, que se unen para formar el río Encinal o Calabozo.

En dicha cuenca se registra una precipitación máxima de 2 756.77 mm, una media anual de 1 074.75 mm y una mínima de 191.32 mm (período 1970-1995), siendo los meses de mayo a octubre el período de lluvias y los de noviembre a abril la época de estiaje, El 66.2% del volumen precipitado en el Estado se concentra en la superficie correspondiente a esta cuenca, (INEGI, 1992 y CNA, 1998).

Esta cuenca que es la de mayor superficie dentro del Estado, presenta coeficientes de escurrimiento que van desde los muy bajos hasta los muy altos; por ejemplo, tenemos que en aproximadamente un 50% de la superficie de la cuenca que va del centro al noroeste, se da un escurrimiento de 0 a 5 % con algunas pequeñas fracciones de 10 a 20 % lo que le otorga características de seca; otro 40 % aproximadamente de la superficie que va del centro al sureste, se encuentra dentro del coeficiente de 10 a 20 % junto con algunas pequeñas porciones de 5 a 10 % lo que le otorga características de semiseca; por último, se estima que un 10 % de la superficie ubicada al noreste de la cuenca con coeficientes de escurrimiento que van de 20 a 30 % combinado con pequeñas áreas en donde se presenta un escurrimiento mayor del 30% lo que le da características de húmeda.

En donde se registra un escurrimiento casi nulo (de 0 a 5 %), se debe a la alta permeabilidad por la presencia de rocas calizas y a la escasa precipitación que generalmente es menor a 700 mm anuales; en la parte donde el escurrimiento es de 10 a 20 % se considera medio el coeficiente y sus características son muy diversas, quedando comprendidas en este rango, terrenos de permeabilidad baja con precipitación menor de 1 000 mm anuales y los de permeabilidad media con lluvias entre 750 y 1 600 mm anuales; en los de escurrimientos mayores de 30 % el rango se considera alto, la precipitación fluye superficialmente debido a las formaciones impermeables de la sierra y a las abundantes lluvias (1 800 mm anuales) donde la cubierta vegetal es medianamente densa.

### **III.11.2.1.2 Cuenca del Río Tula**

Está formada por las subcuencas Alfajayucan, Tula, El Salto y Salado, Ocupa el segundo lugar de la Entidad en cuanto a su superficie hidrológica que abarca un 23% del área; su colector principal es el río Tula, que nace en la sierra de la Catedral Estado de México en el parteaguas con la cuenca del río Lerma, Inicia su recorrido con dirección norte hasta la población de Ixmiquilpan, donde cambia su curso hacia el noroeste para después desembocar en el río San Juan, lugar donde se construyó la presa hidroeléctrica Zimapán y a partir de este punto recibe la denominación de río Moctezuma que es el límite entre Querétaro e Hidalgo.

Esta cuenca reviste gran importancia tanto por su extensa superficie y la cantidad de afluentes que la alimentan. Las principales corrientes en esta área sufren una fuerte contaminación asociada a los desechos industriales y urbanos o bien aguas residuales provenientes de la Ciudad de México y las descargas de aguas negras municipales.

En segundo lugar se considera la red principal de drenaje del río Tula, que tiene como principales ríos: el Salto, El Salado, Alfajayucan e Ixmiquilpan que corresponde a un régimen de escurrimiento perenne.

Con relación al río Ixmiquilpan, este se localiza en el extremo norte de la cuenca del río Tula, incluye los ríos Chicavasco y principalmente el río Tula, desde la confluencia de los ríos el Salto y Salado, hasta su confluencia con el río Moctezuma. (CNA, 1997)

En dicha cuenca se registra una precipitación máxima de 1 267.50 mm, una media anual de 497.5 mm y una mínima 110.5 mm, (período 1970-1995), siendo los meses de lluvia de mayo a septiembre y los de estiaje de octubre a abril, el 13.5% del volumen precipitado en el Estado se concentra en esta cuenca. (INEGI, 1992 y CNA, 1998)

El coeficiente de escurrimiento que mayormente se presenta en la cuenca es de 5 a 10 % y ocupa un 70 % de su superficie lo que le otorga características de semiseca, un 25 % localizado al oeste presenta un coeficiente de 10 a 20 % y el restante 5 % de la superficie es de 0 a 5 %. Esto debido a que en la zona se registran lluvias menores a 700 mm anuales y en general son superficies medianamente permeables.

De acuerdo a la información contenida en las cartas hidrológicas de INEGI, en esta cuenca se tiene una red de estaciones hidrométricas que reportan entre otros datos, el volumen medio anual, gasto medio anual y los gastos extremos; las estaciones que reportaron los máximos volúmenes anuales escurridos fueron las de Boquilla Tecolotes e Ixmiquilpan P. C. ambas sobre el río Tula y, La Mora en el río El Salado con 355, 326 y 433 Mm<sup>3</sup> durante los períodos 1945-1970 y 1938-1970 respectivamente.

### **III.11.2.1.3 Cuenca del Río San Juan**

Hidrológicamente ocupa el 4º lugar en la Entidad en cuanto a su superficie con un 6.1% del área total del Estado, comprende el área de aportación del río San Juan hasta su unión con el río Tula, sitio en el que actualmente está la presa Zimapán, donde inicia el río Moctezuma uno de los principales afluentes del río Pánuco que nace en el cerro San Nicolás Estado de México a casi 2750 m de altitud. Los principales afluentes se encuentran en la margen derecha, sobresaliendo el arroyo Hondo, río San Francisco y el río Tecozautla que aportan sus aguas aprox. 17 Km aguas arriba de la confluencia con el río Tula.

### **III.11.2.2 Subcuencas**

La cuenca del río Moctezuma se subdivide en cuatro subcuencas que interactúan entre sí, sin embargo para la zona de estudio se observa la influencia de tres de ellas siendo estas:

#### **III.11.2.2.1 Subcuenca del Río Moctezuma**

El río Moctezuma, cuyo origen inicia en la confluencia de los Ríos San Juan y el Río Tula (en la cortina de la Presa Zimapán), en su recorrido se le conoce con diversos nombres, correspondiéndole río Moctezuma, a la zona comprendida entre las confluencias de los ríos San Juan y Tula, en la que drena un área de 61,062 kilómetros cuadrados, en la cual se incluye la subcuenca del Valle de México. Tiene una demanda actual por cuenta propia y volumen comprometido hacia aguas abajo de 116 millones de metros cúbicos, la estimación del escurrimiento aguas abajo hasta su unión con el río Tampaón es de 5,439 millones de metros cúbicos y el volumen disponible a la salida de esta subcuenca corresponde a los 5,377 millones de metros cúbicos.

El Río Moctezuma es la principal corriente de agua de la zona de estudio, su flujo es similar al del Río Tula, razón por la cual alimenta la Presa Hidroeléctrica Zimapán.

#### **III.11.2.2.2 Subcuenca del Río Tula**

Obtiene su nombre del río Tula y que es el principal abastecedor de agua servida para uso agrícola, incluye las presas Requena y Endhó y un flujo promedio superior a los 50 m<sup>3</sup>/s.

El río Tula drena desde sus orígenes en el cerro de la Bufa en la Sierra de Monte Alto, Edo. de México, sin incluir la cuenca cerrada del Valle de México y hasta su confluencia con el río San Juan, un área de 6,551 kilómetros cuadrados. Tiene una demanda actual por cuenta propia y volumen comprometido hacia aguas abajo de 2,065 millones de metros cúbicos, la estimación del escurrimiento aguas abajo de la presa Endhó y hasta su conexión con el río Moctezuma es de 91 millones de metros cúbicos y el volumen disponible a la salida de esta subcuenca corresponde a los 89 millones de metros cúbicos.

La parte norte de la cuenca colinda con el valle de Zimapán y la conversión del río Tula a río Moctezuma es el principal tributario. Los límites de la subcuenca de Tula son casi coincidentes con el límite del acuífero de Ixmiquilpan.

El río San Juan, cuyo nacimiento es en las inmediaciones del Municipio de Bernal, Edo. de México, hasta su confluencia con el río Tula, drena un área de 5,427 kilómetros cuadrados, de los que corresponden 2,906 al Estado de Querétaro; 1,367 al Estado de Hidalgo y 1,154 al Estado de México, el recorrido total a lo largo del cauce principal es de 168 kilómetros. Tiene una demanda actual por cuenca propia (es decir el rubro consuntivo en su área de influencia) y volumen comprometido hacia aguas abajo de 339 millones de metros cúbicos, la estimación del escurrimiento aguas abajo hasta su confluencia con el río Tula es de 53 millones de metros cúbicos y el volumen disponible a la salida de ésta subcuenca corresponde a los 52 millones de metros cúbicos.

#### **III.11.2.2.3 Subcuenca Amajac**

Obtiene su nombre del río Amajac, limite este del área de estudio y enclavada totalmente en el acuífero de Orizatlán. Tanto el Río Moctezuma como el Río Amajac, tienden a unirse para desembocar en el Río Pánuco y este a su vez, desemboca en el Golfo de México.

### **III.11.2.3 Microcuencas**

Microcuenca del Río Moctezuma cubre una superficie de 3, 258.83 Km<sup>2</sup> .Abarca las siguientes nanocuencas en el área de estudio:

### III.11.2.3.1 Microcuenca del río Moctezuma

**Arroyo Tachay.-** Agrupa a las rancherías del municipio de Jacala Otates, Palmillas, Laguna Seca, Cañecito entre otras y colinda al sur con la Microcuenca del Río Amajac; la corriente principal presenta textura gruesa, rugosa a meandriforme, hacia el norte los arroyos se presentan no persistentes (con líneas interrumpidas) lo que nos hace pensar que la denudación de las rocas es fuerte por efectos del intemperismo, los arroyos tributarios presentan textura fina, suave y ligeramente rugosa y en ocasiones hasta interrumpidos, lo que nos indica que se trata de corrientes más jóvenes que las anteriormente descritas ya que se encuentran sobre productos semi-consolidados producto del intemperismo antes mencionado, los flujos tienen dirección preferencial E-W, el modelo de drenaje predominante es paralelo a subparalelo, cubre una superficie de 131.8 Km<sup>2</sup> en 10 pódalos de captación.

**Barranca Seca.-** se localiza al norte de Jacala, agrupa a las rancherías Hilojuanico y Loma de Huizache, los arroyos presentan textura fina, suave y rugosa, la corriente principal se orienta SW 30° NE, el modelo de drenaje predominante es subparalelo a paralelo, cubre una superficie de 75.9 Km<sup>2</sup> en 8 pódalos de captación.

**Río Santa Clara.-** Se ubica sobre el río del mismo nombre en la parte Noroeste de la zona de estudio, agrupa a las rancherías Los Charcos y Cerro Alto; los arroyos presentan textura fina y gruesa, rugosa a meandriforme con orientación similar al sistema de compresión, el drenaje predominante para la porción poniente es subdendrítico-Subparalelo y para la porción oriente, subparalelo-paralelo, abarca una superficie de 172.27 Km<sup>2</sup> distribuidos en 12 pódalos de captación.

**Plan de Hongos.-** Agrupa a las rancherías Tilaco, Las Animas, La Reforma, Ochital entre otras; los arroyos presentan textura fina y gruesa, rugosa a meandriforme, con dirección NW, el drenaje predominante es subparalelo-paralelo, cubre una superficie de 196.84 Km<sup>2</sup> y envuelve a 10 pódalos de captación.

**Río Moctezuma III.-** Agrupa a los poblados Sombrerete, Soyatal, La Laja, Cerro Colorado entre otros, los arroyos en las partes más elevadas presentan una textura fina, suave y rugosa y en las partes bajas gruesa, suave, rugosa y meandriforme, el drenaje predominante es subdendrítico a subparalelo, ocupa una superficie de 149.3 Km<sup>2</sup>, en 15 pódalos de captación.

**Arroyo Tolimán.-** Los arroyos en las partes más elevadas presentan una textura fina, suave y rugosa y en las partes bajas gruesa, suave, rugosa y meandriforme, el drenaje predominante es subdendrítico a subparalelo, ocupa una superficie de 68.22 Km<sup>2</sup> en 5 pódalos de captación.

**Arroyo El Salitre.-** Agrupa a las rancherías de Xadhe, Tadhe, Verdosa entre otras y a las minas San Francisco y San Miguel, la textura de los arroyos es fina, suave y rugosa, predomina un drenaje con modelo subparalelo-paralelo a subdendrítico, cubre una superficie de 71.35 Km<sup>2</sup> en 5 pódalos de captación.

**Arroyo San Juan.-** Agrupa a los poblados Los Garabatos, Hacienda La Estancia, San Pedro, Los Carrizos y San Juan entre otras, los arroyos en las partes más elevadas presentan una textura fina, suave y rugosa y en las partes bajas gruesa, suave, rugosa y meandriforme, el drenaje predominante es subdendrítico a subparalelo, ocupa una superficie de 31.8 Km<sup>2</sup> en 4 pódalos de captación.

**Arroyo El Aguacate.-** Agrupa a los poblados de Santa María Miraflores, Puerto Grande, Divisaderos, parte de La Mohonera, Puerto La Estaca entre otros, los arroyos presentan una textura fina, suave y rugosa, el modelo de drenaje predominante es Subparalelo-Paralelo, cubre una superficie de 54.4 Km<sup>2</sup> en 4 pódalos de captación.

**Río Moctezuma IV.-** Agrupa a los poblados de Jiliapan, San Francisco Vega de Ramírez, Divisadero, Casas Viejas entre otros, los arroyos en las partes más elevadas presentan una textura fina, suave y rugosa y en las partes bajas sobre el Río Moctezuma se observa grueso, suave, rugosa y meandriforme, el drenaje predominante es subdendrítico a subparalelo, cubre una superficie de 48.3 Km<sup>2</sup> en 7 pódalos de captación.

**Arroyo Barranca Seca.-** Agrupa a las poblaciones de Morelos, Apezco, Maguey Verde, Los Mármoles, Durango, Cerro Colorado, Jagüey Colorado, Potrerillos entre otros, los arroyos en las partes más elevadas presentan una textura fina, suave y rugosa y en las partes bajas sobre las Barrancas Apezco y Escondida se observa grueso, suave, rugosa y meandriforme, el drenaje predominante es subdendrítico a subparalelo, cubre una superficie de 171.4 Km<sup>2</sup> en 11 pódalos de captación.

**Río Moctezuma V.-** Se ubica al norte de la Presa Zimapán, agrupa a las poblaciones La Luna, Cerro Prieto, Rancho Nuevo, Bellavista, El Yeso, Mesa de León, Yelhá y Xahjá entre otras, los arroyos en las partes más elevadas presentan una textura fina, suave y rugosa y en

las partes bajas gruesa, suave, rugosa y meandriforme hasta desembocar en la Presa Zimapán, el drenaje predominante es subdendrítico a subparalelo en las partes altas y de subparalelo a paralelo en las partes de menor elevación, cubre una superficie de 142.44 Km<sup>2</sup> y agrupa a 20 pétalos de captación.

**Río Tolimán.-** Se ubica al norte de la Presa Zimapán, agrupa a las poblaciones de Zimapán, Lázaro Cárdenas y las rancherías de El Mezquite Segundo, Puerto El Jefe, Aguacatal, Francisco Villa, Cuesta Blanca entre otras, los arroyos en las partes mas elevadas presentan una textura fina, suave y rugosa y en las partes bajas gruesa, suave, rugosa hasta meandriforme, el modelo de drenaje predominante es de subparalelo a paralelo, cubre una superficie de 150.53 Km<sup>2</sup> y agrupa a 19 pétalos de captación.

### III.11.2.3.2 Microcuenca del Río Amajac

Cubre una superficie de 1,000.87 Km<sup>2</sup>, presenta temperatura media anual de 16.7± 2°C, precipitación media anual de 650±120 mm. Agrupa a las nanocuecnas:

**Bonanza.-** Agrupa a los poblados de Pueblo Nuevo, Huizache, Toxhi, La Ruda entre otros, los arroyos presentan textura fina, suave y rugosa, la dirección de flujo predominante es W-E asociado a un modelo subparalelo-paralelo, cubre una superficie de 69.18 Km<sup>2</sup> en 6 pétalos de captación. Esta se prolonga hacia el Sur presentando la misma orientación de estructuras y agrupando a los poblados de Francisco I. Madero y Toxhí cubriendo una superficie de 28.65 Km<sup>2</sup> en 6 pétalos de captación. La superficie total cubierta es de 97.83 Km<sup>2</sup>.

**Arroyo Zoyatal.-** Agrupa a las rancherías de Zoyatal, Villa Juárez, Piedras Viejas entre otras, los arroyos presentan textura fina, suave y rugosa, la dirección de flujo predominante es sensiblemente W-E desembocando en el Arroyo El Aguacate donde cambia de dirección de NW 30° SE, cubre una superficie de 85.68 Km<sup>2</sup> en 6 pétalos de captación.

**Arroyo Adjuntas.-** Agrupa a los poblados de Nicolás Flores, Chibrino, Agua Limpia, La Ciénega entre otros, los arroyos presentan textura fina, suave y rugosa, la dirección de flujo predominante es sensiblemente S-N, el modelo de drenaje predominantes es subparalelo-paralelo, cubre una superficie de 39.05 Km<sup>2</sup> en 2 pétalos de captación. Esta nanocuenca se prolonga hacia el Sur, cubriendo una superficie de 54.9 Km<sup>2</sup> en 8 pétalos de captación, en total la superficie cubierta por esta nanocuenca es de 93.95 Km<sup>2</sup>

**Chichicaxtla.-** Agrupa a los poblados de Xiopa, Chichicaxtla, Las Manzanas, El Roble, Jocanapa entre otras, los arroyos presentan textura fina, suave y rugosa, la dirección de flujo predominante es sensiblemente S-N, el modelo de drenaje predominantes es subparalelo-paralelo, cubre una superficie de 65.93 Km<sup>2</sup> en 6 pétalos de captación. Esta nanocuenca se prolonga hacia el Sur cubre una superficie de 49.15 km<sup>2</sup> en 10 pétalos de captación, la superficie total cubierta por la nanocuenca es de 119.08 Km<sup>2</sup>.

**Arroyo Seco.-** Agrupa a las rancherías de Puerto Mezquite, Octupilla, Carrizal entre otros, los arroyos presentan textura fina, suave y rugosa, la dirección de flujo predominante es sensiblemente S-N, el modelo de drenaje predominantes es subparalelo-paralelo, cubre una superficie de 56.8 Km<sup>2</sup> en 3 pétalos de captación.

**San Nicolás.-** Agrupa a los poblados de Jacala, Agua Fría, San Nicolás, Plomosas entre otras, los arroyos presentan textura fina, suave y rugosa, el modelo de drenaje predominantes es subparalelo-paralelo, cubre una superficie de 171.5 Km<sup>2</sup> en 5 pétalos de captación.

**Río Amajac.-** Agrupa a las poblaciones de Vega de la Carrera, Santiago, La Palma entre otras, sobre la cuenca del Río Amajac, los arroyos en las partes mas elevadas presentan una textura fina, suave y rugosa y en las partes bajas gruesa, suave, rugosa y meandriforme principalmente sobre el Río Amajac, el drenaje predominante es subparalelo a paralelo, cubre una superficie de 74.52 Km<sup>2</sup> en 6 pétalos de captación.

Existen también algunas áreas no incluidas en nanocuecnas y pétalos de captación que cubren una superficie de 32.28 Km<sup>2</sup>.

### III.11.2.3.3 Microcuenca de la Presa Zimapán

La Microcuenca Presa Zimapán, bordea la presa del mismo nombre, ocupa una superficie de 542.2 Km<sup>2</sup>, los datos de precipitación y temperaturas medias son similares a la Microcuenca anterior, cubre las siguientes nanocuecnas:

**Aguas Blancas.-** Se ubica al norte de la Presa Zimapán, envuelve a las rancherías Saucito, Llano Segundo, La Loma, Vicente Guerrero (El Tablón) y El Rodeo entre otras, los arroyos son de textura fina, suave y rugosa hasta la presa que se hace gruesa, suave y meandriforme, el modelo de drenaje predominante es dendrítico, subdendrítico a subparalelo, cubre una superficie de 73.9 Km<sup>2</sup> y agrupa a 11 pétalos de captación.

---