



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“PERSPECTIVAS ECONÓMICAS COMO PIEDRAS DIMENSIONABLES DEL
MATERIAL ROCOSO DEL CERRO “EL SALITRE”, MUNICIPIO DE
TLALTIZAPÁN, ESTADO DE MORELOS ”**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A N :

JUAN RAYMUNDO CARBAJAL QUIROZ

E

ISAÍAS LOPEZ FONSECA

DIRIGIDA POR: ING. MIGUEL I. VERA OCAMPO



CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F., 2005

m. 344587



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-1316

SR. JUAN RAYMUNDO CARBAJAL QUIROZ
Presente

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

**PERSPECTIVAS ECONÓMICAS COMO PIEDRAS DIMENSIONABLES DEL MATERIAL
ROCO SO DEL CERRO "EL SALITRE", MUNICIPIO DE TLALTIZAPÁN, ESTADO DE
MORELOS**

	INTRODUCCIÓN
I	GEOGRAFÍA
II	FISIOGRAFÍA
III	GEOLOGÍA
IV	EVALUACIÓN GEOLÓGICA-ECONÓMICA
V	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFÍA
	PLANOS E ILUSTRACIONES

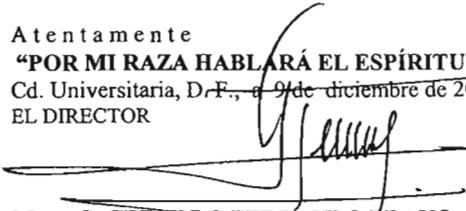
Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

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

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria, D.F., a 9 de diciembre de 2004
EL DIRECTOR


M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFR*JAGC*gtg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-210

SR. ISAÍAS LÓPEZ FONSECA
Presente

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

PERSPECTIVAS ECONÓMICAS, COMO PIEDRAS DIMENSIONABLES, DEL MATERIAL ROCOSO DEL CERRO DE "EL SALITRE", MUNICIPIO DE TLALTIZAPÁN, ESTADO DE MORELOS

- INTRODUCCIÓN**
- I GEOGRAFÍA**
- II FISIOGRAFÍA**
- III GEOLOGÍA**
- IV EVALUACIÓN GEOLÓGICA-ECONÓMICA**
- V CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**
- PLANOS E ILUSTRACIONES**

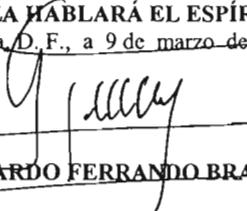
Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

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

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 9 de marzo de 2005
EL DIRECTOR


M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GRB*JAGC*gtg


AGRADECIMIENTOS

Con cariño:

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser formadora de mí persona.

A la Facultad de Ingeniería por formar mi profesión.

Para mis padres Rosa Quiroz y Raymundo Carbajal, por darme la vida y apoyarme siempre en todo momento de esta hermosa vida.

A Luís Antonio y a Héctor Eduardo Carbajal Quiroz por estar conmigo en todo momento.

A Carmen por todo su cariño, comprensión y apoyo en todo momento desde que estamos juntos.

A la Familia Lavelli Arieta por su apoyo y amistad.

A la familia Carbajal y la familia Quiroz, por ser parte de ellas.

Así como a los ingenieros Miguel I Vera Ocampo, German Arriaga García, Carlos E. Garza González Vélez, Ricardo A. Villanueva Pérez, Fernando Rosique Naranjo, Alberto Herrera Palomo, Jesús Castro Mora y tantos otros que se interesaron y apoyaron para la realización de este trabajo.

A Isaías López Fonseca por confiar en mí para la realización de este trabajo.

A Alexis y Mario por su apoyo para salir avante en el trabajo.

A todos los amigos y compañeros de la facultad de ingeniería : Jessica, Nora, Bety, Sandra, Diana, Vanesa, Nancy, Laura ,Thai, Judith, Dante Valentín, Bauti, Gerardo, Gonzalo, Isaías, Igor, Noe, Noe(†), Omar, Rubén, Félix, Belmont, Almodovar, Héctor, Carlos, Quetz, Iván, Pedro, Aron, Moy, Octavio, Salvador, Jorge, Don Pepe, Sergio, Juan José, y todos los que hicieron mas fácil mi estancia en la facultad.

A mis inseparables que siempre están por ahí: Lester, Alex, Emmanuel, Yanet, Omar, Ricardo, Erika, Edgar.

A la vida por dejarme ser parte de ella.

JUAN RAYMUNDO CARBAJAL QUIROZ

AGRADECIMIENTOS

***Con cariño
Para Eva y Pepe***

***Ojala no sigan mi ejemplo y que recuerden que cuando se quiere se puede.
Con admiración y respeto para la mujer que siempre creyó en mí y que con su amor me fortaleció.***

¡Mi agradecimiento permanente a la Universidad Nacional Autónoma de México por su generosidad al permitir mi ingreso a mi querida facultad de ingeniería!

¡Así como a mis maestros, hacedores de esperanzas, los ingenieros Miguel I Vera Ocampo, German Arriaga García, Carlos E. Garza González Vélez, Ricardo A. Villanueva Pérez, Fernando Rosique Naranjo, Pablo García y Colome y tantos otros que permitieron mi egreso haciendo de mí un orgulloso universitario!

ISAIAS LOPEZ PONSECA.

INDICE:

1 INTRODUCCIÓN.	1
1.1 <i>Objetivo.</i>	2
1.2 <i>Método de trabajo.</i>	3
2. GEOGRAFÍA.	4
2.1 <i>Ubicación.</i>	4
2.2 <i>Vías de comunicación.</i>	7
2.3 <i>Tipos de climas.</i>	11
2.4 <i>Perfil sociodemográfico del municipio de Tlaltizapán.</i>	12
2.4.1 <i>Evolución demográfica</i>	12
2.4.2 <i>Actividad Económica</i>	13
3 FISIOGRAFÍA.	15
3.1 <i>Provincias fisiográficas.</i>	15
3.2 <i>Geomorfología.</i>	19
3.3 <i>Cuencas hidrológicas.</i>	20
3.3.1 <i>Aguas superficiales</i>	22
4 GEOLOGÍA.	27
4.1 <i>Marco geológico</i>	27
4.2 <i>Estratigrafía</i>	29
4.2.1 <i>Sierra madre del sur</i>	29
4.2.2 <i>Eje Neovolcánico</i>	41
4.2.2.1 <i>Rocas del Terciario continental</i>	41
4.2.2.2 <i>Rocas del Cuaternario</i>	48
4.3 <i>Geología estructural.</i>	49
4.4 <i>Geología histórica.</i>	51

5 EVALUACIÓN GEOLÓGICA – ECONÓMICA.	53
<i>5.1 Rocas dimensionables.</i>	53
<i>5.1.1 Rocas dimensionables en sentido comercial: mármol, ónix y travertino</i>	53
<i>5.1.2. Definición.</i>	54
<i>5.1.3 Historia</i>	56
<i>5.1.4 Potencial geológico minero de México</i>	56
<i>5.1.5 Características del mármol y las calizas</i>	58
<i>5.1.5.1 Características generales</i>	58
<i>5.1.5.2 Características petrofísicas y mecánicas</i>	59
<i>5.1.6 Beneficio e industrialización</i>	62
<i>5.1.6.1 Procesos</i>	62
<i>5.1.7 Usos del mármol y calizas</i>	64
<i>5.2 Evaluación del mercado.</i>	65
<i>5. 2 Evaluación del mercado</i>	65
<i>5.2.1 La Ley Minera y el mármol</i>	65
<i>5.2.1.1 Marco fiscal y comercial</i>	65
<i>5.2.2 Estándares de calidad</i>	66
<i>5.2.3 Producción y mercado internacional</i>	67
<i>5.2.4 Mercado Nacional</i>	70
<i>5.2.5 Precios</i>	71
<i>5.2.6. Comercialización</i>	73
<i>5.2.6.1 Principales canales de distribución</i>	73
<i>5.2.6.2 Variedades comerciales del mármol</i>	74
<i>5.2.6.3 Principales formas de comercialización del producto</i>	76
<i>5.2.6.4 Medida estándar</i>	76
<i>5.3 Métodos de extracción utilizados en México</i>	78
<i>5.4 Material rocoso de “el salitre”.</i>	82

CONCLUSIONES.	87
RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA.	92
Apéndice 1 ILUSTRACIONES.	94
Apéndice 2 ANEXOS	105
Apéndice 3 MAPAS	106

INTRODUCCIÓN

El estado de Morelos se localiza en la región centromeridional de la República Mexicana, al Norte 19°08', al Sur 18°20' de Latitud Norte; al Este 98°38', al Oeste 99°30' de Longitud Oeste; a una altitud de 1,480 m.s.n.m. y con una temperatura promedio al año de 22.2° C.

El estado de Morelos colinda al norte con el estado de México y el Distrito Federal; al este con México y Puebla; al sur con Puebla y Guerrero; al oeste con Guerrero y México.

El estado de Morelos ocupa tan solo el 0.25% de la superficie de México, y por ello se ubica en el treintavo lugar por el tamaño de su territorio respecto a otros estados de la República Mexicana.

El estado de Morelos tiene un gran potencial de minerales no metálicos en gran parte de su territorio, principalmente en las calizas de la Formación Morelos, por lo que se ha instalado en Jiutepec y Emiliano Zapata dos plantas de Cementos Moctezuma, sí como caleras y plantas de trituración para agregados pétreos y carbonato de calcio.

En Tilzapotla, municipio de Puente de Ixtla y en el municipio de Axochiapan existen aproximadamente setenta plantas de calcinación para yeso hidratado, aunque es importante mencionar que en las áreas adyacentes a Cuernavaca existe gran variedad de bancos de basaltos, tezontle y otros materiales para ser usados en la construcción.

Si se considera la cercanía con la capital de la República, se constata el enorme potencial de consumo de los productos no metálicos que se generan en el estado de Morelos.

El potencial en cuanto a minerales no metálicos es abundante ya que existen importantes afloramientos de calizas de la Formación Morelos, localidades con yeso, arcillas, basalto, tezontle, gravas y arenas.

Otra utilidad económica que se puede obtener de la explotación de minerales no metálicos es la utilización de canteras para ofrecer piedras dimensionables, es decir la utilización de las rocas como material de ornato como es el mármol, calizas marmóreas y travertino.

El travertino suele ser utilizado como piedra dimensionable, así como algunas calizas, por lo que es importante dar las características comerciales de este tipo de rocas para poder ser utilizada.

Shipley (1945) intercambio el término roca decorativa por el de roca ornamental. Gary (1972) definió a la roca decorativa como aquella usada en la decoración arquitectónica como son repisas, columnas y frentes, pero incluye las que algunas veces se engastan con oro o plata en joyería como rocas de curiosidad. Bates y Jackson (1987) también restringen a las rocas decorativas a aquellas usadas en la decoración arquitectónica. Estos términos son usados en la industria, con diferencias entre geólogos, ingenieros y trabajadores de canteras, con frecuencia toman significados amplios para los canteristas e ingenieros, comparándolos con los usados por los geólogos.

Las rocas decorativas, incluidas las rocas ornamentales son comúnmente definidas por los geólogos como cualquier roca utilizada primordialmente por su color, textura y apariencia general. No son usadas por su resistencia o durabilidad como las rocas para construcción, o en tamaños específicos, como roca dimensionables. La industria de la roca decorativa usa un amplio rango de tipos de roca, comparados con las rocas que son dimensionables. La roca decorativa usualmente cumple con algunos propósitos estructurales, pero no por su relación de carga. Caras o baratas, las rocas que son utilizadas para decoración no tienen aplicaciones estructurales.

El valor de producción de la roca dimensionable doméstica en 1990, incluyendo algunas rocas decorativas, fue alrededor de 210 millones de dólares, comparados con las importaciones que fueron alrededor de 524 millones de dólares y las exportaciones de cerca de los 35 millones. Las producciones fueron de 1,080 ton. de las cuales al menos una tercera parte fue para uso decorativo en EEUU, (Taylor, 1992).

Los principales usos son en bloques para la construcción de estructuras (23%) y monumentos (18%); el restante es usado como **ashlar** (18%), rebordes (12%) y misceláneos (29%). La mayoría de tipos de roca son granito (50%), caliza (30%), arenisca (10%), pizarra (3%), mármol (2%) y otros (5%) (Harben, 1990).

Por esta razón si se toman en cuenta que las rocas existentes en el área de estudio y la gran actividad comercial que hay de estas rocas en el mundo, se toma la decisión de llevar acabo este trabajo, por la importancia y la calidad de las rocas estudiadas y su posible explotación, por el alto grado de potencial económico que hay en el mercado de las rocas dimensionables.

OBJETIVO

El objetivo principal del presente trabajo es establecer las perspectivas económicas como piedras dimensionables del material rocoso del cerro "El Salitre; así como el yacimiento de travertino, ubicado en la margen derecha del arroyo denominado "El Salitre" perteneciente al poblado de Ticumán, municipio de Tlaltizapán, estado de Morelos.

MÉTODO DE TRABAJO

Este trabajo se dividió en las tres etapas siguientes:

- a) Trabajo de gabinete.
 - b) Trabajo de campo.
 - c) Trabajo de laboratorio e investigación económica.
-
- a) Trabajo de gabinete.- Recopilar y revisar la información bibliográfica, las cartas topográficas y geológicas del área. Planear las salidas a campo, para desarrollar el trabajo, óptimo para cumplir con el objetivo principal.

 - b) Trabajo de campo.- constó de dos salidas a campo. En la primera se hizo el reconocimiento general de la zona y se localizó la caverna donde se encuentra el travertino ; se tomaron muestras y además se obtuvo una visión general del material del cerro conformado por calizas para ver su potencial geológico de explotación, así como un levantamiento con GPS del área de estudio, en la segunda estancia en el campo se verificaron los datos reconocidos y consistió en la toma de imágenes fotográficas del área. Y en la realización de un recorrido por el municipio y zonas adyacentes con el fin de localizar lugares donde explotan este tipo de roca y así conocer las perspectivas económicas del material de estudio.

 - c) En la última etapa se realizaron los estudios de valoración económica que pueden tener estas rocas, con base en sus propiedades. Se elaboró por medio de la computadora, con apoyo en el programa SURFER 6.0, el mapa del levantamiento realizado en GPS del área de la cueva de donde existe el travertino.

Se investigaron las características que deben cumplir las rocas para que puedan ser explotadas como rocas dimensionables así como su valor en el mercado nacional e internacional y sus perspectivas de desarrollo como una fuente económica. También se realizó la investigación legal en la que encuentra el área de estudio.

Capítulo 2

GEOGRAFÍA

2.1. Ubicación.

El estado de Morelos se localiza en la región centromeridional de la república mexicana, al Norte 19°08', al Sur 18°20' de Latitud Norte; al Este 98°38', al Oeste 99°30' de Longitud Oeste; a una altitud de 1,480 m.s.n.m. y con una temperatura promedio al año de 22.2° C. (Fig.2.1).

Limita hacia el norte con el Distrito Federal y el estado de México; al este y sudeste, con en el estado de Puebla; al sur y sudoeste con el estado de Guerrero. Tiene una superficie de 4,956 km², de la cual 85% corresponde a la parte meridional, de planicies y valles fértiles, cruzados por numerosos ríos, la mayoría afluentes del río Amacuzac y, en menor proporción, afluentes del río Atoyac. El restante 15% corresponde a la parte septentrional de terreno montañoso, formado por las estribaciones de las cordilleras del Ajusco y la Sierra Nevada (Volcán Popocatepetl). La capital del estado es la ciudad de Cuernavaca, cuya altitud promedio es de 1,500 m.s.n.m.

El estado de Morelos ocupa tan solo el 0.25% de la superficie de México, y por ello se ubica en el trigésimo lugar por el tamaño de su territorio respecto a otros estados de la República Mexicana. Sin embargo, en el territorio morelense se encuentra representada el 10 % de las especies de plantas de México, el 33 % de las especies de aves, el 5 % de los peces de agua dulce, el 14 % de los reptiles y 21 % de las especies de mamíferos mexicanos.

Por esta razón se clasifica al estado de Morelos en el decimotercer lugar por la importancia de su biodiversidad respecto a otros estados de la República Mexicana (CONABIO 1992, Ordóñez y Flores 1995).

El municipio de Tlaltzapán, tiene una superficie de 227.68 km², cifra que representa el 4.77% del total del Estado y ocupa por su extensión territorial el quinto lugar.

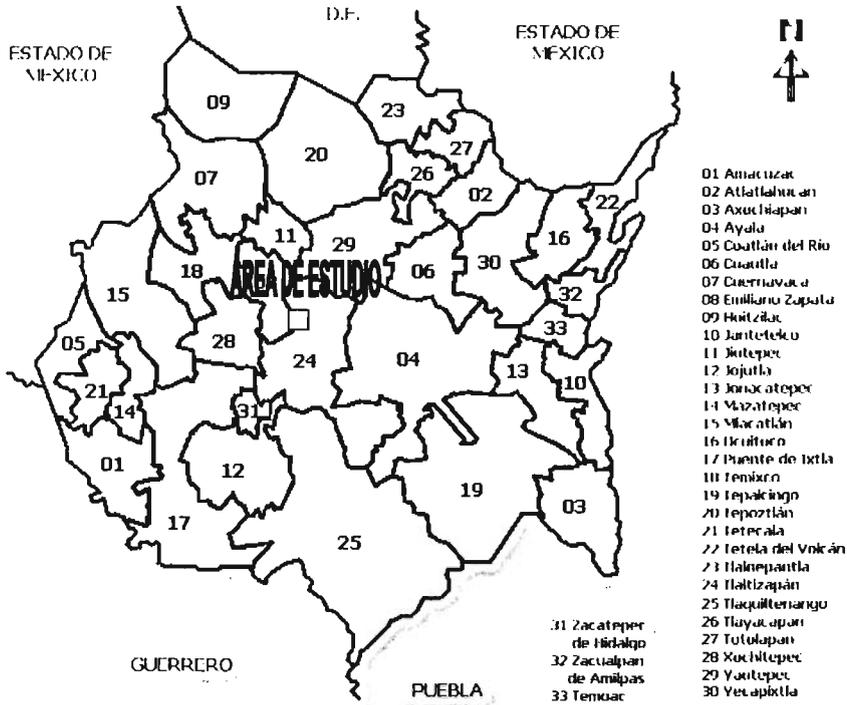


Fig.2.2. Localización del área de estudio en el municipio de Tlaltzapán, (INEGI,2004).

El área de estudio se encuentra ubicada en margen derecha del arroyo "El Salitre" que pertenece al municipio de Tlaltzapán en el estado de Morelos (Foto.1), se localiza a 16 km al S 34° E de la ciudad de Cuernavaca y a 21 km al poniente de la ciudad de Cuatla Morelos. Sus coordenadas son la siguientes: 18° 47' 45" de Latitud Norte y 99°08' 00" de Longitud Oeste, del meridiano de Greenwich. El acceso se realiza a partir del poblado de Ticumán por la carretera interestatal n° 28, que va a la población de Yautepec, a 1.5 km, se desvía al Poniente y se continua por una brecha de 3 km, pasando por el paraje "Panzacola" con rumbo al cerro "El Salitre", transitable en toda época del año, (Foto.2), (Fig. 2.3).

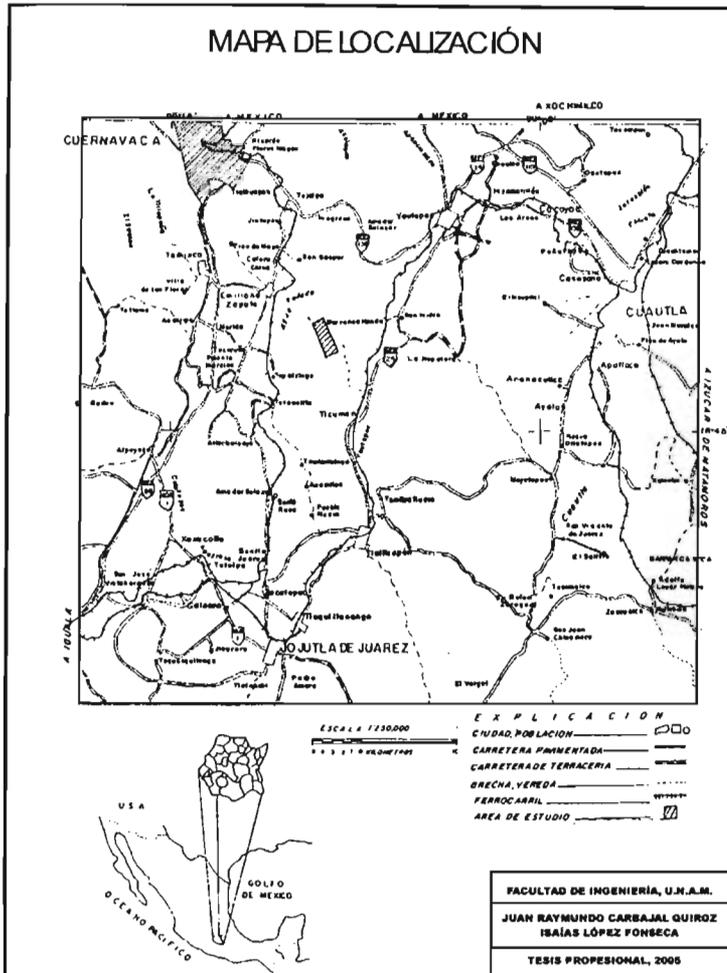


Fig.2.3. Área de estudio del cerro “el Salitre”, en el municipio de Tlaltizapán, (COREMI,1995).

2.2. Vías de comunicación.

En el estado, la integración vial ha sido fácil y rápida, gracias a su reducida extensión territorial. El estado está bien comunicado interiormente y hacia las entidades vecinas; otros factores que han favorecido su excelente red de comunicaciones son su colindancia con el Distrito Federal y su situación intermedia -paso obligado- entre éste y el puerto de Acapulco. Dichos factores han sido decisivos en el desarrollo económico del estado, ya que gracias a su red de carreteras, la entidad está en posibilidad de establecer centros receptores de la

industria como lo son: el Centro Industrial del Valle de Cuernavaca, Jiutepec; Parque Industrial, Cuautla; Ciudad de la Confección, Emiliano Zapata, etc.

Carreteras

Morelos se comunica con el Distrito Federal a través de cuatro carreteras pavimentadas. La más importante es la autopista n° 95 México-Cuernavaca, la cual tiene una longitud de 86 Km. La carretera México-Acapulco cruza las poblaciones de Tres Cumbres, Cuernavaca, Temixco, Puente de Ixtla y Amacuzac. La carretera federal de cuota México-Cuautla es un ramal de la autopista a Cuernavaca y pasa por Tepoztlán, Oacalco y Oaxtepec.

La vía federal 115 sale de la ciudad de México, pasa por Amecameca y tiene como meta también la ciudad de Cuautla. Otros caminos federales de importancia para el estado son: la carretera México-Oaxaca, en su tramo Cuautla-Izúcar de Matamoros, que comunica a la entidad con los estados de Puebla y Oaxaca; la carretera que conduce a Ixtapán de la Sal y se conoce como la vía corta a las grutas de Cacahuamilpa; así como la carretera federal Cuernavaca-Cuautla, que pasa por Tejalpa, Yautepec y Cocoyoc, y atraviesa el macizo central de la sierra de Tepoztlán por el Cañón de Lobos. Recientemente fue inaugurada una vía de comunicación que une a Puebla con Morelos.

El municipio, está integrado por una red carretera, siendo las principales vías: son las carreteras estatales Jojutla-Yautepec, Tlaltzapán-Chinameca, Tlaltzapán-Moyotepec y Tlaltzapán-Huatecalco; asimismo, cuenta con carreteras vecinas que unen a la cabecera municipal con las localidades del municipio.

El municipio puede intercomunicarse, ya que todas las comunidades tienen acceso vehicular, pues tiene una red pavimentada y de terracería, en algunas partes bastante deterioradas pero en función. (Fig.2.4).

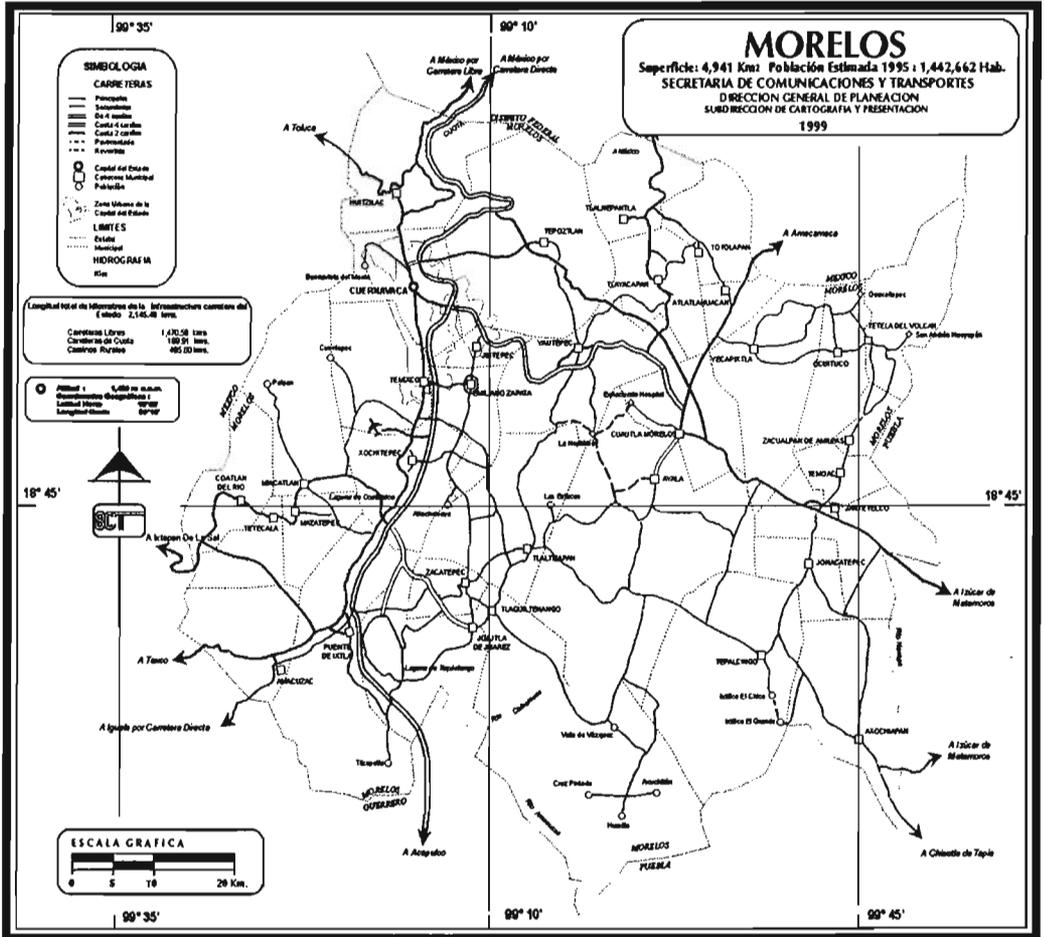


Fig.2.4. Mapa con principales carreteras del estado de Morelos, (Secretaría de Comunicaciones y Transportes 1999).

Teléfono

El 20% de la población cuenta con líneas telefónicas y el resto con un servicio de 11 casetas en el municipio.

Telégrafo

El servicio se encuentra ubicado en el edificio de la presidencia municipal.

Correos

En la actualidad proporcionan el servicio dos administraciones, una agencia y tres expendios.

Transportes en el municipio de Tlaltizapán

<i>Total</i>	Autos de alquiler	Particulares	Camiones De carga	Pasajeros	Camiones Alquiler	Carga Particular
1,454	66	1,388	38	38	68	923

Tabla 2.1. Transportes de automotor en el municipio de Tlaltizapán, (fuente Centro Nacional de Desarrollo Municipal, Gobierno del estado de Morelos 2001).

El transporte de pasajeros lo prestan las líneas Flecha Roja, México-Zacatepec, Estrella Roja, Verdes, y los múltiples de minibuses y combis concesionarios intermunicipales.

Ferrocarriles

Las vías férreas están en desuso, alcanzan una longitud de 351 Km. Como eje principal está el que cubre el trayecto México-Estación Balsas, y que toca los siguientes puntos: Tres Cumbres, Cuernavaca, Jiutepec, Zacatepec, Puente de Ixtla y Amacuzac. Por otro lado, Cuautla se comunica con la capital del país, vía Ozumba y Amecameca y con la ciudad de Puebla por Izúcar de Matamoros. Un ramal de vía angosta que parte de Cuautla va hacia Yautepec, en donde vira hacia el sur y pasa por Tlaltizapán y Jojutla, para llegar a Puente de Ixtla. Por último hay otro pequeño ramal que conecta las ciudades de Zacatepec y Jojutla. Aeropuertos

Se cuenta con un aeropuerto auxiliar del internacional de la ciudad de México en Temixco y algunas otras pistas de aterrizaje que permiten las operaciones de aviones pequeños y avionetas que se encuentran situadas en Cuernavaca, Cuautla, Tequesquitengo, Chiconcuac, Xochitepec y Puente de Ixtla.

2.3. CLIMA

Tipos de clima

El estado de Morelos se caracteriza por su diversidad climática (Fig.2.5), así, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1987), para la entidad se determinaron los siguientes tipos y subtipos de clima:

EFH Frío, con temperatura media anual menor de -2° C y temperatura media del mes más caliente menor de 0° C, localizado básicamente en las faldas del Popocatepetl y al noreste en los límites de la entidad.

$C(w_2)(w)(b')$ Semifrío, con verano fresco y largo, con temperatura media anual entre 5 y 12° C; la temperatura del mes más frío entre -3 y 18° C caracteriza la zona boreal del Estado y sur del Ajusco; localidades como Fierro del Toro en Huitzilac, se ubica en esta zona.

$C(w_2)(w)b$ Templado subhúmedo, con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos, con temperatura media anual entre 5 y 12° C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18° C, del mes más caliente entre 6.5 y 22° C, con verano fresco y largo, caracteriza a localidades como Huitzilac, Tres Cumbres, Coajomulco, Tlacualera y Apapasco, todas ubicadas en la región norte de la entidad en dirección poniente-oriental, al sur de la zona semifrío.

Los semicálidos $(A)C(w_0)(w)$, $(A)C(w_1)(w)$ y $(A)C(w_2)(w)$, los más cálidos de los templados, con temperatura media anual mayor de 18° C, temperatura media del mes más frío entre -3 y 18° C y la del mes más caliente mayor de 6.5° C, con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos, con porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la precipitación total anual. Ocupa la parte norte del estado de Morelos en localidades como Coajomulco, San Juan Tlacotenco, Tlalnepantla, Tlayacapan, Atlatlahucan, Ocuituco y Tlacotepec, entre otras.

La principal diferencia entre éstos estriba en los porcentajes de humedad que caracterizan a cada subtipo climático como producto, una vez más, del gradiente altitudinal.

Un segundo grupo de semicálidos $A(C)w_1(w)$ y $A(C)w_2(w)$, los más frescos de los cálidos, caracterizan localidades situadas a pie de monte; tal es el caso de localidades como Palpan, Cuernavaca y Oaxtepec, entre otras.

Finalmente, el área correspondiente al valle intermontano del centro y sur de la entidad se caracteriza por presentar clima cálido $Aw_0(w)$, $Aw_1(w)$, con temperatura media anual entre 22 y 26° C, temperatura media del mes más caliente mayor de 18° C, las lluvias son en verano (de mayo a octubre), con invierno seco (menos del 5% de la precipitación total anual). Se incluyen en esta zona localidades como Cuautla, Temixco, Xoxocotla, Zacatepec, Huautla y Axochiapan, entre otras.

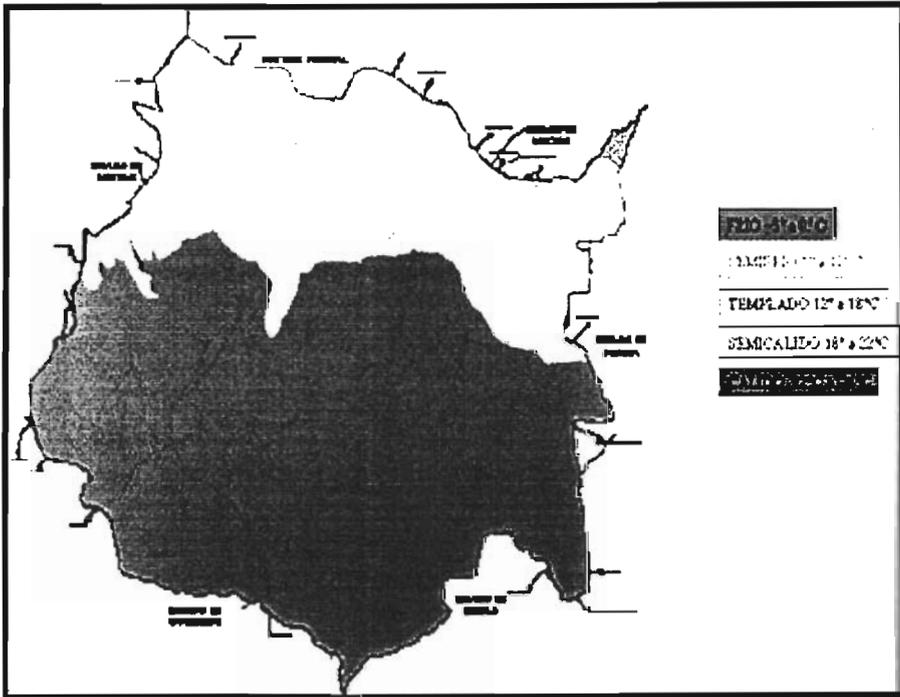


Fig.2.5. Mapa de climas en el estado de Morelos, (INEGI,2004).

2.4 Perfil sociodemográfico del municipio de Tlaltizapán

2.4.1 Evolución Demográfica

La población que oscila entre los 16 y 50 años, así como personas con edad laboral, tienden a emigrar a diferentes estados de la Unión Americana, principalmente durante los meses de abril a diciembre, aproximadamente las personas que se encuentran en la Unión Americana constituyen el 20% de la población económicamente activa.

De acuerdo al XII Censo General de Población y Vivienda 2000 efectuado por el INEGI, la población total del municipio es de 45,272 habitantes, de los cuales 22,004 son hombres y 23,268 son mujeres. La población total del municipio representa el 2.91 por ciento, con relación a la población total del estado.

2.4.2. Actividad económica

Principales Sectores, Productos y Servicios

Agricultura

Cultivo	Superficie hectáreas	Rendimiento Tonelada Hectáreas	Costo Producción. Hectáreas \$	Volumen Producción Toneladas \$	Precio por tonelada \$
Maiz	2,013	1.8	2,838	3,623	2,666
Caña azul	2,655	120	8,000	318,600	250
Arroz	--	--	--	--	--
Cacahuate	--	1.65	2,740	--	4,000
Cebolla	--	35	--	--	--
Sorgo	--	--	2.8	--	--
Tomate	--	24	--	--	--
Jícama	--	80	--	--	--

Tabla 2.2. Principales productos de la agricultura en la región, (Centro Nacional de Desarrollo Municipal, Gobierno del estado de Morelos 2001).

Se ha fomentado la incorporación de pastos de las variedades llanero, buffel e insurgentes y el Taiwán (riego) principalmente en los campos de San Rafael Zaragoza, San Pablo Hidalgo y la misma cabecera municipal.

Fruticultura

Se produce mango y aguacate, en la floricultura existen viveros de plantas y flores de ornato.

Ganadería

Se cría ganado bovino, porcino, caprino, ovino, caballo y se explota la avicultura y apicultura.

El municipio se destaca por su potencial pecuario, principalmente los sistemas de explotación intensivo y semiintensivo, el que cuenta con un inventario ganadero de las siguientes especies: Bovino 3,523; 1,042 porcino; 3,835 equino; 2,489 caprino; 78 ovino; 3,370,590 aves y 375 colmenares de abejas. Por lo que se puede observar, es un municipio ganadero.

En el manejo de la ganadería, la mayoría de los productores practican un sistema semi tabulado, ya que en verano sueltan el ganado al cerro y en época de estiaje lo juntan para hacer un manejo de desparasitación, vacunaciones, vitaminas y algunas veces hasta la suplementación de un alimento.

Respecto a enfermedades comunes en la ganadería son neumonías, parásitos internos y externos, anaplasmosis, piroplasmosis, septicemia, mastitis, brucela, y tuberculosis en rumiantes; barroasis en abejas.

Entre la raza bovina las más comunes son las cebuinas como: Gyr, nelore, nrahaman, indúbrasil y sardo negro. De razas europeas se encuentran el pardo suizo, semental, holstein y las que se dicen sintéticas como son simbra entre otros.

La raza de ovino más conocida es el peligüey, panza negra, santa cruz, cantadine.

En la raza de cabras se encuentran: Nubia, saanen, alpina y cruza entre las mismas.

En las razas de porcinos las más conocidas son: Durok, yorkshire, landrance y polan chane.

En la piscicultura se encuentran: Kinyo, gupy, molis, tilapia mozambica, hornorum, y langostino.

Sector	Porcentaje
Primario (Agricultura y Ganadería)	17.4
Secundario (Industria principalmente alfarería)	22.7
Terciario (Turismo, Comercio y Servicios)	59.5

Tabla 2.3. Población económicamente activa por sector, (Centro Nacional de Desarrollo Municipal, Gobierno del estado de Morelos 2001).

Capítulo 3

FISIOGRAFÍA

3.1 Provincias fisiográficas.

Los límites del estado de Morelos encierran áreas que corresponden a dos provincias fisiográficas del país: la provincia del Eje Neovolcánico y la de la Sierra Madre del Sur (Lugo-Hubp, J. ,1990). El territorio estatal cuenta con más de 4,700 m de desnivel entre su parte más alta (cráter del volcán Popocatepetl) de 5,465 m s.n.m.; y la parte más baja (donde el río Amacuzac entra al estado de Guerrero) de aproximadamente 700 m s.n.m. (Fig.3.1).

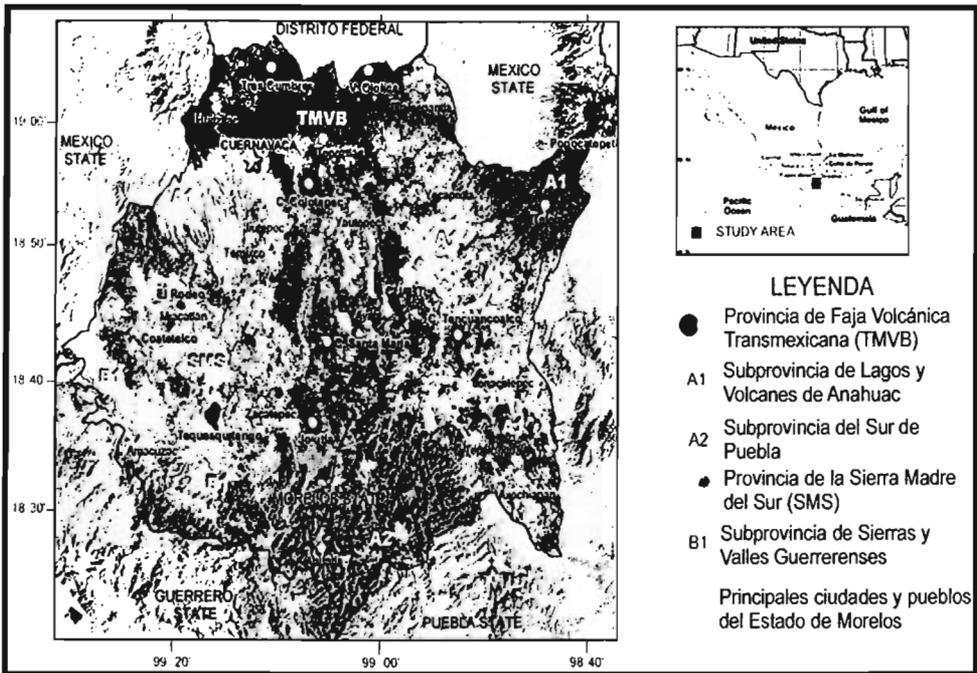


Fig. 3.1. Mapa de provincias fisiográficas de Morelos, (Gama, C, J, E, Flores, R, D, 2001).

A) Provincia del Eje Neovolcánico

Esta provincia cubre la mayor parte del estado de Morelos desde el norte al sureste. Limita al sur y occidente con la subprovincia cuenca del Balsas (Provincia de la Sierra Madre del Sur). Se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de varios tipos acumulada en innumerables episodios volcánicos que se iniciaron a mediados del terciario (unos 35 millones de años atrás) y continuaron hasta el presente.

En el estado de Morelos se tienen áreas que corresponden a dos subprovincias del Eje Neovolcánico: la de Lagos y Volcanes de Anáhuac y la del Sur de Puebla (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981).

A1) Subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac

Abarca todo el norte y el este del estado de Morelos, y cubre los municipios de, Huitzilac, Tlalnepantla, Totolapan, Tlayacapan, Atlatlahuacán, Cuautla, Yecapixtla, Ocuituco, Tétela del Volcán, Zacualpan, Temoac, Jantetelco, Jonacatepec y Axochiapan y parte de los de Cuernavaca, Tepoztlán, Yautepec, Ayala y Tepalzingo.

El área que ocupa la subprovincia es de 2,204.132 km², lo que significa el 44.45% con respecto a la superficie total estatal.

Esta subprovincia está constituida propiamente por la gran sierra volcánica del Ajusco, que va del límite meridional de la sierra de la Cruces (estado de México - DF), se extiende al oriente hasta las proximidades del Popocatepetl. El volcán Chichinautzin es el más elevado, dentro del estado de Morelos, con 3,450 m.s.n.m.

En la zona destaca la sierra de laderas escarpadas del Tepozteco formado por una intensa erosión de material de lahar (flujo de pedacera volcánica). En el extremo noreste los límites estatales se extienden en angosta franja por las faldas del Popocatepetl hasta el cráter del volcán. Otra unidad de gran importancia es el gran llano con lomeríos a 1,250 m s.n.m. que se extiende desde Yautepec hasta Axochiapan y cuya población más importante es Cuautla.

Al norte de la entidad, los suelos tienen un origen predominantemente residual y volcánico, lo que los hace ácidos y poco fértiles, por lo que su uso agrícola es muy limitado, así se tienen los andosoles: mólico, húmico, órico y vítrico (INEGI 2002), que son suelos que se encuentran en áreas en donde ha habido actividad volcánica reciente; regosoles: eutríco y dístrico; cambisoles: eutríco y húmico; acrisoles: órtico y húmico; luvisoles principalmente crómico, órtico.

Otros suelos presentes en la subprovincia, en los llanos, lomeríos y valles son: litosoles, feozems, chernozems y fluvisol calcárico.

A2) Subprovincia Sur de Puebla

Esta provincia cubre la porción central y suroeste del estado de Morelos y limita al norte y oriente con el Eje Neovolcánico.

Abarca una región de litología muy diversa, constituida por una gran variedad de rocas volcánicas antiguas, metamórficas de diferentes tipos y sedimentarias continentales, que incluye así mismo, depósitos lacustres de yeso del Mioceno. Se trata esencialmente, de la cuenca del río Atoyac, uno de los grandes e importantes afluentes del río Balsas, que fluye en sentido sureste hasta verter sus aguas en el río Balsas. Los arroyos que alimentan al río Atoyac han excavado cañadas en sus dos márgenes.

La subprovincia penetra al estado en su porción centro meridional, y está representada por una sierra volcánica de laderas escarpadas y un cañón. La sierra está sumamente erosionada, por lo que se presenta como un enjambre de cerros, y su altitud va en aumento desde la periferia (1,000 m s.n.m.) hasta la máxima en el centro (1,650 m s.n.m.).

Ocupa el 12.21% (605.76 km²) de la superficie total estatal y comprende parte de los municipios de Ayala, Tepalzingo y Tlaquiltenango (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981).

Posee cuatro tipos de suelo (INEGI 2002), entre los que domina el feozem háplico, que tiene una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes. Se presenta también, como es natural en las sierras, el litosol; en menor proporción se encuentra regosol eutrítico y vertisol pélico.

B) Provincia de la Sierra Madre del Sur

Esta provincia limita al norte con la del Eje Neovolcánico, al este con la Llanura Costera del Golfo Sur, las Sierras de Chiapas y al Oeste la Llanura Costera Centroamericana del Pacífico, y al sur con el Océano Pacífico. Abarca parte de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, México, Morelos, Puebla, Oaxaca, Veracruz y todo el estado de Guerrero. Está considerada como la más completa y menos conocida del país, y debe muchos de sus rasgos particulares a su relación con la Placa de Cocos.

La placa de Cocos es una de las más móviles que integran la litosfera o corteza exterior terrestre; se desplaza lentamente hacia la costa dos o tres centímetros al año para encontrar a lo largo de las mismas el sitio llamado "de subducción" donde penetra nuevamente hacia el interior de la Tierra.

A esta subducción se debe la fuerte sismicidad que se manifiesta en esta provincia, en particular sobre las costas guerrerenses y oaxaqueñas; la fosa de Acapulco es una de las zonas más activas.

Esta relación es la que seguramente ha determinado que alguno de los principales ejes estructurales de la provincia -depresión del Balsas cordilleras costeras, línea

de costa, etc., tengan estricta orientación NW-SE y que contrasta con la predominante orientación estructural E-O del Eje Neovolcánico.

La provincia tiene una litología muy completa en donde las rocas intrusivas cristalinas, especialmente los granitos y las metamórficas.

Los climas subhúmedos, cálidos y semicálidos imperan en gran parte de la provincia, pero en ciertas regiones elevadas que incluyen algunas con extensos terrenos planos como los valles centrales de Oaxaca, los climas son semisecos, templados y semifríos; en el oriente, en los límites con la Llanura Costera del Golfo Sur, hay importantes áreas montañosas húmedas cálidas y semicálidas.

La vegetación que predomina en la depresión del Balsas en las regiones surorientales de la provincia, es la selva baja caducifolia; los bosques de encinos y de coníferas ocupan las zonas más elevadas, y la selva mediana subcaducifolia, se extiende sobre toda la franja costera del sur. Aparte de esta vegetación hay en la provincia una de las comunidades florísticas más ricas del mundo.

La región manifiesta, además, un alto grado de endemismo (riqueza en especies exclusivas del lugar).

Dentro del estado de Morelos, quedan comprendidas áreas que corresponden a una sola subprovincia: la de Sierras y Valles Guerrerenses.

B1) Subprovincia de las Sierras y Valles Guerrerenses

Ocupa 2,148.33 km² del territorio morelense e incluye los municipios de Amacuzac, Coatlán del Río, Emiliano Zapata, Jiutepec, Jojutla, Mazatepec, Miacatlán, Puente de Ixtla, Temixco, Tetecala, Tlaltizapán y Xochitepec; así como partes de Ayala, Cuernavaca, Tlaquiltenango, Yautepec y una pequeña porción del municipio de Tepoztlán (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981).

En esta zona algunos de los sistemas montañosos de la subprovincia tienden a orientarse en dirección norte-sur, al contrario de la tendencia general de la provincia que es este-oeste.

Tal es el caso de los lomeríos surcados por cañadas sobre las laderas de la sierra del Ajusco, inmediatamente al oeste de Cuernavaca; de las sierras escarpadas calcáreas del noroeste de la subprovincia; de la llanura aluvial con lomeríos del valle del río Yautepec; de la llanura aluvial que se extiende al sur de Cuernavaca, desde Emiliano Zapata hasta Jojutla y de la gran meseta calcárea con cañadas que se extiende desde las ruinas de Xochicalco hasta Tehuixtla. Esta última, que presenta sus escarpes por el margen serpentional del río Amacuzac, tiene la particularidad de presentar algunos destacados rasgos cársticos. Entre ellos se encuentran la laguna-dolina- de El Rodeo. Por último, en el suroeste del estado hay una gran meseta con lomeríos que van de 900 a 1,200 m s.n.m. y que está constituida por aluviones antiguos erosionados (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981).

Se presentan diecinueve tipos de suelos que pertenecen a los grupos de los feozems, regosoles, cambisoles, castañozems, vertisoles, acrisoles, fluvisoles, chernozems, andosoles, litosoles y rendzinas.

3.2 Geomorfología del estado de Morelos

Se presentan tres formas de relieve: zonas accidentadas que cubren el 17% del terreno al norte y al sur de la localidad y al sureste del municipio; se encuentran zonas semiplanas con una extensión de 37% del terreno en las faldas de los cerros y lomeríos al sureste del municipio y zonas planas que abarcan el 46% del centro del municipio (Fig.2.2).

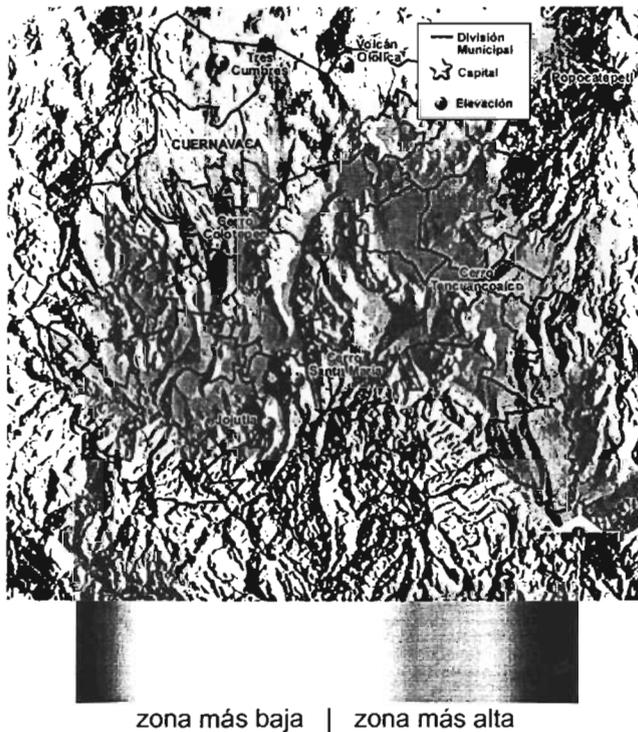


Fig. 3.2. Mapa de elevaciones principales del estado de Morelos, (INEGI, 2004).

Región	Cuenca	% de la superficie estatal
Balsas	R. Atoyac	13.26
	R. Grande de Amacuzac	86.74

FUENTE: INEGI. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000.

Tabla.3.1. Regiones y cuencas hidrológicas

La totalidad de los cuerpos de agua del estado de Morelos (tabla 3.2) pertenecen a la cuenca del Balsas, el río más grande del sur del país que desemboca en el Océano Pacífico. En el estado de Morelos, el río Balsas se encuentra dividido en tres subcuencas: la cuenca del río Amacuzac con una superficie de 4,303.39 Km²; la cuenca del río Atoyac con 673.17 Km² y la cuenca del río Balsas-Mezcala con 1.6 Km².

Nombre ríos	Ubicación de la cuenca	Nombre ríos	Ubicación de la cuenca
Amacuzac	R. Grande de Amacuzac	Apanctezalco	R. Grande de Amacuzac
Cuautla	R. Grande de Amacuzac	Los Sabinos	R. Grande de Amacuzac
Yautepec-Jerusalén	R. Grande de Amacuzac	El Sabino	R. Grande de Amacuzac
Colotepec-Apatlaco	R. Grande de Amacuzac	Tejaltepec	R. Grande de Amacuzac
Tembembe-Mexicapa	R. Grande de Amacuzac	La Tilapeña	R. Grande de Amacuzac
Chalma	R. Grande de Amacuzac	El Terrón	R. Grande de Amacuzac
Chivato	R. Grande de Amacuzac	Tepalzingo	R. Atoyac
Quila Mula	R. Grande de Amacuzac	Río Grande	R. Atoyac
Río Salado	R. Grande de Amacuzac	Acolapan	R. Grande de Amacuzac
Chalchihuapan	R. Grande de Amacuzac	Agua Salada	R. Grande de Amacuzac

FUENTE: INEGI. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000.
INEGI. Carta Topográfica, 1:250 000.

Tabla.3.2. Principales corrientes de agua en el estado de Morelos

El inventario de los cuerpos de agua morelenses reviste gran importancia para la entidad por su distribución y número. En efecto, el estado cuenta con siete ríos que recorren gran parte del territorio, seis lagos con muy diversas características, 124 embalses entre presas y bordos, así como alrededor de 50 manantiales (Porras, et al. 1991).

Entre los ríos resalta el Amacuzac, que tiene su origen en los ríos Chontalcoatlán y San Jerónimo, cuyas aguas afloran en las Grutas de Cacahuamilpa ya con el nombre de río Amacuzac. Éste se interna en Morelos por el Occidente, en su recorrido recaen los caudales de los ríos Chalma, Tembembe, Apatlaco, Tetzama, Yautepec, Cuautla y otros de menor importancia. En su trayecto de 68.8 km por la entidad, cruza los municipios de Amacuzac, Puente de Ixtla, Jojutla y Tlaquiltenango.

3.3.1 Aguas superficiales

Región hidrológica Río Balsas (No. 18)

Dentro del estado de Morelos, están en forma parcial, tres cuencas: río Atoyac (18A), río Balsas-Mezcala (18B) y río Grande de Amacuzac (18F).(Fig.3.3)

Río Atoyac (18A)

Con una superficie dentro del estado de 653.17 km², la corriente más importante de esta cuenca es una de las principales formadoras del río Balsas. Se origina en la sierra de Tlaxco y en los deshielos que descienden de altitudes del orden de 4,000 m s.n.m. del flanco oriental del volcán Iztaccíhuatl y del volcán Popocatepetl en los límites entre el Estado de México y Puebla.

La corriente conocida como río Atoyac tiene una dirección inicial hacia el sureste, donde recibe por la margen izquierda al río Atotonilco y por la derecha a los ríos San Lucas y Tlanapan; aguas abajo, este último afluente atraviesa la ciudad de San Martín Texmelucan, Puebla, a partir de donde continúa con dirección sureste.

La aportación al estado de Morelos es mínima, con su aprovechamiento máximo ocurre en el estado de Puebla,(Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981).

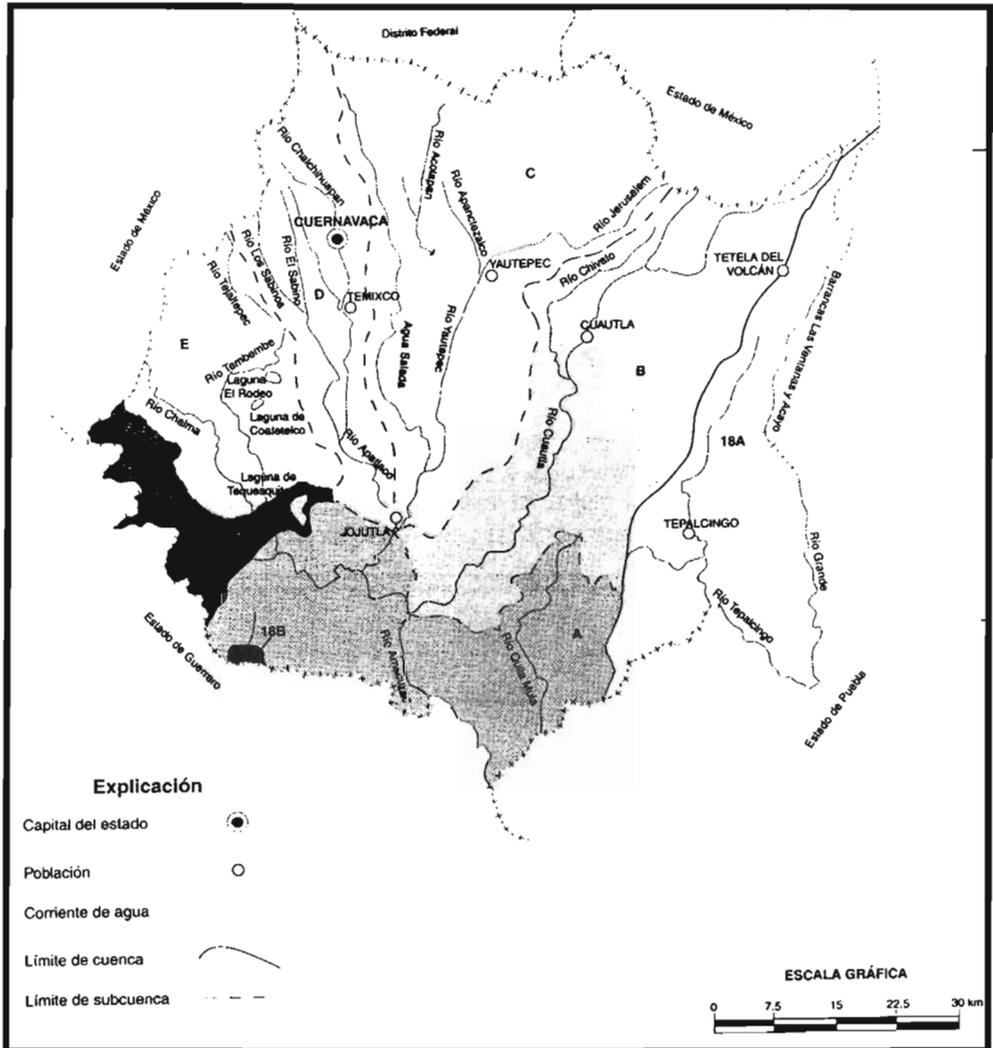


Fig.2.3. Mapa de principales ríos en el estado de Morelos, (COREMI 2002).

Río Balsas-Mezcala (18B)

Tiene una superficie dentro del estado de 1.66 km². El río Balsas corriente principal de esta cuenca, recibe en su largo recorrido varios nombres, como Zahuapan, Atoyac y Mezcala. La aportación al estado de Morelos es nula, pues en realidad el aprovechamiento máximo de esta cuenca es hacia el estado de Guerrero. Tiene como subcuenca intermedia en el río Tepecoacuilco, (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981).

Río Grande de Amacuzac (18F)

Tiene una superficie dentro del estado de 4,303.39 Km². Esta cuenca es la que ocupa la mayor parte del estado. Su corriente principal es uno de los más importantes afluentes del río Balsas y se origina en las faldas del volcán Nevado de Toluca, a una altitud de 2,600 m s.n.m., en las inmediaciones del poblado de Tequisquiapan, estado de México, en donde la corriente se conoce como río Texcaltilán. El río Amacuzac corre por el valle de Almoloya de Alquisiras y más abajo, al llegar a las calizas de Cacahuamilpa, se sumerge en éstas y brota en las grutas de Cacahuamilpa. La longitud de recorrido desde el origen del río y las grutas es de 75 Km. El desarrollo total del río Amacuzac es de aproximadamente de 240 Km. Tiene la siguientes subcuencas intermedias: río Bajo Amacuzac, río Cuautla, río Yautepec, río Apatlaco y río Alto Amacuzac.

Almacenamientos

Entre los lagos destaca el de Tequesquitengo, con un volumen de 120, 000,000 m³ de agua; el lago de Tequesquitengo se encuentra ubicado entre los municipios de Puente de Ixtla y Jojutla, se desarrolla más como un centro turístico que pesquero (tabla 3.3). En el municipio de Axochiapan se encuentran dos presas importantes que llevan por nombre Los Carros y Cayehuacán, con capacidad para 10, 000,000 m³ y 13, 000,000 m³ de agua, respectivamente. Entre los manantiales se tiene al más importante que es el de Las Estacas del municipio de Tlaquiltenango, con un aforo de 7,000 litros por segundo.

Un factor de importancia en la caracterización de los cuerpos de agua en el estado, es la topografía que presenta una zona Norte, por arriba de los 1,000 metros sobre el nivel del mar, con ambientes típicos de zonas montañosas templadas, donde predominan lagos, manantiales y arroyos de aguas frías y cristalinas, mientras que hacia el Sur dominan biotopos característicos de climas subtropicales, en los que las características de los cuerpos de agua son muy diferentes con un intervalo de temperaturas que oscila entre los 22°C y 30°C y en donde disminuye considerablemente la transparencia del agua.

Nombre	Ubicación
L. Tequesquitengo	R. Grande de Amacuzac
L. Coatetelco	R. Grande de Amacuzac
L. El Rodeo	R. Grande de Amacuzac

FUENTE: INEGI. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000.

Tabla.3.3. Principales cuerpos de agua en estado de Morelos

En el estado de Morelos hay pocas obras de almacenamiento (tabla 3.3); esto, a causa de las características de la topografía. Destacan las siguientes: Laguna El Rodeo, con una capacidad de 28,000,000 de m³; Presa Emiliano Zapata, con 6,000,000 de m³; y Presa La Poza, con 1,451,790 m³. El resto de las obras son de menor capacidad y en algunos casos son bordos que se han adaptado para irrigar las zonas de cultivo, como el de Tequesquitengo, con un volumen de 120,000,000 m³ de agua.

Aguas subterráneas

Los principales aprovechamientos de aguas subterráneas del estado de Morelos provienen de manantiales y en menor escala de pozos y norias, aunque estos últimos cada día se van incrementando.

La mayoría de los manantiales se localizan en la porción central y septentrional del estado. Sobresalen por su gran caudal los manantiales de Las Estacas, Fundición, Chapultepec, y El Salto; los dos primeros afloran en calizas y los otros en los basaltos del grupo Chichinautzin.

Los pozos profundos están distribuidos en todo el estado, pero los más sobresalientes son el artesiano de San Gabriel de las Palmas, el de Cuachichimala, los de Puente de Ixtla, Zacatepec y los de Atlacahayola, cerca de Telixtac.

De las norias, la de mayor importancia es la que se localiza dentro de la ciudad de Cuernavaca, un kilómetro al norte de los manantiales de Chapultepec.

Zonas de veda

Se aplica una zona de veda elástica, que implica el incremento en la explotación del agua subterránea para cualquier uso.

Grados de permeabilidad

Permeabilidad alta: Los acuíferos que existen bajo esta condición pueden ser del tipo libre o confinado y su comportamiento depende de las condiciones de depósito en que se encuentran localizados. Las principales zonas donde se localizan son Cuautla y el valle de Cuernavaca.

Permeabilidad media: Esta condición se da cuando arenas, gravas y algunas calizas, riolitas y basaltos son susceptibles de contener agua debido a que presentan características de permeabilidad y porosidad, las rocas aflorantes de este tipo se localizan principalmente en el área de Jojutla de Juárez, Ticumán y Cocoyotla.

Permeabilidad baja: Esta condición se observa en las rocas que se localizan en la región de Tetela del Volcán, al noreste del estado y en la sierra de Chichinautzin, en los límites con el Distrito Federal; están constituidas principalmente por derrames basálticos.

El municipio de Tlaltzapán es atravesado por el río Yautepec, que llega hasta el pueblo de Bonifacio García y de ahí en adelante toma el nombre de río Verde, en su trayecto recoge las aguas de los manantiales de las Estacas, para aumentar su caudal de manera considerable. Este río recibe las aguas del río Dulce, por la parte baja del municipio, recibe las aguas del río Salado de Temilpa el cual es pequeño en extensión, pues apenas cuenta con dos kilómetros de recorrido, pero su caudal es muy grande.

El río Cuautla o Chinameca entra también al municipio que sirve de límite con el municipio de Tepalcingo, cuenta también con 43 pozos para extracción de agua.

Capítulo 4

GEOLOGÍA

4.1 Marco geológico.

4.1.1 Geología regional.

En el estado de Morelos existen solamente afloramientos de rocas ígneas y sedimentarias. Las rocas volcánicas son las más jóvenes y las más abundantes.

Las estructuras geológicas más notables son las constituidas por aparatos volcánicos y sus grandes espesores de lava.

El estado de Morelos queda comprendido dentro de dos provincias geológicas:

el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur, (Fig.4.1).

El sur de México es una de las regiones más complejas y por tanto más interesante desde el punto de vista geológico. Está constituida por un mosaico de provincias geológicas (Cuicateca, Zapoteca, Mixteca, Plataforma de Morelos-Guerrero, Complejo Orogénico de Guerrero-Colima y Chatina; Ortega-Gutiérrez et al., 1992), cuyas relaciones se han empezado a entender en los últimos años conforme se han ido detallando los estudios estratigráficos y estructurales en las diferentes zonas

La zona de estudio está enclavada en el terreno Tectonoestratigráfico Mixteco, (Campa U.M.F. et al, 1983).

De acuerdo a estos autores, el basamento del terreno son las rocas del Complejo Acatlán, que no afloran en el área, cubiertas por un potente espesor de rocas calcáreas, areniscas y lutitas de la Plataforma Morelos-Guerrero del Cretácico medio a superior, las que se encuentran intrusionadas por granodioritas y cubiertas por andesitas.

La evolución tectónica de la región se inicia a principios del Cretácico con el desarrollo de plataformas someras donde se efectúa la sedimentación marina calcárea de la Formación Morelos, entre el Albiano y el Cenomaniano, en mares someros de plataforma, (COREMI, 2000).

4.2 Estratigrafía

4.2.1 Sierra Madre del Sur

Esta provincia cubre la porción central y suroeste del estado de Morelos y limita al norte y oriente con la provincia del Eje Neovolcánico.

El área de estudio queda localizada en el contexto de la provincia geológica Plataforma Morelos-Guerrero, (Fig.4.2) (Ortega-Gutiérrez et al. ,1992).

En la región afloran rocas sedimentarias marinas de edad Cretácico Inferior y Superior, representadas por calizas de ambientes lagunares y de plataforma, así como terrígenos calcáreos en una secuencia flysh. Estas rocas presentan una topografía de aspecto redondeado; conforman sierras y valles alargados de rumbo norte-sur y noroeste-sureste que corresponden a pliegues anticlinales y sinclinales.

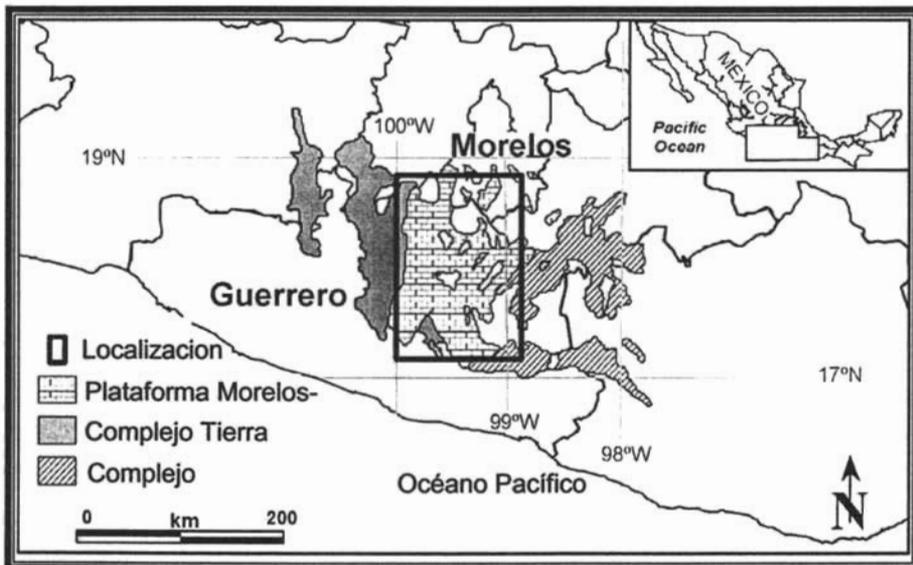


Fig. 4.2. Localización de la Plataforma Morelos Guerrero, (Aguilera-Franco, 2000).

A su vez estas rocas que constituyen las más antiguas de las que afloran en esta zona, se encuentran cubiertas por depósitos continentales, representados por conglomerados, areniscas, limolitas y evaporitas así como por derrames y depósitos volcánicos de composición andesítica y riolítica.

Las unidades rocosas mencionadas están afectadas por fallas normales y fracturas, que definen dos sistemas principales cuyos rumbos son NW-SE y NE-SW.

Además se tiene la presencia de cuerpos intrusivos hipabisales granodioríticos, cuya interacción con los sedimentos carbonatados marinos ha provocado la formación de calizas marmorizadas y algunos depósitos de fierro, que rellenan fracturas primarias.

En esta provincia, donde afloran las rocas que más antiguas que se han encontrado en el estado de Morelos, corresponden a la Formación Morelos del Cretácico Inferior. Esta unidad se presenta en estratos gruesos de calizas y dolomías de ambiente marino, con afloramientos en las cercanías de Cuautla: en estas rocas existen pliegues anticlinales y sinclinales recostados.

A esta unidad sobreyace la Formación Cuautla que presenta facies de calizas con menos dolomías que la Formación Morelos y donde los estratos de caliza llegan a medir hasta 4 m de espesor; en ocasiones con abundante pedernal en forma de lentes y nódulos que afloran en la cercanía de Tlayecac.

El Cretácico Superior está representado por una secuencia interestratificada de areniscas y lutitas calcáreas conocida como la Formación Mezcala, que presenta estratos delgados y plegados, con afloramientos cercanos a la ciudad de Cuautla.

Del Cenozoico afloran tanto rocas sedimentarias clásticas como rocas volcánicas que cubren en discordancia a las rocas del Cretácico. Entre estas el grupo Balsas, cubre en discordancia a las unidades más antiguas, (Fig. 4.3).

TABLA ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA MORELOS - GUERRERO

ERA	SISTEMA	SERIE	PISO	REGION DE CHILPANCINGO FORMACION (1)	GUERRERO (2) CENTRO Y NORTE	MORELOS (3)
CENOZOICO	CUATERNARIO		RECIENTE		ALUVION	ALUVION
			PLEISTOCENO	ALUVION		ALUVION
	TERCIARIO		PLIOCENO	CHILPANCINGO	CUERNAVACA	CUERNAVACA
			MIOCENO	ROCAS VOLCANICAS	ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS	ROCAS VOLCANICAS
			OLIGOCENO			
			EOCENO	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS
	PALEOCENO					
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRICHIANO			
			CAMPANIANO			
			SANTONIANO	MEXCALA	MEXCALA	MEXCALA
			CONCACANO			
			TURONIANO	CUAUTLA	CUAUTLA	CUAUTLA
		MEDIO	CENOMANIANO	MORELOS	TAMAULIPAS SUPERIOR	MORELOS
			ALBIANO			
			APTIANO	GRUPO CICALPA * CALIZAS CON NERINEAS ANHIDRITAS	YOTHSALTEPE ACAPULCO	
			BARREMIANO		ROCAS VERDES SECUENCIA METAMORFICA	ANHIDRITAS **
			HAUTERIVIANO			FM NEXAPA **
	JURASICO	INTERIOR	VALANGINIANO			
			BERRIASIANO			
			TITONIANO		FM ANGAO	METASISTEMAS **
			BONONIANO			
			HAVRIANO			
		SUPERIOR	SEGUANIANO			
			ARGOVIANO			
			DIVESIANO			
			CALLOVIANO			
			BATHONIANO	JUR MED MARINO	GPO TECOCUYUNCA	CONGL CUALAC
TRIASICO	SUPERIOR	BAJOCIANO				
		LIASICO	GPO CONSUELO			
		RETIANO				
PALEOZOICO	SUPERIOR	NORIANO	FM CHAPOLAPA			
		CARNIANO				
		PERMICO	IXCUINTOYAC ?	ESQUISTO TAXCO NO DIFERENCIADO		
	MEDIO	CARBONIFERO				
		DEVONICO				
		SILURICO	COMPLEJO KOLAPA			
INFERIOR	ORDOVICICO					
	CAMBRIICO					
PRECAMBRIICO			GNEISSES Y ESQUISTOS			

* Nombre informal
 1) J. Gonzalez A. (1972) y otros 2) G. Delibes T. y otros (1974) ** Informacion de subsuelo E LOPEZ RAMOS (1978) Pozo Tecuma 2

Fig. 4.3. Columna estratigráfica de la cuenca Morelos-Guerrero, (López Ramos 1978).

Son característicos de esta provincia algunos hundimientos de zonas cavernosas (dolinas), debidos a la disolución y posterior colapso de las rocas calcáreas.

A continuación se presenta una descripción breve de las principales formaciones que se encuentran en la Plataforma Morelos–Guerrero, (COREMI 2000).

Formación Xochicalco. (Kix).

(Aptiano-Albiano Inferior).

El nombre de Formación Xochicalco proviene de la localidad arqueológica situada en el cerro del mismo nombre, al sur de la ciudad de Cuernavaca.

Litología.

Esta formación consta principalmente de calizas en capas delgadas, aflora desde dicho punto hasta el cerro de Colotepec, donde está intrusionada por un tronco granítico; también se extiende al sur casi hasta la carretera Alpuyecacahuamilpa, en un área aproximada de 9 km².

El nombre de Formación Xochicalco, Fries (1960) lo tomó de la localidad arqueológica situada en el cerro del mismo nombre. Esta unidad, principalmente de caliza en capas delgadas, aflora desde dicho punto hasta el cerro de Colotepec, al oriente, donde está intrusionada por un tronco granítico.

La topografía desarrollada en la caliza Xochicalco no presenta formas tan redondeadas como las que caracterizan a la Formación Morelos y las líneas de desagüe están estrechamente espaciadas. Los flancos de los cerros tienden a presentar una inclinación acentuada, con escasos acantilados.

La Formación Xochicalco consiste en una sucesión de capas de calizas densas de espesor variable de muy delgado a mediano, generalmente con superficies de estratificación planas. El color varía desde gris oscuro a negro, según el contenido carbonoso de las capas. Es común el pedernal en forma de nódulos, lentes y láminas delgadas u hojas. Una característica, cuando menos en la parte superior, es la abundancia de láminas de pedernal intercaladas, hasta el grado de formar casi la mitad de roca en algunos lugares.

Las láminas más delgadas tienen sólo de 1 a 2 mm, mientras que otras llegan desde 1.5 hasta 10 m y no se continúan lateralmente más que unos cuantos metros.

Las capas más delgadas de caliza se caracterizan por su laminación fina que varían en tamaño de grano desde calcilitita a calcilimolita y aún a calcarenita de grano fino.

Otras capas no tan notablemente laminadas están formadas por calcita criptocristalina en forma de esferas menudas o grumos, con mezcla de materia carbonosa, en una matriz de calculutita. Se presentan en abundancia romboedros de dolomita, pero no forman más que un porcentaje escaso en las rocas.

En la parte inferior de la formación parece disminuir el número de capas delgadas y predominan las capas medianas, el pedernal también disminuye en cantidad.

En la localidad tipo de la formación, entre los cerros de Colotepec y Xochicalco, no está expuesta la base y es difícil o imposible hacer una estimación de confianza del espesor de las capas expuestas, debido a la repetición producida por el plegamiento estrecho. Parece que el espesor mínimo de las capas expuestas excede de 500 m y se le atribuye una edad del Barremiano-Aptiano (Fries, 1960).

Formación Morelos (Kim)

(Albiano- Cenomaniano)

El nombre de Formación Morelos fue propuesto por Fries (1960), para referirse a una potente secuencia de caliza y dolomita del Albiano- Cenomaniano que aflora en Morelos y en los estados contiguos de Guerrero y el estado de México.

La base de la formación varía ampliamente en edad, ya que la formación fue depositada en una superficie irregular. No se ha encontrado la localidad tipo, debido a que la base de la formación no está expuesta en el sitio donde la unidad tiene su mayor espesor.

Además, en los sitios donde aflora la base, faltan algunas capas inferiores, no se presenta la cima de la formación o es tan complicada la estructura que no permite establecer la sucesión precisa de las capas.

Por ello, se considera que sus afloramientos en el estado de Morelos forman una región tipo de esta formación. El área al poniente de Ticumán, hasta el contacto con la Formación Cuautla suprayacente, exhibe la mayoría de la facies litológicas de carbonatos que constituyen la Formación Morelos. Con excepción del afloramiento de anhidrita situado un poco al oriente de Tilzapotla, que es aparentemente de edad más antigua.

El afloramiento más septentrional de la Formación Morelos se encuentra aproximadamente a 2.5 Km al sur de Tepoztlán, donde la formación desaparece debajo de la Formación Tepoztlán (Tmt) suprayacente, de edad miocénica (?).

Las capas gruesas de caliza y dolomita de la Formación Morelos son muy resistentes a la erosión bajo las condiciones climáticas prevaletientes en la región

y tienden a formar altos topográficos, con excepción de los lugares donde estén cubiertas por rocas volcánicas terciarias, con una altura aun mayor.

Las superficies elevadas del terreno, se muestran redondeadas y convexas hacia arriba. Las líneas de desagüe tiene un amplio espaciamiento y los costados de los valles aumentan su inclinación hacia abajo, donde terminan en fondos angostos en forma de V, con poco aluvión. Abundan pequeñas dolinas, especialmente a lo largo de algunos valles de poca profundidad en el terreno elevado, y se presentan acantilados en los lugares donde los costados están muy inclinados.

La Formación consta predominantemente de una sucesión de capas de caliza y caliza dolomítica interestratificadas, con cantidades variables de pedernal en forma de nódulos, lentes, granos y fragmentos de fósiles silicificados. La parte más antigua de la formación está constituida por un miembro de anhidrita en la parte oriental de la región. La cantidad mezclada de material arcilloso es generalmente pequeña.

La sucesión de tipos litológicos en un sitio determinado parece cambiar dentro de distancias laterales relativamente cortas. El color cambia marcadamente de una a otra capa de colores gris cremoso claro a negro. Las capas oscuras contienen materia bituminoso en cantidad variable.

Las capas dolomitizadas presentan colores grisáceos con tintes parduscos al intemperismo, algunas capas tiene un aspecto manchado. Los estratos son, por lo general, bastante gruesos, teniendo entre 20 cm y 60 cm, pero pueden alcanzar hasta mas de 1 m de espesor. La textura de la caliza varía de calcilitita a calcirrudita, pero el tipo textural más común es la calcarenita.

Los cuerpos arrecifales están constituidos por montículos arrecifales y biostromas discontinuos de rudistas en calizas micriticas.

Localmente, la caliza está formada en gran proporción por miliólidos, que en determinadas áreas u horizontes faltan por completo.

Las capas dolomitizadas están totalmente diferenciadas y netamente separadas de las capas antiguas. En ninguna parte se ha observado que la dolomitización atraviese las capas, si no que en todas partes las placas de estratificación representan contactos bien definidos. Un rasgo notable de las dolomitas es su textura sacaroide y la ausencia de fósiles reconocibles.

El pedernal es abundante en ciertas partes de la Formación Morelos y gran parte de este aparece en forma de nódulos irregulares, nudosos o cordados, sobre los planos de estratificación; algunos de ellos forman, lentes más pequeños.

La anhidrita es laminar, de color que varía de blanco a gris oscuro, fuertemente retorcida por escurrimiento y por la deformación que ha sufrido durante la orogenia Laramide.

El material superficial contiene una mezcla considerable de yeso, pero la roca relativamente inalterada más densa, es anhidrita casi pura. La relación entre la anhidrita -yeso y la caliza es muy irregular; no se observa sobreposición, ni estratificación y su contacto más bien es tectónico debido al diapirismo de la anhidrita. La presencia de la anhidrita en el subsuelo se infiere, en algunas partes, por el desarrollo extenso de dolinas y poljés.

El yeso se supone que resulta de la hidratación de la anhidrita por aguas subterráneas (Fries, 1960), De Cserna et al. (1980) separaron esta unidad de la Formación Morelos y la nombraron Anhidrita Huitzuco.

El espesor de la Formación Morelos varía considerablemente: 400m cerca de la ciudad de Iguala, Gro., hacia el norte, en las cercanías de Buenavista de Cuéllar, Gro., en 600 m, mientras que en la parte central del estado de Morelos el espesor probablemente llega cuando menos a 900 m, es desconocido el espesor total porque no está expuesta la base. Su contacto inferior con el Esquisto Taxco, Complejo Acatlán y otras formaciones más antiguas es tectónico; con la Formación Zicapa, es transicional (todas estas unidades no afloran en el estado de Morelos, sino más al sur, en el estado de Guerrero) y el contacto superior, con la Formación Cuautla es discordante (Fries, 1960, De Cserna y Fries, 1981).

La Formación Morelos varía ampliamente en edad de una parte a otra, pero, en términos generales, en el occidente tiene edades del límite Aptiano-Albiano al Albiano medio; en cambio, hacia el oriente alcanza el Cenomaniano Superior y hasta el Turoniano Inferior en los alrededores de Chilapa, Guerrero (Sabanero-Sosa, 1990, COREMI 2002).

Las características litológicas y paleontológicas que presentan los sedimentos de la Formación Morelos, indican un depósito en ambiente de plataforma somera, sin aportes terrígenos, con mares abiertos de aguas cálidas y transparentes que presentaban condiciones de salinidad estable, lo que permite, hacia sus bordes, (zonas de alta energía) el crecimiento inusitado de organismos constructores de arrecifes (biohermas) que constituyen barreras las cuales protegieron zonas de baja energía, donde se originó el depósito de evaporitas, lodos calcáreos y desarrollo de foraminíferos bentónicos, rudistas de ambiente tranquilo (requiénidos y monopléuridos) y gasterópodos que construían cuerpos arrecifales de tipo "biostroma", de espesor reducido y extensión considerable. En los límites occidentales están formados por plataformas restringidas (con arrecifes pequeños y discontinuos) y rampas (Ontiveros-Tarango, 1973, COREMI 2000).

Espesor.

El espesor de esta formación varía de 370 a 1,430 m.

Relaciones Estratigráficas.

Su contacto inferior se ha observado concordante sobre las formaciones San Juan y Acahuizotla, así como sobre la formación San Lucas. En algunas áreas descansa en discordancia por su carácter transgresivo sobre rocas del basamento. El contacto superior es concordante bajo los carbonatos de la Formación Cuautla.

Edad.

Con base en su posición estratigráfica, y de acuerdo a su contenido faunístico es posible asignarle en algunas áreas alcance hasta el Aptiano Superior. La microfauna clasificada consiste de una asociación de *Nummoloculina heimi*, *Colomiella mexicana*; así como macrofauna de *Caprinuloides sp.* *Toucacia sp.* y *Nerinea sp.*

Ambiente de Depósito.

El ambiente de depósito, de la Formación Morelos es el correspondiente a facies de plataforma con algunos crecimientos arrecifales; además de facies de plataforma evaporíticas hacia la base. En la porción norte de la Cuenca de Guerrero, está formación cambia lateralmente a facies de cuenca del Albiano-Cenomaniano, descritas con el nombre de Formación Xochicalco (Fries, 1960), representadas por capas delgadas y medianas de mudstone a wackstone gris oscuro a negro en partes arcillo-carbonosas, con bandas de pedernal.

Formación Cuautla. (Ksc)

(Cenomaniano-Turoniano)

Fries, C. (1960), la describe como una serie de horizontes delgados de caliza arcillosa negra. El nombre de la Formación Cuautla se ha tomado de la Ciudad de Cuautla, y se propone para las exposiciones de la unidad de calizas en las serranías bajas situadas hacia el poniente de esa ciudad.

La formación consta de tres facies principales que son: 1) una sucesión gruesa de calizas de estratificación mediana a gruesa, del tipo de banco calcáreo o "bahamita", 2) una sucesión más delgada a mediana de calizas laminadas de estratificación delgada a mediana y 3) una sucesión muy delgada de caliza clástica de estratificación delgada a mediana. Las tres facies pasan gradualmente de una a otra en sentido lateral y fueron cartografiadas como una sola formación.

El nombre de Formación Cuautla fue propuesto por Fries (1960), por la ciudad de Cuautla y por las exposiciones excelentes en las serranías bajas situadas hacia el

poniente de esa ciudad; la expresión fisiográfica de la facies de banco grueso es semejante a la de la Formación Morelos lo que, refleja la semejanza en su estratificación, estructura y textura. La única diferencia significativa, en la resistencia a la erosión entre ambas unidades es la escasez relativa de dolomía en la Formación Cuautla, característica que se expresa fisiográficamente por su mayor resistencia al intemperismo y erosión y por el desarrollo menor de rasgos cársticos.

Los rasgos fisiográficos más prominentes son las cuatro serranías casi paralelas que se dirigen al sur desde las cercanías de Tepoztlán, Yautepec, San Carlos e Itzamatitlán.

La formación consta de un conglomerado basal y tres facies calcáreas que pasan gradualmente de una a otra en sentido lateral, que son:

1. Una secuencia gruesa de capas de calizas de estratificación mediana a gruesa, del tipo de banco calcáreo.
2. Una secuencia más delgada de capas de caliza laminada de estratificación delgada a mediana.
3. Una sucesión muy delgada de capas de caliza clástica de estratificación delgada a mediana.

La facie predominante es la caliza densa en capas gruesas a masivas, compuestas por calcilitita, calcilimolita y calcarenita de tipo banco calcáreo. Pocas capas tienen menos de 20 cm de espesor y algunas capas superiores tienen más de 4 m de espesor. El color de la caliza varía de gris claro a gris oscuro y, con menor frecuencia, negro; las capas clásticas cercanas al contacto inferior tienen localmente un color rojizo a amarillento.

Nódulos, lentes y masas irregulares de pedernal abundan en muchas capas y sobre planos de estratificación. Biostromas de rudistas, de corales y de gasterópodos silicificados parcial o completamente se presentan en abundancia, especialmente en los afloramientos de las partes septentrional y oriental de esta facies. La dolomitización ha afectado esta facies en un grado muy bajo.

Las capas de 1 a 20 metros encima de la base de la facies de banco calcáreo, al norte y al oriente del río Amacuzac, forman una secuencia variada de calcilimolita arcillosa, calcarenita y conglomerado en estratos que varían de delgados a gruesos (5 a 50 cm), compuestos por clastos erosionados y desgastados de caliza y dolomita, con alguna mezcla de partículas de pedernal y grandes foraminíferos desgastados (miliolidos), todos derivados de la Formación Morelos infrayacente. Estas capas parecen representar depósitos litorales o de playa en la base del banco calcáreo.

Una facies diferente está bien expuesta aproximadamente 1 Km al oriente de Tlaquiltenango y desde allí hacia el sureste por unos 9 Km. Consiste en capas de 5 a 20 cm de espesor. el pedernal se presenta en forma de hojas o láminas intercaladas, más bien que en forma de nódulos.

La dolomitización es más extensa, aunque poco desarrollada. Una subfacies de la facies de banco aflora 1 a 2 km al noreste de Nexpa, a lo largo del río Chinameca. Consta de capas de brecha caliza de grano muy grueso, con bloques hasta de 30 cm de largo; ocupa una zona angosta entre capas gruesas normales, situadas hacia el norte, y una sucesión muy delgada de capas de calcilimolita y calcarenita que afloran en la ribera austral del río. Estos afloramientos representan evidentemente el borde de un banco y deben estar cerca de la línea de una paleocosta situada más al sur o al sureste.

La tercera facies principal de la Formación Cuautla, que aflora al suroeste del río Amacuzac, la forman capas de calcilita, en menor grado, una porción mayor de calcilimolita y calcarenita, y una pequeña mezcla de material arcilloso y con menor frecuencia carbonoso. Están compuestas en parte por clastos calizos y dolomíticos, erosionados de algún terreno carbonatado, y con mezcla de fragmentos biogénicos autóctonos (Fries, 1960).

Las tres facies que presenta la Formación Cuautla sugieren ambientes de depósito diferentes. Así, la facies 1, o de banco calcáreo, representa un depósito de plataforma carbonatada las facies 2, de caliza de estratos medianos a delgados, al de un depósito de cuenca carbonatada, mientras que la facies 3, de interstratificaciones de caliza arcillosa y marga, la de cuenca carbonatada (próxima a la línea de costa), así como de cuenca arcilloso-carbonatada.

La Formación Cuautla descansa discordantemente sobre la Formación Morelos con espesores que varían de unos pocos metros a más de 750 m. Su contacto con la Formación Mezcala (Ksm), que la sobreyace es concordante y transicional. Se considera esta formación como del Cenomaniano Tardío-Turoniano (Fries, 1960. de Cserna, 1965).

Cabe aclarar que, para muchos autores, la Formación Cuautla no existe como tal. Para estos autores, la secuencia calcárea antes descrita constituye la base de la Formación Mezcala o, en su defecto, representa la cima de la Formación Morelos. En este último caso, se sugiere que no existe una discordancia entre las Formaciones Morelos y Cuautla, sino que su contacto es transicional.

Litología.

Su litología está definida por boundstone de rudistas dispuestos en capas de espesor medio a grueso, de color gris claro, en capas que varían de 10 a 20 cm de espesor, regionalmente se observan brechas calcáreas de 1 a 10 m de espesor. Son comunes los lentes y nódulos de pedernal. En la parte central de la Plataforma, esta formación experimenta un cambio lateral a facies más profundas,

por lo que consiste de mudstone arcillo-carbonosos, dispuestos en capas delgadas de color gris oscuro y negro.

Espesor.

El espesor de esta unidad varía de 120 a 750 metros.

Relaciones estratigráficas.

Su contacto inferior es concordante sobre la Formación Morelos y el superior bajo la Formación Mezcala, pero es común observarla erosionada y en contacto por discordancia angular por rocas conglomeráticas terciarias correspondientes al Grupo Balsas.

Edad.

La edad de esta formación corresponde al Turoniano por su contenido faunístico de Durania cornuputarias

Formación Mezcala (Ksm).

(Coniaciano-Maestrichtiano)

La Formación Mezcala es la más joven de la secuencia de rocas marinas del Cretácico; constituida, por lutitas y limolitas, con algunos horizontes de arenisca que hacia la base se hacen más calcáreas. El nombre se refiere tanto al pueblo como al río situado cerca del km 220 de la carretera México-Acapulco. La intensa erosión sobre esta formación propició el depósito de rocas terciarias de forma discordante.

La Formación Mezcala es muy variable en su litología, tanto lateral como verticalmente. La parte basal es casi en todas partes de naturaleza calcárea y puede consistir en capas de caliza arcillosa o de limolita calcárea que miden en total desde unos pocos metros hasta unos 30 m de espesor. Encima de la caliza basal se encuentran capas interestratificadas de lutita y limolita calcáreas, con menor cantidad de arenisca. Hacia arriba de los interestratos de arenisca aumenta en número y aparecen también capas de conglomerados de grano fino.

Se encuentra en lomeríos que bordean la Sierra de San Gabriel y en elevaciones menores, al oriente.

El intenso plegamiento asociado a la Formación Mezcala, no ha permitido establecer su espesor real; sin embargo, se estima un espesor promedio de 1,250 m

Descrita con detalle por Bohnerberger Thomas (1955), y definida por Fries Carl (1956). Su localidad tipo se localiza a lo largo del Río Mezcala, cerca del pueblo de donde toma el nombre.

Distribución.

La Formación Mezcala se encuentra expuesta en la parte central, norte y nororiental de la Plataforma Morelos-Guerrero. También se le ha reportado al sur y sureste de la Cuenca de la Mesa Central y al norte de la Cuenca de Tlaxiaco.

Litología.

Consiste de una sucesión de areniscas en partes conglomeráticas, limolitas y lutitas calcáreas, con interestratificaciones de calizas arenosas. Los colores predominantes en esta secuencia son de color gris claro, gris verdoso y gris oscuro. La estratificación se encuentra bien definida en capas de espesor medio y grueso en las areniscas, y en capas delgadas en las lutitas, limolitas y calizas arenosas.

Espesor.

Su espesor varía de 60 m a 1,000 m.

Relaciones Estratigráficas.

Su contacto inferior es concordante sobre la Formación Cuautla, en la cima de las Formaciones Maltrata, Xochicalco y Morelos. Localmente es discordante con el Esquisto Taxco y con los carbonatos de la Formación Morelos. En el área sur y sureste de la Cuenca de la Mesa Central, descansa en concordancia sobre la Formación Soyatal. Su contacto superior está erosionado y en discordancia angular bajo los terrígenos y volcanoclásticos de la Formación Balsas del Terciario; así como bajo derrames ígneos de tipo basáltico o riolítico.

Edad.

Con base a su posición estratigráfica y contenido faunístico, es en general Coniaciano-Maestrichtiano; pero su alcance Turoniano está también controlado por la presencia de microfauna índice. Las formas fósiles determinadas en esta formación son: *Calciesphaerula innominata*, *Pithonella ovalis*, *Stomiosphaera conoidea*, *Hedbergella* sp., *Didymotis* sp., así como *Barrosiceras* sp., *Otoscapites* sp., *Peroniceras* sp., además de *Globotruncana cónica* y *Globotruncana stuarti*.

Ambiente de Depósito.

Su origen está asociado a la fase de relleno de la zona de antefosa por depósitos turbidíticos (tipo Flysch), en facies que varían de frente deltáico a prodelta.

Localmente hacia el occidente de la Plataforma Morelos-Guerrero, los sedimentos de la Formación Mezcala, pasan gradualmente a facies más arenosas y conglomeráticas, por lo que fueron descritos con el nombre de Formación Malpaso (Pantoja – Alor, 1959, COREMI 2000).

De acuerdo al sistema de depósito, esta formación es del tipo de relleno de cuenca.

4.2.2 Eje Neovolcánico

Esta provincia cubre la mayor parte del estado, desde el norte al sureste. Limita al sur y occidente con la cuenca del Balsas, que es una subprovincia de la Sierra Madre del Sur.

Las rocas más antiguas en el Eje Neovolcánico dentro del estado de Morelos son las ígneas extrusivas de composición intermedia (andesitas), que afloran al oeste de Huitzilac y datan probablemente del Terciario Medio; contemporáneo a estas rocas aflora al noroeste de Tepalzingo un pequeño cuerpo intrusivo.

Sobreyaciendo a las rocas intermedias afloran rocas sedimentarias clásticas (areniscas-conglomerado), así como un complejo volcánico constituido por diferentes tipos de rocas ígneas, como son riolitas, tobas, brechas volcánicas y basaltos.

4.2.2.1 Rocas del Terciario continental

Grupo Balsas (Teob).

(Eoceno – Oligoceno)

Los depósitos terciarios que descansan encima de las rocas cretácicas consisten de un grupo de sedimentos clásticos, volcánicos y lacustres, no marinos, que se denomina Grupo Balsas. Se le ha designado como Grupo, ya que las unidades que lo conforman tiene litología muy variable, la cual podría constituirse por si misma, como unidad con características propias.

Se encuentra constituido por conglomerados y materiales piroclásticos, algunas lavas andesíticas y basálticas, así como delgados estratos de caliza lacustre; estas características litológicas dividen el grupo en dos unidades: la primera es un conglomerado calcáreo formado por fragmentos de caliza, pedernal, dolomías y arcilla; su coloración varía de rojiza a amarillenta, con litología muy similar a la Formación Cuernavaca.

El segundo tipo es de menor tamaño y se trata de capas de yeso con impurezas de sílice, de coloración entre gris claro y amarillento. Aflora en el occidente de

Oaxtepec, con una distribución variable, generalmente rellenan zonas topográficamente bajas. (CNA, EGCY, 1995)

Un tipo de roca del Grupo Balsas de volumen relativamente pequeño consiste en un yeso de distintos grados de pureza; esta roca forma cuerpos lenticulares compuestos por una serie de capas delgadas que se interdigitan con, o están contenidos en el tipo litológico clástico ligeramente endurecido y de grano fino. Uno de estos cuerpos lenticulares queda limitado al oriente por afloramientos entre Cocoyoc y Oaxtepec, al norte y al poniente por Oacalco (Carl Fries, 1960).

Riolita Tilzapotla (Tot)

El nombre de Riolita Tilzapotla se propone para los afloramientos extensos de brecha tobácea riolítica situados en las cercanías de Tilzapotla, al sur de Tequesquitengo y del río Amacuzac. El área donde afloran dichas rocas se extienden, por una distancia de 8 km al oriente de Tilzapotla y casi la misma distancia hacia el norte, antes de que la formación desaparezca como resultado de la erosión.

Litología.

Cerca del pueblo de Tilzapotla la unidad consiste de una brecha tobácea de color pardusco a rojizo oscuro, muy bien cementada y de grano grueso. La estratificación es tan gruesa o masiva que difícilmente se distingue en los afloramientos. Los centros eruptivos de este material probablemente estuvieron situados a unos pocos kilómetros de distancia hacia el sur. El espesor máximo de la unidad cerca de Tilzapotla es del orden de 250 m.

Relaciones estratigráficas, edad y correlación.

La Riolita Tilzapotla descansa en concordancia sobre las capas más jóvenes del Grupo Balsas. El contacto Balsas -Tilzapotla es casi dondequiera inclinado.

Andesita Buenavista (Tob)

Fries, C. (1960) propuso el nombre de Grupo Buenavista para la potente sucesión volcánica compuesta por corrientes lavicas, brechas y toba de composición andesita predominante, que forma el alto macizo montañoso situado al sur del río Amacuzac y al oriente de la carretera entre Amacuzac y Buenavista de Cuellar, Guerrero. De Cserna y Fries (1981), reconocen la porción jerárquica de esta unidad como correspondiente a una formación y proponen denominarla andesita Buenavista.

Los derrames de esta unidad varían en composición desde basalto a dacita y en la parte superior, se representan rocas riolíticas, pero los estudios geoquímicos de las muestras provenientes del área de Buenavista – Tilzapotla indicaron que en

esa área predomina la dacita sobre la andesita (Morán-Zenteno et al.,1998). Interestratificadas con las corrientes lávicas se encuentra tobas y brechas volcánicas, así como capas tobáceas clásticas depositadas por agua. La primera capa encima de la toba riolítica Tilzapotla al oriente de Amacuzac, es una lava alterada de color púrpura, probablemente de composición dacítica o de latita cuarcífera, de espesor estimado de unos 600 a 1,000 m.

Formación Tepoztlán (Tmt).

Los afloramientos de la Formación Tepoztlán se encuentran en la porción noroccidental de la zona, concretamente en los alrededores del poblado Tepoztlán, ubicado al norponiente de Yautepec. Cubre con discordancia erosional tanto al Grupo Balsas como alguna unidad cretácica.

Constituye el cerro de El Sombrerito, al sureste de Tlayacapan, en las porciones norte y sur del poblado de Tepoztlán; a 6 km al este de dicha población, aparece cubierta localmente, por derrames basálticos de la Formación Chichinautzin.

Su composición es predominantemente de clásticos volcánicos andesíticos depositados en capas que varían en espesor quizás de 50 cm. hasta más de 10 m. La topografía desarrollada en la formación difiere algo de la que caracteriza la mayoría de las rocas volcánicas de la región, ya que están mejor desarrollados los acantilados escalonados, por lo que los afloramientos exhiben la topografía más accidentada y acantilada que se observa en la región.

Los componentes que forman las capas constan de fragmentos tobáceos y clásticos que varían de tamaño desde la arcilla fina hasta bloques de 1 m de diámetro. Algunas capas tienen sus componentes muy mal clasificados (inequigranulares) y pueden representar corrientes de lodo o "lahares", pero otras contienen lentes de arena y grava mucho mejor clasificadas con estratificación cruzada lo que atestigüa un depósito por corrientes de agua. Gran parte del material es friable y poco endurecida, aunque en algunos lugares se presentan capas bien cementadas.

El espesor original completo de la formación no se observa en ninguna parte de la región; debido a la erosión posterior. El espesor máximo medido desde la base de la unidad cerca de Oacalco, hasta el afloramiento más alto al norte de este lugar, es aproximadamente de 1,000 m.

La Formación Tepoztlán obviamente fue depositada con gran discordancia angular y erosional encima de las unidades cretácicas. La relación entre ella y el Grupo Balsas no es tan clara, sin embargo y aunque el último seguramente estuvo expuesto a la erosión antes de que se depositasen las rocas Tepoztlán, no se pudo comprobar la existencia de una discordancia angular en el contacto. (Fries, 1960)

En la localidad Oacalco la Formación Tepoztlán aparece sobre las capas de limo rojizo con interestratos de yeso y algo de caliza lacustre, todo perteneciente al Grupo Balsas.

En San Andrés de la Cal junto a la dolina se observa una falla normal.

Andesita Zempoala (Tm pz)

El nombre de andesita Zempoala lo propuso Fries (1960), para referirse a la sucesión de rocas volcánicas andesíticas que afloran en la parte noroccidental del estado de Morelos y que se extienden por varios km al noroeste y al norte del estado de México; la sucesión forma algunas de las cumbres más altas de la región, que suben a alturas de 3,400 a 3,800 m.s.n.m.

Esta unidad está compuesta por derrames andesíticos de color gris, que están intercalados con brecha volcánica de la misma composición, capas tobáceas y algunos lahares, su composición varía de andesita a andesita basáltica.

El espesor de la andesita Zempoala se estima de por lo menos 800 m.

Esta andesita descansa concordantemente sobre la Formación Tepoztlán. Entre ambas unidades hubo un cierto grado de erosión, pero no se observan evidencias de erosión intensa o de larga duración. La unidad que la sobreyace es el Grupo Chichinautzin, del Pleistoceno, que se acumuló encima de la topografía quebrada, cortada profundamente en la Andesita Zempoala. No hay interposición de la Formación Cuernavaca intermedia.

La edad de la Andesita Zempoala no fue determinada directamente y sólo puede inferirse de sus relaciones estratificadas con la formaciones infra – y suprayacentes (Fries 19609. de Cserna (1982) se atribuye a la andesita Zempoala una edad correspondiente del Mioceno tardío - Plioceno temprano.

Formación Cuernavaca. (Tpc)

(Plioceno)

La Formación Cuernavaca, toma su nombre de los depósitos clásticos transportados por agua, bien expuestos y muy extensos, sobre los que se construyó la ciudad de Cuernavaca. La unidad aflora principalmente en la cuenca hidrológica del río Amacuzac y de sus afluentes. El borde septentrional de su área de afloramiento se extiende casi directamente al oriente desde la base austral del Nevado de Toluca, situado de 50 a 60 km, al poniente de Cuernavaca, hasta la base austral del volcán Popocatepetl situado unos 25 km al oriente-nororiente de Cuautla, donde entra en el estado de Puebla. (Fries, C. 1960).

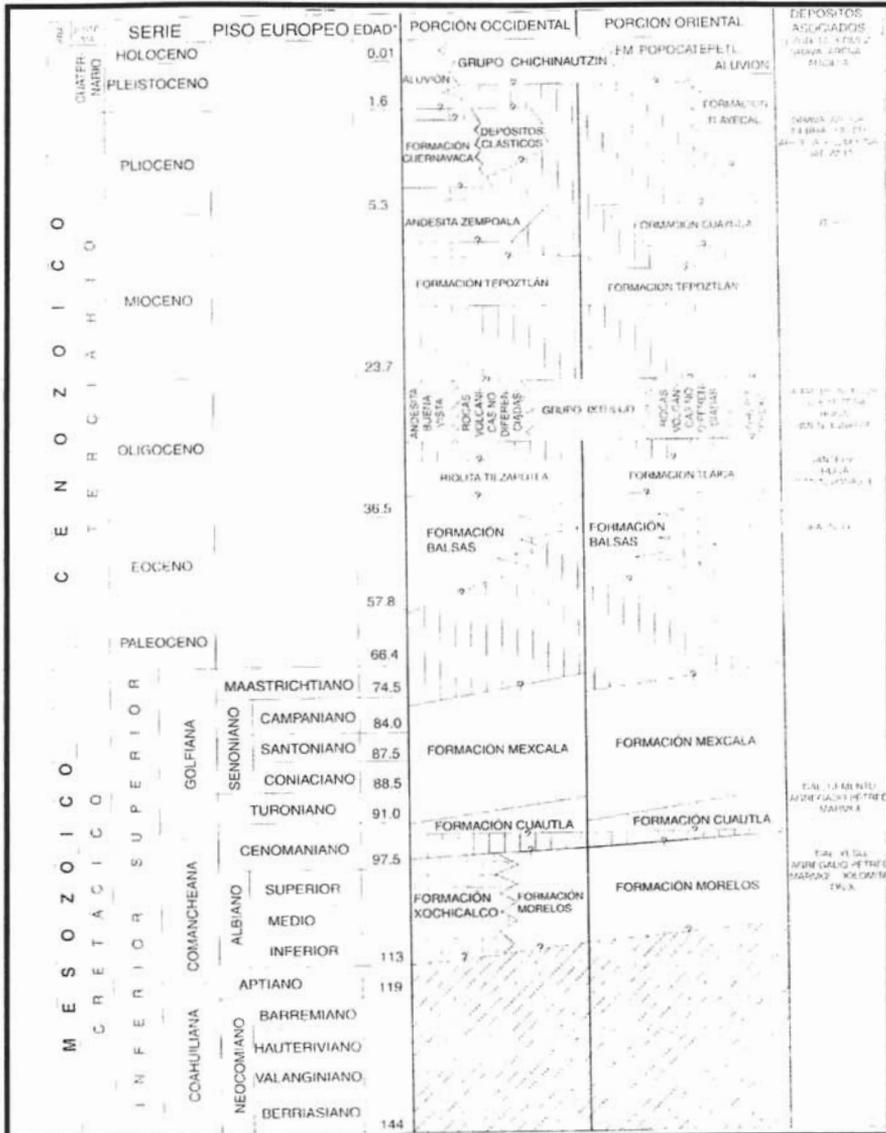
La litología de la Formación Cuernavaca es muy compleja y variada, comprende materiales diversos tales como: cenizas, brechas, y depósitos fluviales; travertino, margas, y paleosuelos que constituyen rellenos antiguos del valle de Yautepec e incluso depósitos de yeso, así como materiales propios de abanicos aluviales.

La parte septentrional y topográficamente más alta de la unidad está constituida predominantemente por conglomerados, cuyos constituyentes principales son fragmentos de rocas andesíticas, mientras que hacia las zonas bajas las capas de conglomerados son de materiales finos, arenas y limos. (CNA, EGCY 1996, COREMI 2000).

En la zona, la unidad se constituye de yesos, travertino, cantos rodados y guijarros, empacados en una matriz arcillosa. Los fragmentos son de andesita porfídica de color gris claro; su estratificación es irregular y discontinua, aunque en algunos lugares se observa buena estratificación horizontal.

Al sur de Tlatilzapán se encuentran depósitos de yeso con diferentes grados de pureza; al sur de Temilpa se observan afloramientos de travertino, originado por manantiales que existen en esa región.

La Formación Cuernavaca descansa sobre la mayoría de las formaciones antes descritas en forma discordante; mientras que las rocas que la cubren son de la Formación Chichinautzin (Fig.4.4 Y Fig. 4.5), (CNA, EGCY 1996, COREMI 2000).



*(Ma) Según la escala cronológica de la Sociedad Geológica de América (1983).

Fig. 4.4. Tabla de correlación estratigráfica del estado de Morelos, (COREMI ,2000).

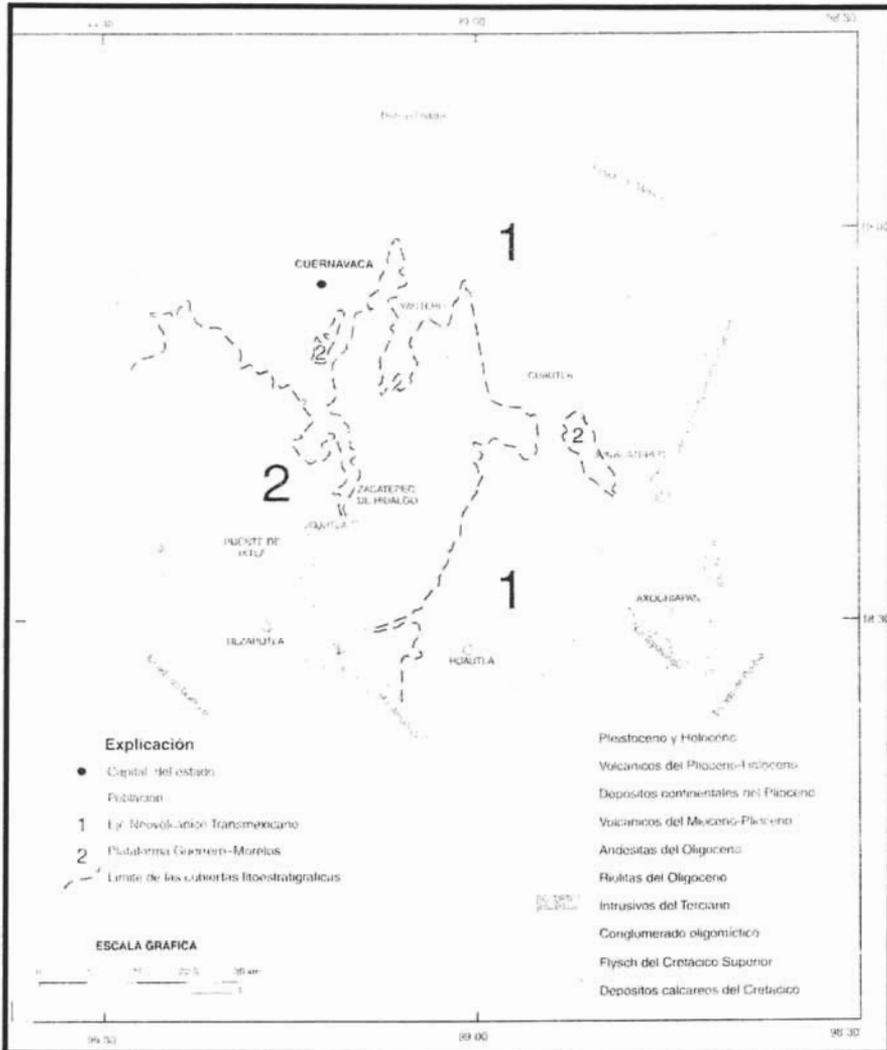


Fig.4.5. Cubiertas litoestratigráficas del estado de Morelos, (COREMI ,2000).

4.2.2.2 Rocas del Cuaternario

Grupo Chichinautzin (Qch)

(Pleistoceno-Holoceno)

El nombre del Grupo Chichinautzin proviene del alto cerro de este nombre, que es un volcán basáltico del Pleistoceno tardío o del Reciente situado al límite entre el estado de Morelos y el Distrito Federal. Se propone a este grupo para comprender todas las corrientes lávicas, estratos de toba y brecha y materiales clásticos interestratificados depositados por agua, de composición andesítica y basáltica. Descansan en discordancia encima de la Formación Cuernavaca o de unidades más antiguas. Unas corrientes lávicas se extienden en lengüetas irregulares hacia el sur, hasta la confluencia del río Amacuzac. (Fries 1956).

En la parte nororiental el basalto llegó casi hasta Cuautla. En la parte septentrional de la zona descendió a través de valles erosionados en la Formación Tepoztlán y prosiguió aguas abajo por el valle del río Yautepec. La lengüeta más larga se extiende aguas abajo del valle situado entre Tepoztlán y Cuernavaca hasta Jojutla, donde continúa debajo de una cubierta aluvial reciente, aguas abajo del valle del río Yautepec hasta su confluencia con el río Amacuzac, y de allí aguas debajo de este último, en forma de un lengüeta de unos cuantos cientos de metros de ancho, hasta su afluencia con el río Chinameca donde termina.

El Grupo Chichinautzin muestra una topografía distintiva dondequiera que se presente. Se caracteriza por su juventud extrema y poca erosión. La interrupción del desagüe, con la acumulación aluvial resultante es otro rasgo característico alrededor de las corrientes lávicas. Las corrientes superficiales son irregulares y muchas hondonadas no desaguadas, que pueden asemejarse las pequeñas dolinas que se forman en terreno calizo casi plano. (Fries 1960).

La litología de este grupo es conformada principalmente de basaltos de olivino, con menor abundancia de basaltos de iddingsita, hiperstena y enstatita. Su espesor alcanza aproximadamente los 1,500 m. (CNA, EGCY 1996).

Gravas y arenas volcánicas (Qcbc)

(Pleistoceno-Reciente)

Se constituye principalmente por material volcánico que cubre la superficie topográficamente bajas, posiblemente producto de la erosión diferencial, de la Formación Tlayecac, son de pocos metros de espesor.

Aluvión (Qal)

(Cuaternario-Holoceno)

El aluvión del Cuaternario-Holoceno consiste en clastos de textura arenosa, de granulometría media a gruesa y en menor proporción, gravas que provienen de las rocas aledañas. Localmente, se encuentran intercaladas con arcillas, lo que confiere confinamiento al acuífero de interés. Cubren casi toda la porción baja del área, con espesores de unos cuantos metros.

4.3. Geología estructural

En la región se presentan dos grandes zonas, determinadas por su litología.

- a) Zona inferior; consta de sedimentos marinos plegados en ondulaciones dirigidas esencialmente de sur a norte como producto de la Orogenia Laramide que desaparecen debajo del circo clástico volcánico del tepozteco.
- b) Zona superior; consta principalmente de depósitos volcánicos terciarios y cuaternarios. Los terciarios consisten, en su mayoría de productos volcánicos como la Formación Tepoztlán y la cubre una enorme masa de lavas y conos de escoria denominados sierra elevada del Chichinautzin. Estas rocas volcánicas son en su mayor parte controladas por esfuerzos tensionales, genéticamente relacionados a la Faja Volcánica Transmexicana, cuyo fracturamiento principal va de SW-NE.

El extremo norte del área está dominado por estructuras volcánicas dispuestas a grosso modo W-E, mientras que las rocas sedimentarias de la parte central y sur, siguen un arreglo N-S, (Fries, 1964).

La zona presenta tres grandes fracturamientos:

1. cabalgadura al poniente de la sierra de San Gabriel (falla inversa) del Eoceno Medio.
2. Falla lateral de Jojutla del Plioceno.
3. Falla de Chinameca (falla normal) también del Plioceno.

En la parte NW del área de estudio se localiza una serie de fallas normales, que afectan a las calizas y pueden ser responsables del plegamiento parcial que tienen las calizas en el área (Fig4.6).

Estas fracturas afectan a los paquetes de las calizas, lo que provoca en ellas el aumento de permeabilidad y carsticidad. El fracturamiento de las calizas tiene rumbos referenciales de NW 70° SE.

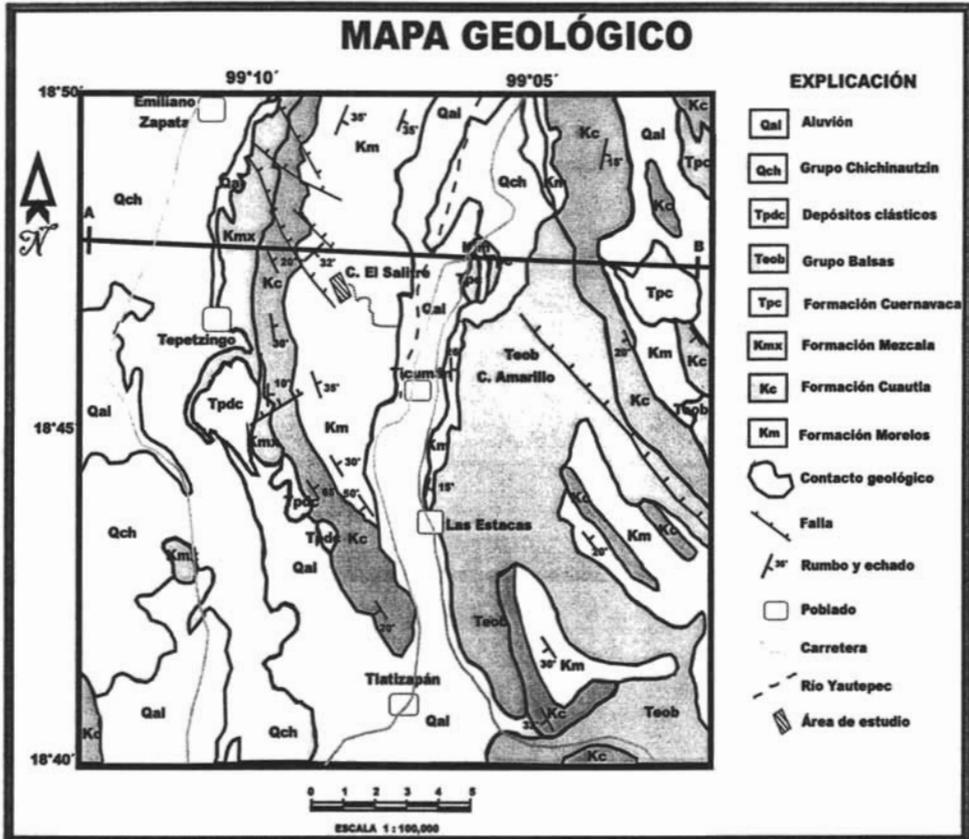


Fig. 4.6. Localización de fallas que afectan el área de estudio, en el mapa geológico, (COREMI, 1995).

4.4 Geología histórica

Los primeros eventos geológicos registrables en la región se observan en las rocas de edad Albiano-Cenomaniano, que corresponden a la Formación Morelos.

La región de estudio se encontraba cubierta por las aguas marinas que eran la continuación de la gran transgresión iniciada desde el Jurásico, en este tiempo las condiciones de depósito fueron propicias para la precipitación de la anhidrita que constituye lo que unos autores denominaron Anhidrita Huitzucó u otros la consideran como parte basal de la Formación Morelos.

Posteriormente en el Albiano Superior-Cenomaniano Inferior las condiciones del medio de depósito cambiaron favoreciendo la depositación de las calizas que constituyen la mayor parte de la unidad.

Durante el Cenomaniano Medio y Superior la región se vio afectada por una regresión, que ocasionó la erosión de la Formación Morelos, dicho evento marca la cima de la Formación Morelos.

En el Turoniano, debido probablemente a una transgresión, se vuelven a tener las condiciones adecuadas para la depositación de sedimentos calcáreos que constituyen la Formación Cuautla.

En el Turoniano Superior-Coniaciano se manifiestan los primeros eventos producto de la Orogenia Laramide, caracterizada por un cambio en el tipo de depósito, sedimentos calcáreos a sedimentos de tipo Flysch (Sedimentos turbidíticos), que constituyen la Formación Mezcala; este depósito continúa hasta el Campaniano Medio.

A finales del Cretácico y principios del Terciario ocurre una regresión como consecuencia de la Orogenia Laramide, la cual produjo movimientos tectónicos que comprimieron a las Formaciones Cretácicas produciendo en éstas una serie de pliegues con una orientación de los ejes NNW-SSE.

En el Eoceno Superior se empiezan a depositar sedimentos de tipo Molassa continental, producto de la erosión de las Formaciones Morelos, Cuautla y Mezcala, en las partes bajas de los sinclinales y en donde hubo fallamiento; estos depósitos corresponden al Grupo Balsas y continuaron hasta el Oligoceno Inferior.

En el Oligoceno Superior se tienen las primeras rocas volcánicas, andesitas y basaltos al norte del área y riolitas, riodacitas y andesitas al sur de la misma; Así; se forman, pequeños lagos y llanuras aluviales donde se depositaron los sedimentos de la formación Cuernavaca (Plioceno), suspendiéndose este por la aparición de los basaltos cuaternarios que forman el Grupo Chichinautzin mismos que integran la Sierra que divide el valle de Cuernavaca con la cuenca de México (Ordaz, 1977) (Fig. 4.7)



Fig.4.7. Sección geológica del área de estudio

Capítulo 5

EVALUACIÓN GEOLÓGICA – ECONÓMICA

5.1 Rocas dimensionables

5.1.1 Rocas dimensionables en sentido comercial: mármol, ónix y travertino

El término de "roca dimensionable" se refiere a una roca natural que es extraída de bancos y/o canteras, en forma de bloques y por medios mecánicos, para luego ser cortada y pulida a dimensiones y formas específicas.

Las rocas dimensionables son utilizadas principalmente en la construcción y decoración. Y de manera general estos materiales se pueden agrupar en dos tipos: los bloques masivos que poseen cierto aspecto decorativo, utilizados principalmente en la industria de la construcción y las placas de revestimiento de poco espesor utilizadas para cubrir estructuras preexistentes.

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 por ejemplo, calizas recristalizadas, dolomías, mármol, ónix y travertino; en ocasiones se aplica el término a rocas como tobas, serpentininas 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:

- Espesor constante con una tolerancia de + 1/32"
- Escuadra perfecta
- Brillo espejo
- Sin porosidad
- Biselado homogéneo

5.1.2 Definición.

a) Mármol

Mármol es una variedad cristalina y compacta de caliza metamórfizada, que puede pulirse hasta obtener un gran brillo. Se emplea sobre todo, en la construcción y como material escultórico. Comercialmente, el término se amplía para incluir cualquier roca compuesta de carbonato de calcio que pueda pulirse, e incluye algunas calizas comunes; también incluye, en términos genéricos, rocas como el alabastro, la serpentina y en ocasiones, el granito. Sólo son mármoles aquellas rocas calizas que presentan una estructura cristalina y granular con granos macroscópicos apreciables a simple vista.

La superficie del mármol se deshace con facilidad si se expone a una atmósfera húmeda y ácida, pero es duradero en ambientes secos si se le protege de la lluvia. El mármol más puro es el mármol estatuado, que es blanco con una estructura cristalina visible. El brillo característico de este tipo de mármol se debe al efecto que produce la luz al penetrar levemente en la roca antes de ser reflejada por las superficies de los cristales internos.

Otros mármoles contienen una cantidad de impurezas, que dan lugar a los modelos jaspeados que tan apreciados son y muchos de ellos, se usan para la construcción, sobre todo en interiores, y también en pequeños trabajos ornamentales, como pies de lámpara, mesas, escritorios, y piezas decorativas. Cuando el contenido de CaCO_3 es superior al 97% se considera un material casi puro.

Asociados al CaCO_3 existen minerales secundarios que se consideran impurezas y que dan la gran variedad de mármoles, es decir, su coloración y su aspecto en bandas. Los minerales accesorios más comunes son: la sílice libre o en silicatos, óxidos de hierro, que se presentan en distintas formas, hematitas, limonitas; óxidos de manganeso, alúmina en forma de silicatos; sulfuro de hierro, (pirita).

Las impurezas influyen en las condiciones de durabilidad y resistencia, alteran también su coloración dan diversos aspectos desde coloraciones uniformes, veteadas o dibujos de aspecto abigarrado.

b) Travertino

Está formado por una precipitación rápida de carbonato de calcio alrededor de fuentes de aguas termales. Éste se deposita en capas compactas, fibrosas o concéntricas y produce una apariencia bandeada. El travertino de mayor porosidad y suavidad es conocido como tufa calcárea. El carbonato de calcio disuelto y redepositado por aguas hidrotermales se purifica durante este proceso y forma una roca conformada por varias capas paralelas, cavernosas denominada

travertino. Esta roca es translúcida, tiene color blanco, a veces con tono ligeramente amarillo y aspecto agradable; se le utiliza como piedra ornamental. El color y la pureza del travertino permite utilizarlo, mezclado y procesado juntamente con yeso y pirofilita, como cemento blanco.

c) Caliza

La caliza se utiliza en cantidades muy importantes como roca dimensionable, de ahí que se incluya como una variedad de la roca calcárea conocida industrialmente como mármol.

Definición geológica

Las calizas son rocas sedimentarias constituidas por carbonato de calcio (calcita), formadas a partir de la precipitación de carbonato de calcio en zonas acuosas, mediante procesos químicos o bioquímicos. También se forman por acumulación de conchas calcáreas por procesos orgánicos e inorgánicos. Pueden contener carbonato de magnesio y calcio (dolomita), y entonces son llamadas dolomía. Algunas veces contienen aragonita o siderita.

La roca caliza ha sido clasificada por varios investigadores de acuerdo con diferentes parámetros como: origen, composición y textura. Una de las clasificaciones más conocidas corresponde a Dunham (1961) y se basa principalmente en su textura y componentes, como se muestra en la siguiente tabla:

Componentes Originales al momento de depósito					
Contenido de lodo (Partículas de arcilla y sedimentos finos)		Grano soportado	Escasez de lodo	Componentes originales debido a crecimientos orgánicos	Características deposicionales no reconocibles
Soportada por lodo					
< 10% de granos	> de 10% de granos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	carbonato cristalino

Tabla.5.1 Clasificación de las calizas de acuerdo a su textura al momento de depósito.

El color de estas rocas es determinado por la presencia de otros minerales o impurezas; así por ejemplo, las calizas más puras presentan un color blanco. La limonita y siderita provocan una coloración amarillo castaño y pardos; otros colores como el rojo son producidos por la hematita; los tonos verdes por la glauconita y clorita; el contenido de materia orgánica produce tonos que van del gris al negro.

Estas rocas presentan generalmente una dureza baja y frecuentemente contienen fósiles, lo que les permite ofrecer una mayor variedad en el aspecto visual. Son de gran uso en la industria de la construcción principalmente para recubrimiento de pisos en interiores debido a su bajo costo, con respecto al mármol propiamente dicho o a otras rocas ornamentales.

Los yacimientos de calizas y dolomías se pueden presentar en forma masiva o como estratos o capas de espesor variable, a veces intercalados con margas y lutitas. Cabe mencionar que las dimensiones de los bloques primarios, y por ende de los bloques comerciales obtenidos, están directamente relacionadas con la estructura del yacimiento. Para usarse como roca dimensionable, la caliza tiene que ser masiva o en estratos gruesos mayores de 2 m, que permitan la extracción de bloques de tamaño comercializable.

5.1.3 Historia

La variedad más famosa de este mármol procede de las canteras del monte Pentelikon, en Ática, que fue el utilizado por los grandes escultores de la antigua Grecia, incluidos Fídias y Praxíteles. La colección Elgin está compuesta de mármol de Pentelikon. El mármol de Paros, utilizado también por los escultores y arquitectos de la Grecia antigua, era extraído fundamentalmente de las canteras del monte Parpessa, en la isla griega de Paros. El mármol de Carrara, que abunda en los Alpes italianos y se extrae en la región de Carrara, Massa y Serravezza, fue utilizado en Roma con fines arquitectónicos en tiempos de Augusto, el primer emperador, aunque las variedades más finas del mármol escultórico fueron descubiertas más adelante. Los mejores trabajos de Miguel Ángel son de este tipo de mármol; es muy utilizado por los escultores contemporáneos.

El mármol es usado según se cuenta con información, desde la época de los romanos, en sus edificaciones, además como base de las grandes esculturas que fueron talladas en ese tiempo. Actualmente el mármol se sigue utilizando para el recubrimiento de interiores y exteriores y para tallar figuras escultóricas dependiendo de su tamaño y su pureza.

5.1.4 Potencial geológico minero de México

México posee grandes superficies de afloramientos rocosos compuestos por rocas carbonatadas que ofrecen potencial como rocas dimensionables.

Existen zonas productoras de mármol muy importantes, en las cuales se realizan los procesos, desde la explotación hasta la terminación del producto.

México posee tres grandes regiones geológicas con potencial marmolero, dos en el norte del país y una en el sur. Sus características litológicas y los eventos

geológicos desarrollados en ellas, permiten visualizar amplias perspectivas de localizar un mayor número de nuevos yacimientos.

De lo anterior, se pueden identificar cuatro zonas marmoleras de importancia dentro del territorio mexicano, en las que se manejan los procesos desde la explotación hasta la terminación del producto; estas zonas son:

Región de La Laguna: En la zona limítrofe entre los estados de Durango y Coahuila, donde se localizan 22 yacimientos de mármol en explotación y donde existen 14 plantas procesadoras de este producto.

Región del Mezquital: En la zona limítrofe entre los estados de Querétaro e Hidalgo, en donde existen ocho yacimientos en explotación y 14 plantas de procesamiento.

Región de Puebla: Esta zona se localiza en la región del estado de Puebla, en donde existen cinco yacimientos de mármol conocidos y 11 plantas de procesamiento.

Región de Tequisistlán: En la porción oriental del estado de Oaxaca, existen cuatro yacimientos de mármol y una planta de procesamiento.

A continuación se presenta la localización geográfica de los yacimientos explotados actualmente. (Fig. 5.1)



Fig.4.1. Zonas productoras de mármol en México, (FIFOMI, 1995).

5.1.5 Características del mármol y las calizas.

5.1.5.1 Características generales

Los mármoles están compuestos principalmente por carbonato de calcio, CaCO_3 y su contenido varía entre el 90 y 100% de acuerdo con la pureza del material y se pueden clasificar de diversas maneras, por su coloración y apariencia, por su formación y por sus usos.

Los mármoles dolomíticos contienen aproximadamente el 54% de carbonato de calcio y el restante de carbonato magnésico.

Por su formación los mármoles se clasifican en cuatro grupos:

El primer grupo considera los derivados de la roca caliza por recristalización, resultante de la temperatura, presión y fuerza tectónica a que fue sometido.

El segundo grupo incluye a las rocas calizas lo suficientemente homogéneas y masivas para ser pulidas, para darles una presencia atractiva.

El ónix Mexicano y el ónix Caverna están considerados en el tercer grupo; son precipitaciones químicas de carbonato de calcio. Existe una estrecha afinidad entre estos mármoles y la clase travertino que también se obtiene como un producto de la precipitación. El mármol travertino se caracteriza por la presencia de numerosas cavidades irregulares. Ambos mármoles, ónix y travertino tienen usos ornamentales.

El cuarto grupo consiste en el óxido antiguo ó mármol serpentino, su color común es verde pero puede ser blanco.

La primera cualidad que distingue a los mármoles es el color; es una de las principales características para su valoración comercial; esto incluye las bandas y los cambios de tonalidades dentro del mismo material.

Según su coloración, los mármoles se pueden clasificar en:

Monocromos.- Esto es, una sola tonalidad (blanco) y los policromos; que tienen más de dos colores, diferentes a los del fondo. En el caso de los mármoles amarillentos, éstos deben su color a la presencia de arcillas, hasta en un 10%.

Mármoles blancos.- La coloración se debe a materiales colorantes dispersos en el CaCO_3 . Son compuestos químicos que fueron arrastrados por fenómenos exógenos, sobre todo por el agua, durante la formación del yacimiento y cuando la masa estaba todavía en estado incoherente, es decir, los elementos no estaban cristalizados.

Una vez definido el material como mármol, se deben determinar las siguientes constantes:

- Peso volumétrico.
- Porosidad.
- Resistencia a la compresión.
- Corte y pulido al espejo.

5.1.5.2 Características petrofísicas y mecánicas

Para definir la posibilidad de que una roca sea apta para cierto uso específico, se establecen fichas de identificación del material que incluyen los siguientes parámetros (Norma Francesa, AFNOR B-10-503 a 10-514, 19 y, Norma Americana, ASTM C- 97, 99, 170 y 241, 1969):

Parámetros de caracterización fisicomecánica:

Peso específico (g/cm^3) y porosidad (%).
Velocidad de propagación del sonido (m/s).
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm^2 , Mpa).
Resistencia a la flexión (Kg/cm^2 , Mpa).

Parámetros de caracterización específica para rocas dimensionables y ornamentales:

Dureza superficial (rayadura, en mm).
Prueba de desgaste con disco metálico (mm).
Coeficiente de absorción de agua (%).
Prueba de congelamiento o helacidad.
(sólo para uso bajo condiciones climáticas extremas).

Características químicas

No existen normas sobre las propiedades químicas que deban cumplir estos materiales para ser utilizados como roca dimensionable. Las únicas condiciones restrictivas en este sentido son:

- ↓ Que la roca presente un grado mínimo de alteración,
- ↓ Que no contenga minerales metálicos como óxidos o sulfuros, los cuales son fácilmente alterables al medio ambiente.

Las siguientes son algunas características que la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) establece como relevantes en el mármol:

Propiedad Física	Requerimientos	ASTM No.
Absorción de agua máxima (%)	0.75	C-97
Peso específico mínimo (g/cm ³)		C-97
Calcita	2.6	
Dolomita	2.8	
Travertino	2.3	
Resistencia a compresión, min. (kg/cm ²)	527	C-170
Módulo de ruptura, min (kg/cm ²)	70	C-99

Tabla 5.2. Características petrofísicas y mecánicas relevantes del mármol, (FIFOMI, 1995).

Como ejemplos de órdenes de magnitud, a continuación se presentan las propiedades petrofísicas y mecánicas de algunas variedades comerciales de mármol:

MÁRMOL	Rocherons (Francia)	Rojo Coralito (España)	Dionyssos (Grecia)
Peso específico (g/cm ³)	2.65-2.68	2.69	2.71
Porosidad (%)	0.73-1.26	0.2	0.2
Absorción (%)	0.8-0.9	0.1	0.11
Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm ²)	1480-2490	1563	1140
Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	60-150	188	196
Resistencia al impacto (N)	-	-	-
Desgaste (mm)	055-075	0.42	-
Helicidad *	35-40	-	-

Tabla 5.3. Las propiedades petrofísicas y mecánicas de algunas variedades comerciales de mármol, (FIFOMI, 1995).

* Helicidad (resistencia a las heladas):

Ensayados nuestros productos según la normativa alemana DIN 52 104-Z (modalidad más exigente) del siguiente modo: En cincuenta ciclos completos de hielo-deshielo no se observa ningún efecto visible de desconchamientos, fisuras, grietas, etc... Ciclos de hielo: la temperatura de la cámara frigorífica baja en plazo de 4 horas a -15° C. y se mantiene así durante 2 horas. La normativa señala un mínimo del 60%. (Laboratorio de pruebas interceramic, 2004)

El mármol ha sido clasificado en cuatro grupos por el "Marble Institute of America", de acuerdo con su homogeneidad y fracturamiento. Dicha clasificación no tiene como objeto el comparar el valor del mármol, sino exclusivamente identificar el método de fabricación aceptable en cada caso y sus posibles usos:

- Mármoles que tienen cualidades de firmeza y uniformidad favorables para trabajarse.
- Mármoles con características similares al grupo A pero que presentan ciertas fracturas naturales que requieren mayor trabajo y pulido.
- Mármoles y rocas con algunas variaciones en sus cualidades de trabajo debido a fracturas geológicas. Este grupo se caracteriza por presentar vetillas y líneas de separación.
- Mármoles con características similares al grupo C, pero que contienen una mayor proporción de fracturas naturales que requieren una mayor cantidad de trabajo y el empleo de un mayor número de métodos de terminado.

Las siguientes son algunas características que la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) establece como relevantes en la caliza:

Propiedad Física	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Absorción de agua máxima (%)	12.0	7.5	3.0
Densidad, mínima (g/cm ³)	1.76-2.16	2.16-2.56	más de 2.56
Resistencia a la compresión, min. (kg/cm ²)	125	280	560
Modulo de ruptura, mínima (kg/cm ²)	28	35	70

Tabla 5.4. Características que la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, (ASTM, 1970).

Como ejemplo de órdenes de magnitud, a continuación se presentan las propiedades petrofísicas y mecánicas de algunas variedades comerciales de caliza:

CALIZA	Comblan (Francia)	CremaMarfil (España)	Marbella (España)
Peso específico. (g/cm ³)	2.65-2.67	2.72	2.70
Porosidad (%)	0.2-0.9	1.3	0.5
Absorción (%)	0.7-0.9	0.5	0.2
Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	1300-2500	986	857
Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	60-150	198	170.4
Resistencia al impacto (N)	-	-	-
Desgaste (mm)	0.70-0.85	0.35	0.3
Helacidad	26.2-30	-	-

Tabla.5.5 Propiedades petrofísicas y mecánicas de algunas variedades comerciales de caliza, (FIFOMI ,1995).

5.1.6 Beneficio e industrialización

Para su comercialización, las rocas dimensionables requieren de un corte, pulido y terminado final de acuerdo con los requerimientos del comprador y especificaciones del mercado. El decorado final es a menudo elaborado a mano por operarios expertos para ello, usan varias técnicas y herramientas.

Corte

Los equipos utilizados para cortar, cuadrar y pulir los bloques comercializables incluye discos de diámetros de 3 m o más, de borde generalmente diamantado, cable diamantado o helicoidal y/o sierras en telar. Todas estas técnicas son complementadas con el uso de abrasivos.

La sierra de telar consta de una o varias hojas planas de acero, montadas en un bastidor, que se desplazan en vaivén. La velocidad depende de la dureza del material, del modelo del borde cortante de las hojas y, del tipo de abrasivo que se utilice; que puede variar desde simple agua y arena, hasta óxido de aluminio o carborundum.

Acabado y pulido

Para el pulido, acabado y decoración de productos finales, existe una gran variedad de métodos y equipo. El terminado y forma final de estos materiales puede lograrse con equipo automático o manual utilizando herramientas neumáticas. El pulido y abrillantado se logra mediante discos de carborundum o discos convencionales que usan paulatinamente diferentes abrasivos; desde los más gruesos hasta los más finos. En el mercado se maneja también el acabado "a la flama" en el que se produce, mediante un soplete, una superficie burda rugosa.

5.1.6.1 Procesos

a) Extracción

Es la separación del bloque a partir del yacimiento cortándolo o aserrándolo con hilo diamantado o sierras, de un tamaño adecuado para su venta o destinado a procesos adicionales. Los bloques son desprendidos, acarreados y subdivididos en tamaños menores, después son enviados de la cantera al proceso de laminación.

b) Laminado

Consiste en realizar cortes a través de láminas con incrustaciones de diamante o con lingoteadoras, lo anterior de acuerdo a las dimensiones requeridas.

c) Pulido

Este proceso consiste en desbastar y abrillantar con abrasivos y agua. Cuando existe porosidad se rellena con resina transparente y se regresa al proceso de pulido.

d) Segmentación

En este proceso se realizan cortes de acuerdo a las dimensiones solicitadas por el cliente o por los productos de línea.

e) Biselado / Secado / Encerado

De acuerdo a los requerimientos solicitados el producto podría pasar por procesos como biselado (rectificación de medidas en los cuatro lados y biselado), secado (sopleteo con aire y horno de secado) y encerado (con rodillos rociados de cera).

f) Empaque

El producto se empaca en cajas de unicel flejadas o en bastidores de madera y presionados con tornillos con un recubrimiento de plástico entre las caras pulidas para su protección (Fig.5.2).

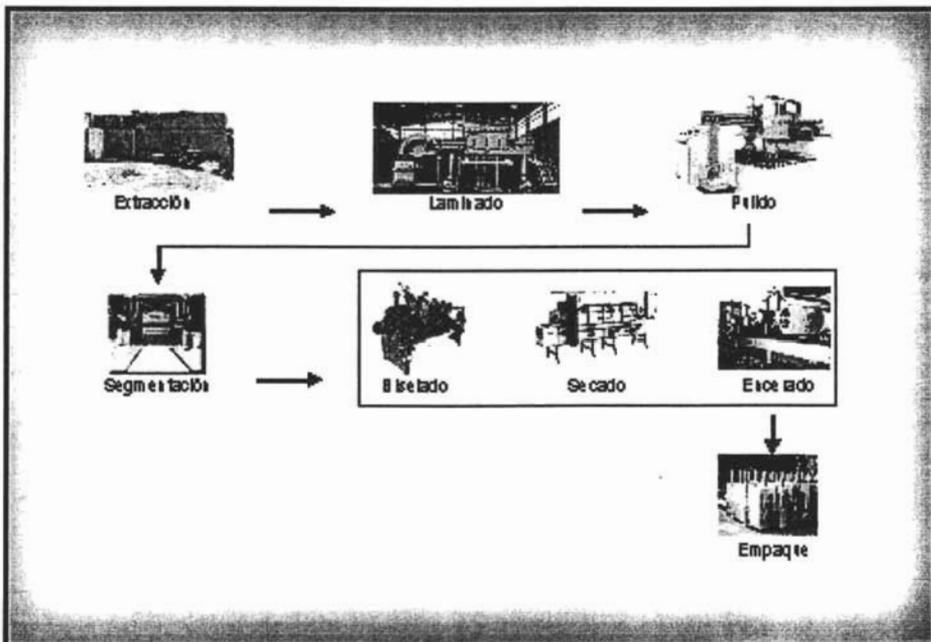


Fig. 5.2. Procesos del mármol, (Secretaría de Economía, 2004).

5.1.7 Usos del mármol y calizas

El mármol tiene diferentes usos de acuerdo a su pureza, aspecto y dimensiones; en la industria de la construcción, en la industria química, y en la elaboración de esculturas y piezas de ornato.

En la industria de la construcción se usa:

En bloques superiores a 1 metro, se corta y pule, para la elaboración de placas y losetas (Foto.17), para recubrimiento de interiores como paredes, pisos, chimeneas y en exteriores en fachadas y columnas, es utilizado como roca de construcción, para rellenos y colados. En tamaño que varía entre 1 y 25 cm, es utilizado en agregados para el cemento, balastro y estuco. En tamaños que varían entre 3 y 8 mm es utilizado para rellenar gallineros, y gravilla para ceniceros. Para las casas se puede utilizar esta recubierta con losetas de Travertino de 60X30 cm (Foto.18).

Ónix Mexicano o travertino

Es utilizado para tallar pequeñas piezas de ornato como ceniceros, lapiceros, y figuras. En México no se ha explotado a gran escala la posibilidad de cortar y pulir este material, para elaborar losetas, como en Albox, Almería España, en donde se fabrican losetas para recubrimiento de interiores y chimeneas; se obtienen estancias y baños con terminados de calidad (Foto.21), ya que al ponerlo en contacto con rayos de luz, la refleja produciendo efectos de singular belleza,

En la industria química es utilizado en tamaño que puede variar de 0.2 a 5 cm ; como fundente, y menor a 2 mm , como relleno en plásticos, papel, abrasivos y asfaltos, Cuando es considerado casi puro se usa para la industria alimentaria, en complemento de forraje y alimento para aves, mezclado con otras sustancias.

El mármol para la escultura es seleccionado por su tamaño (Foto.19), es decir, que según el volumen del bloque obtenido es el valor comercial que se le asigna, a su vez los expertos determinan si las vetas, manchas y otras características del mármol son apropiadas para este fin.

Con el mármol en pedacería se fabrican losetas artificiales, con pedacería y matriz del polvo, también es utilizado como grava para la elaboración de concretos en tamaños que varían de $\frac{1}{4}$ " a $1 \frac{1}{2}$ " . El mármol en polvo es usado como relleno o abrasivo. La marmolita es una roca elaborada con un porcentaje de potasio y marmolina.

El mármol ornamental es utilizado en la elaboración de estatuas, figurillas, pedestales de lámparas, monumentos, piezas de ornato y lápidas (Foto.20).

La caliza como roca dimensionable tiene las mismas aplicaciones que las que se le dan al mármol, en lugares en donde se requiere menor resistencia al uso. También se usa en la fabricación de cal, cemento, industria química, siderúrgica, y otras.

Productos sustitutos

En la construcción de edificios y casas, el mármol puede ser reemplazado por productos de concreto, por otras rocas como granitos, serpentinas, pizarras, etc., ladrillo y, por otros tipos de materiales elaborados con base en otras sustancias, como vidrio, terrazos, azulejos y granito artificial.

5. 2 Evaluación del mercado

5.2.1 La Ley Minera y el mármol

La Ley Minera, en su artículo 4° y 5°, menciona los minerales que deberán sujetarse a esta normatividad. En particular el Artículo 4°, que define los minerales y rocas sujetos a la aplicación de la Ley Minera, no menciona en específico al mármol. Por otra parte, el Artículo 50, en su Párrafo IV, menciona que se exceptúan de la aplicación de la Ley Minera las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen a este fin, lo cual es el caso de las rocas objeto de estudio.

5.2.1.1 Marco fiscal y comercial

A nivel nacional, la comercialización de rocas dimensionables no contiene regulaciones especiales, ni cargas impositivas diferenciadas del resto de la actividad económica.

Por lo que se refiere al comercio internacional, y gracias a la tendencia por tener una economía abierta, México realizó tratados de libre comercio con diversos países, en particular con Estados Unidos y Canadá (TLCNA), lo cual originó que dichos tratados tengan como consecuencia una desgravación en cuanto a los aranceles aplicados a importaciones y exportaciones de diversos productos desde y hacia México, en particular las tasas arancelarias para rocas dimensionables tienden a desaparecer.

5.2.2 Estándares de calidad

A nivel internacional, la American Society for Testing and Materials (ASTM 1970) define una serie de normas que deben de cumplir los materiales que se destinan a la industria en general, a la construcción, etc.. Las rocas dimensionables, naturalmente, se incluyen dentro de esta normatividad.

Enseguida se relacionan dichas normas.

Especificación Estándar del Mármol

Asignación ASTM C 505-67

Objetivos.

Estas especificaciones detallan las características petrofísicas requeridas por la roca y, la selección de muestras para su uso en la construcción y como roca dimensionable.

Requerimientos petrofísicos.

Para el uso en exteriores, debe ser sana libre de astillas, fracturas, hoyos u otras que afecten su resistencia, durabilidad y apariencia

El mármol debe reunir las propiedades petrofísicas expuestas en la siguiente tabla:

Propiedad petrofísica	Prueba ASTM	Requerimiento
Absorción máxima	C-97	0.75%
Peso específico mínimo		
Calcita	C-97	2.60
Dolomita	C-97	2.80
Serpentina	C-97	2.70
Travertino	C-97	2.30
Resistencia a Compresión mínima, psi (kgf/mm ²)	C-170	7500 (5.27)
Modulo de ruptura, mínima, psi (kgf / mm ²)	C-99	1000 (0.70)
Resistencia a la abrasión, mínima	C-241	10.0

Tabla.5.6 Características petrofísicas requeridas para el mármol como roca dimensionable, (FIFOMI, 1995).

5.2.3 Producción y mercado internacional

Las canteras más grandes en el continente europeo se encuentran en Italia, España, Francia, Portugal, Alemania y países escandinavos. En Asia, China e India son los grandes productores de mármol. En el Mediterráneo, Grecia y Turquía, y en el Medio Oriente: Israel, Irán, Egipto y Arabia Saudita son los que se distinguen en la producción de diversas variedades de mármol. En América sobresalen Estados Unidos, Canadá, México y Brasil.

Los principales países productores de mármol son:

a) Italia

Italia es indiscutiblemente el líder mundial en la producción de rocas dimensionables. Uno de los aspectos que mantienen a la industria italiana en el liderazgo es la tecnología, especialmente la maquinaria de talla industrial y herramientas de diamantes.

Otro aspecto importante es la especialización. Existen empresas especializadas en la extracción, otras en el transporte, otras especializadas en diferentes tipos de pulidos, etc.

El acceso a tecnología de punta y la especialización colocan a la industria de la roca italiana como líder a nivel mundial.

En 2002 Italia produjo 8, 000,000 toneladas en cantera, en exportaciones de bloques y losetas logró 706,000 toneladas; sus principales clientes son Taiwán, España, Líbano, Egipto y China.

En productos terminados exportó 2,330,000 toneladas, principalmente a Estados Unidos, Arabia Saudita, Emiratos Árabes, Alemania y España.

En términos generales fue un buen año para la industria italiana, los mercados extranjeros absorbieron grandes cantidades tanto de materia prima como de productos acabados.

La industria de la construcción consume casi toda la roca y en algunos casos se rebasaron las expectativas. El mercado americano absorbió aproximadamente el 27% de las exportaciones italianas, principalmente de productos acabados de mármol y caliza.

b) España

Es el mayor productor de pizarra ornamental en el mundo y es el segundo en la producción mundial de mármol. Como segundo productor mundial de mármol, España cuenta con 1100 canteras y más de 3000 fabricantes.

El mármol es el producto cuyo valor de exportación es el más elevado. En el año 2002, produjo 5.4 millones de toneladas en cantera de rocas dimensionables; en bloques y losetas exportó 896,000 toneladas de mármol a Estados Unidos, Italia y Hong Kong principalmente.

En productos terminados sus exportaciones fueron de 947,000 toneladas, principalmente a Estados Unidos, Francia e Italia.

Los principales clientes de los mármoles en bruto españoles, salvo Estados Unidos, son importantes países productores y exportadores, por lo que es previsible que una parte de estas importaciones se reexporten una vez transformado el mármol.

c) Turquía

Turquía es uno de los más antiguos productores de mármol en el mundo, con más de 4,000 años de experiencia en la producción de mármol. Su producción anual alcanzó en 2002 un promedio de 2.5 millones de toneladas de producción en cantera. Cuenta con aproximadamente 700 canteras, 1,600 talleres y 120 fábricas de mármol en exportaciones de bloques y losetas alcanzó la cifra de 789,000 toneladas que vendió principalmente a España, Siria y China.

En productos terminados sus exportaciones fueron de 680,000 toneladas, sus clientes más importantes fueron Estados Unidos, Arabia Saudita e Israel.

Las exportaciones de mármol a los Estados Unidos en 2002, alcanzaron 250,800 toneladas, 24% de la producción nacional de mármol terminado.

d) Grecia

Otro productor importante es Grecia que registra una producción anual de aproximadamente 1,5 millones de toneladas. La mayor parte de la producción se exporta como productos procesados y terminados.

Uno de los aspectos más importantes de la industria de la roca griega es que las compañías pueden satisfacer plenamente las necesidades específicas de sus clientes.

En exportaciones de bloques y losetas alcanzó 213,000 toneladas, destinadas a los mercados de China, Albania y Bulgaria.

En productos terminados sus exportaciones ascendieron a 127,000 toneladas, los clientes más importantes fueron Arabia Saudita, España y Alemania.

e) Otros

Otros importantes mercados son: Estados Unidos de América, Austria, España y Reino Unido. Los mercados más pobres para las exportaciones italianas fueron: Hong Kong, Japón, Corea del Sur, Singapur, Indonesia y Malasia.

e) Mercado norteamericano

La producción de rocas dimensionables en Estados Unidos en 2002 se situó en aproximadamente 1.3 millones de toneladas con un valor de US \$ 240 millones, producidas por 132 empresas; los principales estados productores en orden descendente fueron Indiana, Georgia, Wisconsin, Vermont y Texas; en conjunto contribuyeron con el 49% del volumen de la producción. En promedio el 33% correspondió a granito, seguido por caliza, 26%; arenisca, 15%; mármol, 5%; pizarra, 2%; y otros, 19%. Las principales empresas mármoleras son: Georgia Marble Co., Vermont Quarries Co. y Tennessee Marble Co.

Estadísticas de Estados Unidos para rocas dimensionables (Millones de dólares)

	1998	1999	2000	2001	2002
Producción					
Toneladas	1,140	1,250	1,320	1,220	1,300
Valor	225	254	235	263	240
Importaciones					
Valor	698	808	986	1,070	1,700
Exportaciones					
Valor	60	55	60	74	89
Consumo Aparente	863	1,010	1,160	1,260	1,800
Valor	863	1,010	1,160	1,260	1,800

Tabla.5.7 Estadísticas de Estados Unidos para rocas dimensionables, (Secretaría de Economía, 2004).

5.2.4 Mercado Nacional

a) Producción

La producción de mármol en México en el período 1994-2002 (Fig.5.3.) mostró un comportamiento descendente pasando de 1,086,237 toneladas en 1994 hasta llegar a 516,805 toneladas en 1997, afectado por la contracción de la economía nacional y de la industria de la construcción. En 1998 inicia el ascenso con una producción de 663,945 toneladas, 28.5% superior al año anterior. A partir de este año la producción se mantuvo en ascenso y en 2002 llega a 4,973,516 toneladas.

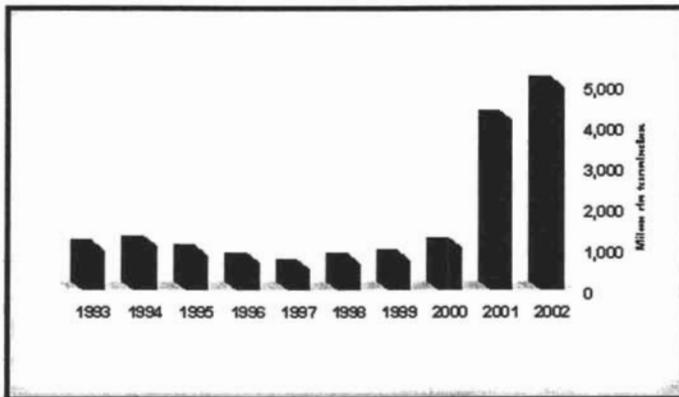


Fig. 5.3. Volumen de la producción de mármol de México 1993-2002

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana. CRM.

b) Consumo Nacional Aparente

En 2002, la producción nacional de mármol sumó 4,973,516 toneladas (Fig. 5.4). La importación del mismo se ubicó en 40,452 toneladas (33% superior a 2001) y la exportación registró 147,200 toneladas (7% menor al año anterior). Con los resultados anteriores el consumo nacional aparente ascendió a 4,866,768 toneladas, dicho monto significó un crecimiento de 21% respecto a 2001.

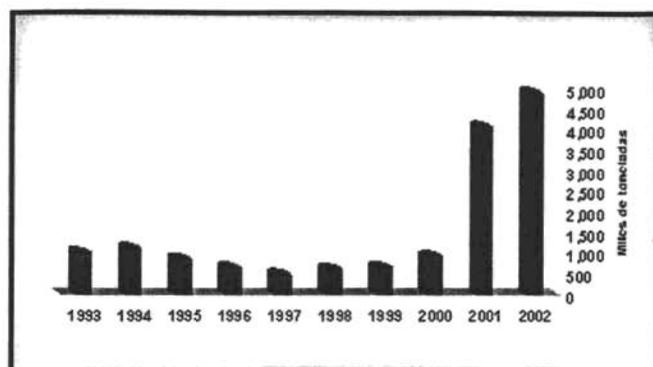


Fig.5.4. Consumo nacional aparente 1993-2002

Fuente: Sistema de Información Comercial de México (SICM). SEC.

c) Comercio exterior

En los últimos diez años, la balanza comercial ha sido positiva, sin embargo, observó una caída de 23% en el año 2002 respecto al año anterior, pasando de 71 a 55 millones de dólares en este último año.

Durante 2002, la exportación de mármol fue 14% menor que en 2001, al sumar U.S. \$72,086,431 de los cuales el 89% corresponde a las fracciones 68022101 y 68029101 correspondientes a mármol, travertinos y alabastro.

En el caso de las importaciones, éstas incrementaron en 34% respecto al año anterior ubicándose en U.S.\$17,293,389. Las fracciones 68022101 y 68029101 correspondientes a "mármol, travertinos y alabastro" encabezan este rubro en valor representando el 86%.

5.2.5 Precios

El comportamiento de los precios internacionales de rocas dimensionables se ve afectado por muy diversos factores.

A diferencia de otros productos, las rocas dimensionables tienen un valor estético subjetivo, que puede cambiar por modas o corrientes de decoración y arquitectónicas; así como también por el país de origen.

Intervienen, como en todos los bienes de consumo, la oferta, demanda, costos locales de producción, el valor de uso que se le da al producto, los costos de traslados y aranceles, etc.

El precio de una roca puede variar ampliamente de negociador a negociador. En general, el precio de las rocas se determina por factores como calidad del bloque, costo de producción, flete, tipo de cambio y costos de almacenamiento.

El precio de la roca aumenta si cuenta con buenas características y baja cuando no las tiene. Una apropiada explotación y subsecuente procesamiento puede realzar las características físicas de las rocas.

Los costos de almacenamiento y venta en grandes compañías que dirigen múltiples sucursales pueden ser altos, pero es muy probable que estas empresas tengan mejores precios de venta para sus almacenes en comparación con las pequeñas.

Los precios promedio de un metro cuadrado de loseta de espesor de 2 cm es de 435.625 pesos y para la de espesor de 3 cm es de 431.125 pesos. Estos precios varían según el mercado y algunas veces la demanda.

A continuación se mencionan los diversos tipos de acabados y sus precios que existen en el mercado, así como sus principales tamaños de losetas comercializadas (son precios promedio)

Losetas de 2 cm de espesor

Acabado	Pesos / m²
<i>Al corte</i>	262.875 \$
<i>Pulido</i>	338.00 \$
<i>Pulido con masilla</i>	368.00 \$
<i>Pulido con resina</i>	435.625 \$
<i>*Envejecido</i>	413.125 \$
<i>Reforzado</i>	54.75 \$

Dimensiones (cm.)	Pesos / m²
60x40x2	315.50 \$
40x40x2	308.00 \$
60x30x2	300.50 \$
40x30x2	292.875 \$
30x30x2	292.875 \$

Losetas de 3 cm de espesor

Acabado	Pesos / m²
<i>Al corte</i>	368.00 \$
<i>Pulido</i>	443.125 \$
<i>Pulido con masilla</i>	473.25 \$
<i>Pulido con resina</i>	593.375 \$
<i>*Envejecido</i>	518.25 \$
<i>Reforzado</i>	54.75 \$

Dimensiones (cm.)	Pesos / m²
60x40x3	441.625 \$
40x40x3	431.125 \$
60x30x3	420.625 \$
40x30x3	410.125 \$
30x30x3	410.125 \$

**Envejecido.- es el trato de la loseta con productos químicos para darle este aspecto.*

5.2.6 Comercialización

5.2.6.1 Principales canales de distribución

a) Productor

Una vez hecha la explotación de la roca, el primer paso comercial, cuando no se es transformador, es la venta del producto a las empresas transformadoras. Este paso se da solamente en los casos en que el productor no tiene los medios para procesamiento de la roca o que está atendiendo el mercado de bloque, básicamente en la exportación. Esta entrega al beneficiador, puede ser tanto nacional como internacional.

b) Transformador o beneficiador.

Se procesa el producto y se realiza la venta a un distribuidor o comercializador. Sólo en los casos en donde por necesidades de obra (cercanía del proyecto a planta productora, etc.) o por proyectos muy grandes, se compra directamente al productor.

c) Distribuidor o comercializador.

Éste pondrá el producto al alcance del consumidor final, en el caso del mercado nacional. Raras veces existe un paso más de intermediación en la distribución nacional; que es el que se presenta de un distribuidor o comercializador mayorista a otro minorista. Para el mercado internacional, en algunas ocasiones existe un paso intermedio, que es el de los "brokers" que constituyen un lazo entre los productores nacionales y los distribuidores en el extranjero.

El broker es generalmente un mayorista o comisionista, que busca mercancía y la coloca en el mercado. En el mercado estadounidense es común la intermediación de este tipo. Comercializar mediante esta vía tiene sus ventajas y sus desventajas. Las ventajas se refieren más bien al volumen vendido, ya que generalmente los brokers atienden grandes proyectos o distribuciones de gran tamaño; sin embargo, las condiciones de pago y de precio son más castigadas que la venta directa al distribuidor establecido en el extranjero.

El broker trabaja y gana de la mercancía de los productores y siempre tratará de invertir la menor cantidad de dinero posible. En Estados Unidos, el sistema de distribución depende de su uso final. El mármol para construcción de edificios se distribuye principalmente por medio de contratistas, instaladores y mayoristas.

Los distribuidores e importadores deben contar con grandes inventarios de productos para surtir en forma oportuna y con variedad de colores. El mármol utilizado en pisos se vende por medio de distribuidores de pisos y tiendas de menudeo y "mármoleros" (artesanos del mármol).

Para productores en pequeño de artículos de mármol recomiendan basarse en comercializadoras con capacidad para distribuir al menudeo.

5.2.6.2 Variedades comerciales del mármol

En términos comerciales se pueden incluir como mármol, rocas tales como travertino, calizas fosilíferas, calizas recristalizadas, dolomía y ónix (aunque en este estudio se considera al ónix como una roca dimensional particular).

Los diferentes nombres comerciales que se le asignan a los mármoles que existen en el mercado, se deben algunas veces a la localidad de extracción de la roca o, en ocasiones, a características como el color o la textura.

Algunos de los más importantes nombres comerciales del mármol en el mundo son:

Dentro de los materiales de construcción utilizados y distribuidos por las empresas se pueden encontrar diversos tipos de mármol.

Mármol azul antiguo: variedad de mármol muy rara, de fondo blanquecino con vetas azules en zig-zag.

Mármol azul de Wüttemberg: variedad de mármol formada por fosfato de calcio, muy empleado en ornamentación.

Mármol azul turquí: tiene vetas más oscuras que se van debilitando hasta confundirse con la masa.

Mármol bardiglio, igual que el mármol azul turquí.

Mármol brocatel, es del género de los jaspes. Tiene diferentes colores según los yacimientos: gris el de Bolonia, gris azulado el de Montin, amarillo el de Siena.

Mármol de brucita: producto obtenido por dolomitización del mármol.

Mármol campan: mármol atravesado por vetas micáceas.

Mármol cipolino: verdoso, micáceo, que contiene vetas de talco blanco; abunda en Córcega, Saboya y Piamonte.

Mármol de carrara: variedad de mármol blanco puro, originado por metamorfismo de contacto de calizas blancas. Muy empleado en la escultura. Ha sido explotado intensamente y desde muy antiguo en Carrara (Italia).

Mármol de Cothan: variedad de mármol formado a partir de calizas impuras; se caracteriza por unas marcas arborescentes. Abunda en Gran Bretaña.

Mármol de Florencia: mármol amarillo, a veces verdusco, realzado por un dibujo oscuro.

Mármol de Luni: Mármol blanco brillante, de grano muy fino. Abunda en Toscana.

Mármol de Paros: variedad de mármol estatuario, amarillento y algo translúcido.

Mármol de Siena: mármol formado por grandes manchas irregulares amarillentas, rodeadas de vetas de color vinoso.

Mármol de Forsterita: mármol originado a partir de calizas magnesianas (dolomías), con un alto contenido en sílice.

Mármol de Ónix (ónice): variedad veteadada de mármol translúcido de color blanco, amarillo, verde o rojo. También se le denomina alabastro oriental.

Mármol Pentélico: mármol de grano muy fino con el que está hecho el Partenón.

Algunos de los nombres comerciales del mármol que se vende en México son:

VARIEDAD	ORIGEN
Mármol Rojo Alicante	España
Mármol Rojo Verona	Verona, It.
Mármol Blanco Carrara	Carrara, It.
Mármol Santo Tomás	Puebla, Méx.
Mármol Negro Monterrey	Nuevo León, Méx.
Mármol Crema Marfil	España
Travertino	Coahuila y Puebla, Méx.

5.2.6.3 Principales formas de comercialización del producto

a) **Bloque:** con dimensiones que dependen de los requerimientos del cliente, generalmente mayores a 1 m^3 . Para la fabricación del parquet, los bloques para exportación pueden tener desde 5 m^3 (Foto.13).

b) **Placas y láminas:** Con dimensiones que dependen de los requerimientos del cliente, generalmente son mayores a las del parquet, con espesores de 2 o 3 cm generalmente.

c) **Parquet:** se presenta en medidas estándares en el mercado nacional e internacional, con algunas pequeñas diferencias de espesor en algunos mercados europeos. Las siguientes medidas estándar son requeridas por el mercado estadounidense (fueron mencionadas por los empresarios nacionales que exportan estos materiales). Además en el mercado nacional se manejan las medidas de recuperación, las cuales provienen de los materiales sobrantes después de la obtención del parquet de medida estándar (Foto.14).

5.2.6.4 Medida estándar

12" x 12" x 3/8" (30.5 x 40.5 x 0.95 cm.)

16" x 16" x 3/8" (40.0 x 40.0 x 0.95 cm.)

18" x 18" x 3/8" (45.7 x 45.7 x 0.95 cm.)

24" x 24" x 3/8" (61.0 x 61.0 x 0.95 cm.)

Medidas de
Recuperación

10 x 20 x 0.95 cm.
10 x 30 x 0.95 cm.

El mármol fragmentado se emplea como agregado en concretos y como materia prima en la producción de cal viva y el desperdicio superior a las 5 pulgadas se utiliza en la elaboración de estatuas, figurillas, pedestales de lámparas, monumentos, piezas de ornato y lápidas.

Empaquetado	30 x 30	15 x 30	15 x 15
Cantidad por caja	1,5m ² /17 pç.	0,6m ² /14 pç	0,6m ² /28 pç
m ² por parquet	63 m ²	48 m ²	48 m ²
m ² por contenedor 20'	1008/1323 m ²		
Peso por m ²	20 kg	20 Kg	20 Kg
Peso bruto por parquet	1285 kg	979 Kg	979 Kg
Parquets por contenedor	12 / 15		

Tabla.5.8. Empaquetado del producto terminado (FIFOMI, 1995).

El estudio de mercado realizado en diversas empresas que se dedican a la venta de losetas se encontró que los tamaños mas demandados son:

30 x 30 x 2 cm.
40 x 40 x 2 cm.
30 x 30 x 3 cm.
40 x 40 x 3 cm.

En lo que a losetas se refiere y a productos ornamentales sólo son sobre pedido, por tanto los tamaños varían.

La loseta de dimensiones 40x40x2 cm es la que se utiliza para el acabado principalmente para las salas, los comedores, los baños y se puede presentar la cara pulida o en bruto, las cuales tienen una gran belleza. Este tipo de losetas son las que tienen mayor importación, procedentes sobre todo del mercado europeo. Algunas veces los clientes piden medidas especiales y las empresas lo surten sin ningún problema.

El tamaño de los bloques de donde se obtienen los productos es del siguiente tamaño:

El bloque inicial tiene las siguientes dimensiones.

20 m de ancho
25 m de largo
6 m de alto

De este bloque principal se corta según las especificaciones de las máquinas laminadoras ya que algunas son más grandes o más pequeñas, por ejemplo, la máquina cortadora monohilo Falcón 103, el bloque máximo que puede alimentar a esta cortadora es de 2.50 m de ancho, 2.10 de altura y 3.55 m de longitud.

La obtención del producto por cada bloque que se corta es la siguiente:

El volumen promedio del bloque unitario es de 23.4375 m³

	Para losetas 3 cm.	Para losetas 2 cm.
Nº de tablas por bloque.	82.2365	111.6071
Nº de m² por bloque.	616.776	837.05325
Nº de m² por m³.	26.315776	35.714272
m² por tabla.	7.5	7.5

5.3 Métodos de extracción utilizados en México

En México existe una tradición de muchos años en explotación y beneficio de rocas ornamentales. Desafortunadamente, la mayor parte de las explotaciones son artesanales y utilizan técnicas de extracción rudimentaria o semimecanizadas, aunque desde hace unos años se han estado actualizando.

Aplicaciones en el Mármol, Caliza y Ónix

Por las similitudes de dureza (baja) que presentan estos tipos de roca, para su extracción suelen utilizarse los métodos de explosivos, cable diamantado y cortadora - rozadora.

a) Explosivos

Esta técnica parte del hecho de que durante la detonación, la onda de choque es seguida por la liberación de gases calientes y de que toda la energía puede ser controlada para evitar la formación de microfisuras. Así, en la zona anular próxima al barrenado, la roca es pulverizada por la onda de choque y en las zonas subsecuentes, esta es sometida a tracción lo que genera fracturas radiales.

Para realizar superficies de corte que conformen bloques regulares, se busca "dirigir" la onda de choque y evitar la generación de fracturas radiales. De ahí el nombre de la técnica que es "voladura dirigida" (*Tir Menagé*, en francés) o "voladura suave" (*Smooth Blasting*, en inglés). La técnica se basa en el principio de que cuando dos barrenos son suficientemente próximos, la acumulación de la fuerza de las ondas de tracción sobrepasa la resistencia de la roca y una fisura se desarrolla en el plano de los dos barrenos.

La acción del gas juega un papel muy importante en el proceso de corte, debido a que la presión ayuda a la propagación de la fisura sin afectar a la masa rocosa.

Para dirigir la energía de la detonación existen varias alternativas: la presencia de barrenos vacíos entre barrenos cargados permite orientar las fisuras; se pueden utilizar explosivos de baja presión de detonación o explosivos deflagrantes como la pólvora, los nitratos, algunas dinamitas o el cordón detonante; con los que la fuerza del gas permite realizar el corte y separar el bloque de la masa rocosa.

Se puede realizar una desfase entre el diámetro del barreno y el diámetro del explosivo, para que el espacio amortigüe la fuerza de la onda de choque. El desfase óptimo para el corte debe ser definido cuidadosamente en función de las características de la roca y del explosivo empleado. Este desfasamiento, así como la utilización de otras técnicas para dirigir la energía, son el objeto de continuas investigaciones.

La realización de una voladura dirigida requiere la definición de los siguientes parámetros: el grado de desfasamiento de diámetros cartucho-barreno, la distancia entre barrenos, la carga límite mínima que puede soportar la roca y la carga específica del explosivo.

Los parámetros anteriores permiten determinar la carga lineal que debe ser utilizada y que corresponde a la carga total dividida entre la longitud del barreno.

El parámetro más importante para evaluar el costo de la voladura es la distancia entre barrenos, ya que los gastos de perforación pueden llegar a consumir el 80% del valor total del corte (Rozes, 1985).

Esta técnica comprende dos etapas principales; el corte primario y el corte secundario. El primero involucra masas paralelepípedicas de varias centenas y a veces, miles de metros cúbicos. Este corte requiere dos caras libres del bloque y se puede efectuar simultáneamente en las 2 a 4 restantes, en función de la estructura de la roca (corte en "L"). En el corte secundario se atacan los bloques ya separados del macizo rocoso, para dimensionar los bloques comerciables; para ello las cargas se disminuyen y se aproximan los barrenos. Este último corte puede también ser realizado con otras técnicas como cuñas o cable diamantado.

La principal ventaja de la utilización de esta técnica consiste en que se pueden extraer masas de volumen importante, aprovechando las discontinuidades naturales de la roca; así se aumenta la velocidad de explotación, aunque, en el caso de un mal manejo de los explosivos existe también el riesgo de dañar un volumen importante de roca, (Foto.12).

Cuando la energía de los explosivos no es controlada, se producen fragmentos que muchas veces no pueden ser aprovechados y los frentes de ataque pueden

dañarse. A esto se suma la gran cantidad de escombros producidos, que pueden llegar a invadir la cantera lo que dificulta los trabajos de explotación.

b) Cable diamantado.

Esta técnica permite realizar cortes de gran calidad, lo que minimiza el trabajo de dimensionamiento y acabado final. Las máquinas funcionan con motor diesel o motor eléctrico. Cuentan con un tablero de control remoto y el avance es automático. Con esta técnica se pueden abarcar cortes en bloques de más de 25 m de largo por 6 a 8 m de alto (Foto.11).

Para la extracción de bloques de la cantera, se requiere la realización de barrenos perpendiculares (vertical y horizontal) que tengan un punto de convergencia a través del cual sea posible introducir el cable diamantado. El corte horizontal con hilo diamantado es más delicado que el vertical, debido a las dificultades en la lubricación con agua y el arrastre de la rezaga de corte. En la práctica, se recomienda hacer primero el corte horizontal, ya sea con cable o con otra técnica como cortadoras o explosivos, y después el vertical, para anular la posibilidad de desprendimiento que pudiera pensarse el cable antes de terminar el corte.

La herramienta precedente al cable diamantado es el cable helicoidal, que fue de uso corriente en canteras de mármol y calizas. Esta técnica consta de un cable, que puede ser sencillo doble o triple, montado sobre poleas para el tallado sobre la roca. Entre los abrasivos que se utilizan para complementar el trabajo del cable están la arena, los óxidos de aluminio y el carburo de silicio. Las poleas se montan sobre una torre o sobre una pista o carril, de tal manera que pueden ser movidas y penetrar en el plano de corte.

Para que el cable pueda ser instalado en la roca, se requieren dos costados libres y paralelos del bloque a separar. Se deben realizar perforaciones lo suficientemente grandes para que puedan entrar los ejes, los platos y los brazos de soporte de las poleas. Las poleas están diseñadas de tal forma que puedan cortar su propio camino al estar presionadas en la roca.

El corte con cable diamantado es una de las técnicas más utilizadas en la actualidad para la explotación de rocas dimensionables calcáreas, en donde prácticamente se ha desplazado el uso de cable helicoidal. El único inconveniente de esta técnica es el precio del cable, al cual debe asegurarse la duración necesaria para amortizar su costo; de ahí que normalmente no sea utilizado para rocas con una dureza importante.

Actualmente, el cable diamantado está en uso en algunas canteras de granito italianas; para ello se diseñan cables especiales con mayor resistencia, pero el valor de la roca debe ser suficientemente importante para que la utilización de estos cables sea económicamente justificable.

c) Cortadoras y Rozadoras

Estas herramientas permiten realizar cortes paralelos verticales (rozadoras) y horizontales (cortadoras), con la ayuda de un brazo de 1 a 4 m de largo. Pueden ser utilizadas para el acondicionamiento de un sitio de explotación, para formar el frente de ataque, para la extracción de bloques en canteras subterráneas y, para el corte secundario en bloques comerciables.

En un principio se utilizaban herramientas de carburo de tungsteno. En la actualidad se cuenta con cadenas provistas de plaquetas diamantadas. Existen dos grandes tipos de estas máquinas:

- Las que son colocadas sobre rieles al pie del frente de extracción en canteras a cielo abierto.

- Las que son colocadas sobre columnas para explotación subterránea.

Estas herramientas permiten lograr superficies de corte de alta calidad; sin embargo su utilización se limita a canteras explotadas por bancos descendentes que cuentan con plataformas de trabajo suficientemente anchas. Actualmente existen también cortadoras de disco diamantado de grandes dimensiones, pero su costo es demasiado elevado para ser de uso corriente.

Los siguientes datos corresponden, en porcentaje, a los métodos de explotación utilizados en la extracción del mármol, caliza y ónix. Estos datos se consideran preliminares debido a que provienen de 25 empresas de una sola región productora de roca dimensionable.

Explosivos: 75 %.

Cable Diamantado: 20 %.

Cortadora y Rozadora: 5

5.4. Material rocoso de "EL SALITRE"

En el área afloran principalmente calizas (que según Dunham se les clasifica como wackestone), con datos estructurales concordantes en su disposición espacial, ya que todos presentan una orientación general hacia el NE40° y buzamiento de 35° SE, las variaciones que se observan en las calizas presentes son de forma esencial en el contenido de aloquímicos y en procesos diagenéticos como la recristalización, y parcialmente plegados. A la intemperie asumen colores variables, del gris claro al gris azulado, además del rosado claro; se encuentran surcos, estrías y huellas de disolución, mostrando superficies que varían desde lisas hasta ásperas y arenosas cuando contienen dolomita, la textura es microcristalina (Foto.6). Una característica que se aprecia, son los nódulos irregulares de pedernal, nudosos, pero que no aparecen en toda la secuencia estratigráfica local.

Entre los estratos de calizas que varían de espesor 2.0 m a 8.0 m por estrato, se pueden encontrar calizas completamente silicificadas, estratos medios de travertino blanco con porosidad fenestral y conglomerados petromicticos, en el que se presentan clastos de calizas en un cementante carbonatado. Las calizas están compuestas básicamente de carbonato de calcio, con una variación en su composición debido al contenido de dolomita; estas calizas tienen su textura de grano fino y uniforme, en algunos horizontes bastante densa, fractura subconcoidea, lustre vítreo y en algunas es resinoso, con vetillas de calcita, impurezas de arcilla y óxidos, su color es gris pardo, se muestran asperas ásperas y arenosas en su superficie y la caliza tiene capacidad de formar carst, que es la que genera al ónix y al travertino por intemperismo químico, (Foto.10).

Como es característico en una litología carbonatada, en este tipo de clima, la disolución del carbonato de calcio y la subsecuente precipitación del mismo en forma de caliche (Foto.4), provoca que la mayor parte de los afloramientos, se encuentren cubiertos por caliche, esta costra de caliche, en ocasiones llega a tener hasta 15 cm de espesor, lo que representa un verdadero obstáculo para determinar el patrón de afloramiento de los estratos de calizas.

Otra característica observada en la región, es el desarrollo de espeleotemas, este tipo de forma se presenta principalmente en una caverna (Foto.6), producto de la disolución de la calizas tipo wackestone, la bóveda principal de la caverna, presenta dimensiones de 40m X 20m X 15m.

Es en esta caverna, donde se observa la precipitación del carbonato de calcio, en forma de travertino (Foto.7), adoptando formas de estalactitas, estalagmitas, columnas y velos. Dentro de la cueva se observa que el ónix y el travertino que sale de las fisuras que están en el techo (Foto.8), sus coloraciones van del crema claro hasta el pardo oscuro, además de presentar cavernas de disolución, que están rellenas de carbonato de calcio. Se observa cavernas pequeñas con escaso ónix, aragonita y cristales de calcita, variedad diente de perro, son producto de la

precipitación de soluciones saturadas de calcio en galerías y canales cársticos, subterráneos dentro de las calizas, la presencia de impurezas en estas soluciones cambian los colores del ónix y travertino.

La roca de valor económico en el área de estudio es la caliza recristalizada de color rosa (Foto.3). De edad Cretácica, que forma un yacimiento irregular en el área, que para los fines de el estudio se limitó una área de 50 hectáreas y dentro de esta un rectángulo con una superficie de 4 hectáreas. Donde se tienen las dimensiones de 250 m de largo por 160m de ancho.

Esta caliza tiene como rumbo preferencial N 35° E y su echado de 20° al SE, su fracturamiento con rumbos preferenciales noroeste – sureste 70°. Sus espesores varían entre los 2 a los 8 m.

El color rosado de la caliza recristalizada se debe principalmente a la presencia y distribución de óxidos de fierro (Foto.9), se presenta rosa con tonos blancos, de aspecto brechoide muy fracturada y con abundantes poros y cavidades rellenas de calcita microcristalina, de estructura compacta y textura cristalina, no se observan microfósiles.

Contiene fragmentos de sílice subangulosos y redondeados dando la apariencia brechoide.

Como producto de la alteración superficial de estas calizas se ha formado un suelo calichoso de color blanquizco y rosado, compacto, en capas delgadas y gruesas que varían en su espesor.

Para poder saber el potencial minero, que es susceptible a explotarse, se realizó una estimación preliminar de la caliza rosa, y se tomo la longitud, el espesor y la profundidad (por el desnivel que hay en el terreno) y con un factor de seguridad del 20%.

Haciéndolo de la siguiente manera:

Volumen = longitud x espesor x profundidad - el factor de seguridad.

DATOS:

Longitud = 150 m

Espesor = 40 m

Profundidad = 20 m

Factor de seguridad (F. S) = 20% Factor de Seguridad = (L x E x P) x 20% = 24000 m³

Volumen = (150 m x 40 m x 20 m) – F. S.

$$= 120000 \text{ m}^3 - 24000 \text{ m}^3 = 96000 \text{ m}^3$$

de este resultado se le resta una capa de caliche por mover de :

40 m x 35 m x 1 m = 1400 m³ por lo tanto; posible Volumen = 96000 m³ – 1400 m³

Volumen estimado de caliza rosada para su posible explotación es:

$$\text{Volumen} = 94600 \text{ m}^3$$

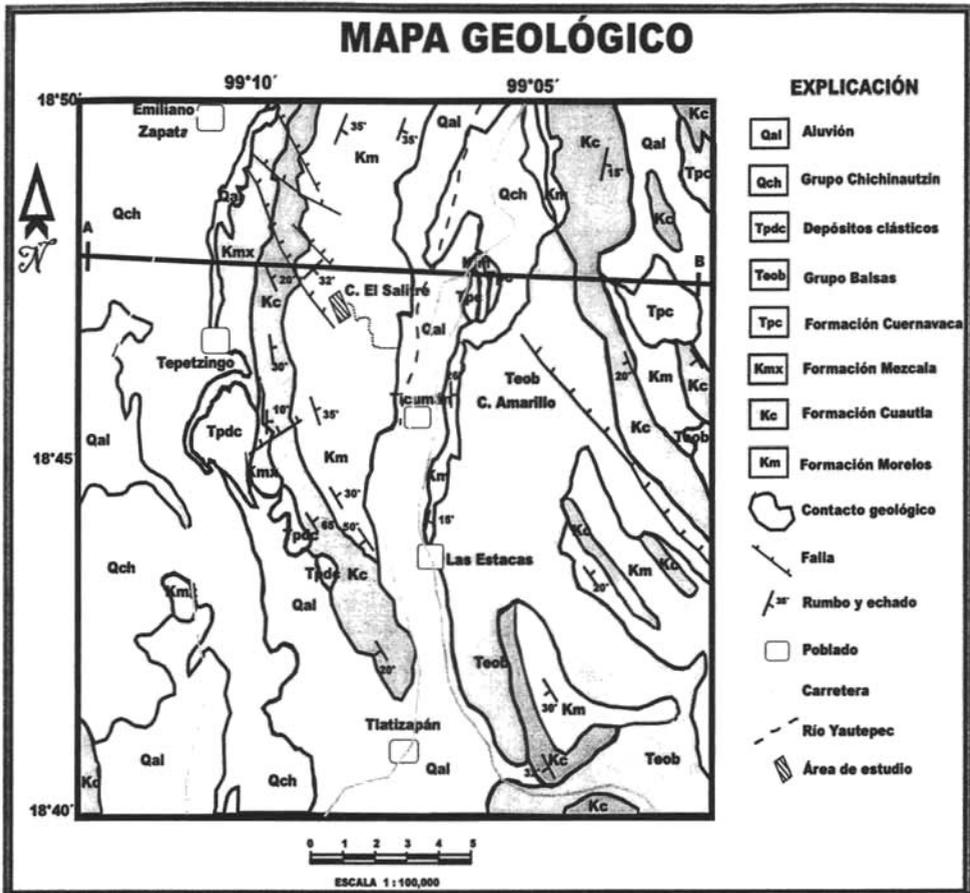
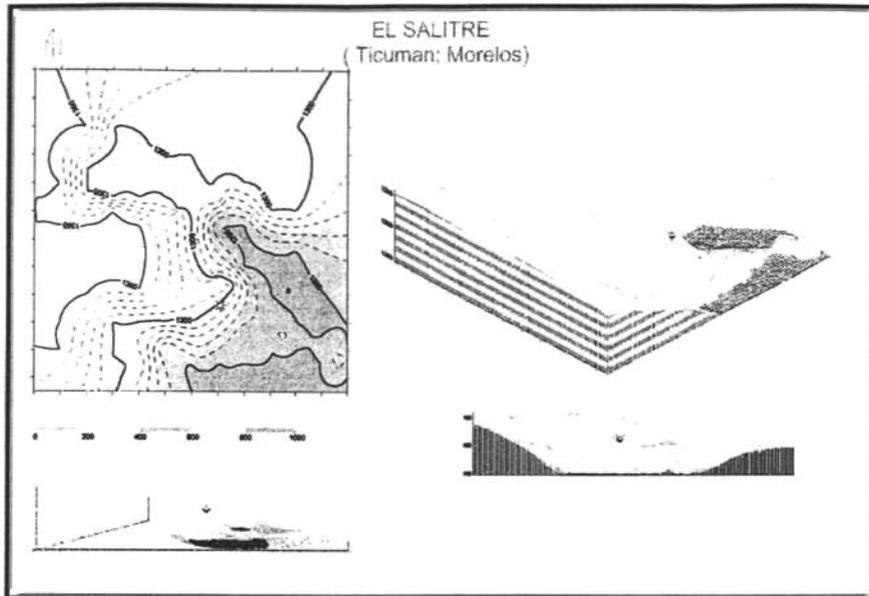


Fig. 5.3.1 Mapa geológico del área de estudio (COREMI, 1995)



• Ubicación de la cueva "el salitre".

Fig. 5.3.2. Región de estudio que muestra la disposición general de las capas y la ubicación de la caverna donde se deposita el travertino.

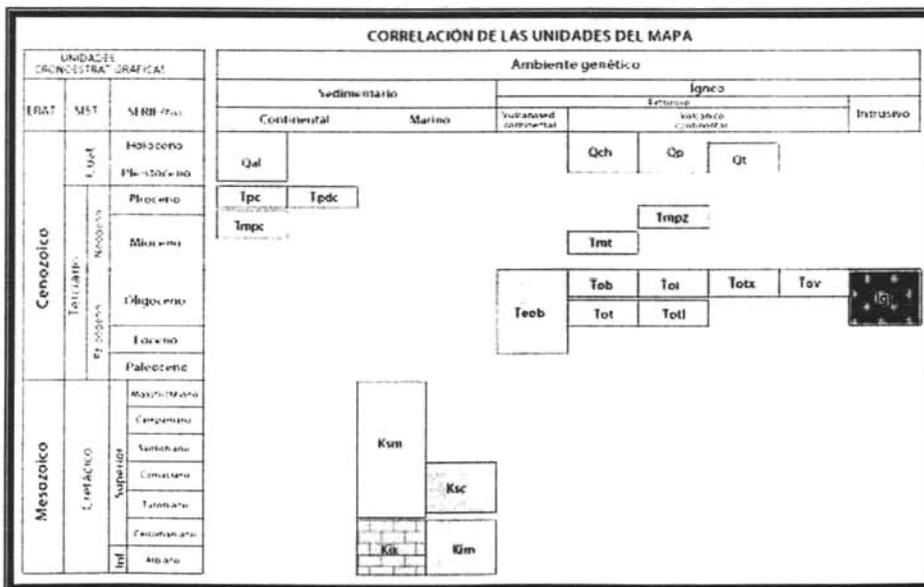


Fig. 5.3.3. Correlación de las unidades del mapa, (COREMI, 1995).

Capítulo 6

CONCLUSIONES

- ↓ Las calizas presentes en el área pueden ser susceptibles a ser utilizadas, como piedras dimensionable, porque muestran una recristalización que es valorada para este tipo de rocas.
- ↓ Si se considera su potencial y las características físicas de la caliza rosa, es posible la explotación de este yacimiento.
- ↓ El potencial estimado de la caliza rosa es de 94,600 m³, en la partes donde sí se puede realizar su explotación, y se puede aumentar por el tamaño del área.
- ↓ El corte y pulido demuestra un brillo a espejo con variaciones en color, fracturamiento y abundantes poros.
- ↓ El travertino, se limita a la depositación en la caverna ubicada en el margen derecho del arroyo denominado como El Salitre, por tal motivo es difícil encontrar travertino de este tipo en forma paralela a las capas de calizas.
- ↓ El potencial minero del travertino, según su irregularidad y que se encuentra principalmente como estalactitas y estalagmitas, se calcula que es bajo y no da mas para algunos pequeños volúmenes que pueden utilizarse con fines artesanales; no obstante, se puede elaborar placas desde tamaños de 5x5x5 cm hasta un máximo de 1m³ de algunos bloques.
- ↓ El travertino blanco, presenta espesores que se consideran como no propios para su explotación, para la realización de losetas, por ser muy poco su volumen y no cubre las características de los bloques que se necesitan para poder laminarlo.
- ↓ En el área de estudio es común encontrar costras de caliche, lo que enmascara el patrón de afloramiento de las calizas.
- ↓ Las rocas dimensionables tiene una perspectiva económica muy alta en el mercado nacional y mundial donde son muy valoradas sobre todo en Europa y los Estados Unidos.
- ↓ Tomando en cuenta los accesos a la zona y la cercanía con el Distrito Federal, la comercialización del material sería más fácil y menos costosa su transportación.

- ↓ Destaca la importancia del mercado norteamericano para la industria marmolera mexicana, pues tiene una capacidad de importaciones de 422 mil toneladas en promedio, en las que México aporta sólo el 4.2%.

- ↓ La competencia de México en Estados Unidos proviene principalmente de Italia, España y Grecia; sin embargo, en esos países el mármol y sus productos tienen un arancel de entre 2 y 6 %, y los costos de transporte son elevados.

- ↓ Los documentos de entrada al mercado norteamericano son: pedimento de exportación, certificado del transportista, manifiesto de entrada (FAd.7533), factura comercial, lista de empaque y certificado de origen.

- ↓ Como ingenieros, en este caso el ingeniero geólogo, debe revisar la situación legal de la zona de estudio, antes de invertir tiempo, dinero, y esfuerzo, ya que en el momento de hacer la investigación sobre la explotación y el beneficio de la roca, se detecto que la zona de estudio está comprendida por una reserva estatal protegida .

RECOMENDACIONES

- ↓ Revisar si es de carácter irrevocable el decreto que debe prohibir e impedir el establecimiento de zonas de extracción de roca, tierra, desmontes, etc., dentro de los límites del de la reserva estatal.
- ↓ Se tiene que realizar una etapa de exploración más a detalle, con una barrenación, para poder definir su potencial real y sus características a profundidad.
- ↓ Una vez definido el potencial y las características del yacimiento, se tiene que elaborar un diseño de explotación, para extraer la caliza rosa del cerro El "Salitre" y así poder aprovechar al máximo y correctamente el material disponible.
- ↓ Se recomienda llevar acabo las pruebas de compresión, para la caliza rosa.
- ↓ Si se considera explotar las calizas presentes en el área como piedras dimensionables es necesario contar con nucleadoras, que permitan eliminar el obstáculo que presenta el caliche superficial de la zona.
- ↓ Buscar métodos de explotación diferentes a los explosivos, para no dañar la caliza y optimar la posible recuperación de bloques de buena calidad para la laminación.
- ↓ Existe la posibilidad de establecer nuevas formas de asociación y activar la economía en la zona y generar así una fuente de empleo a muchas personas.
- ↓ Lograr la participación del gobierno del estado para que se beneficie a esta zona, elevando la calidad de vida de las comunidades del área.
- ↓ Aprovechar la experiencia de algunos productores nacionales que se dedican a la exportación de mármol.
- ↓ Buscar la manera de complementar las inversiones nacionales con recursos externos.
- ↓ Identificar y negociar con empresas financieramente seguras y que cuenten con plantas que tengan suficiente procesamiento con un registro probado de control de proceso estadístico.

- ↓ Desarrollar e implantar un sistema de promoción y comunicación para informar al mercado y compradores potenciales de una amplia variedad de nuevos colores y excelente calidad del material.

- ↓ Desarrollar y establecer un sistema de inspección de la producción y control de calidad para asegurar que todo el material reúna las normas estrictas requeridas en el mercado internacional.

- ↓ Se recomienda el hacer el cálculo de reservas del material de rocas dimensionables del cerro "El Salitre".

- ↓ Llevar acabo las pruebas de calidad a las calizas que se encuentran en el cerro "El Salitre", para que puedan ser explotadas como rocas dimensionables.

- ↓ Barrenar en la zona para poder saber los espesores reales de las rocas aprovechables que se encuentran en el cerro "El Salitre".

Conclusiones y/o Recomendaciones Básicas en las Diversas Actividades Productivas

a) Extracción y procesamiento

En el caso de la extracción de la roca es fundamental conocer las condiciones geológicas de las canteras: reservas, dimensiones, fracturamientos, calidades, tipos y colores, con el objeto de poder justificar la inversión.

La extracción mediante el uso irracional de los explosivos daña el yacimiento propio y los alrededores y tiene menor eficiencia, mientras que con la utilización de técnicas adecuadas (hilo diamantado, barrenación, etc.) pueden obtenerse mayores rendimientos. Esta etapa del producto es la que determina en gran parte su precio y calidad. En la fase de corte, laminado y pulido también es necesario utilizar tecnología de punta para reducir costos (tiempo, desperdicios, uniformidad en el terminado).

b) Empaque

Otro aspecto importante es que el producto tenga un adecuado embalaje, ya que una pieza que se rompa implica pérdida del producto y del costo de transporte, lo que puede llevar a la pérdida definitiva del cliente o del mercado. Un empaque fuerte, en canastos de madera ayuda a prevenir fracturas, rasgaduras, manchas y rupturas en las puntas de las rocas durante el transporte.

Lo anterior indica la necesidad de las empresas de emplear tecnologías modernas, productos con calidad superior y el uso más racional de sus materias primas, con el fin de no perder rentabilidad y competitividad en el mercado internacional y de reducir la probabilidad de enfrentarse a un mercado interno cada vez más pequeño.

c) Promoción y ventas

La promoción es un punto importante y la forma adecuada de hacerlo es participar en ferias, viajes de promoción y misiones comerciales. En esta labor se debe considerar la elaboración de folletos en inglés que cuenten con una descripción completa del producto, características, precio de venta y disponibilidad. Como un complemento a esta actividad es conveniente anunciarse en revistas y participar en exposiciones especializadas.

Después de realizar la venta es conveniente mantener el servicio de postventa para supervisar y evaluar la satisfacción del cliente, y de este modo ver la posibilidad de incrementar el volumen de ventas.

d) Comercialización

Los productores nacionales de rocas dimensionables operan con bajos niveles de inventario lo cual limita su incursión en los mercados internacionales.

Por tanto, para satisfacer la demanda de grandes volúmenes es recomendable asegurar un mayor inventario del producto mediante la integración de los productores con estándares de calidad o mediante un broker, que garantice la disponibilidad, calidad, variedad y homogeneidad del producto.

Bibliografía

Aguayo Camargo J. Eduardo, **Avances recientes sobre sedimentología y diagenesis**, Revista de Geografía, INEGI, Vol. IV N° 5 p.p 77-86. México 1992

Aguilera-Franco, N, 2000, **High resolution stratigraphy and palaeoecology of the Cenomanian–Turonian succession southern Mexico**
London, University of London, Imperial College of Science
Technology and Medicine, T.H. Huxley School of Environment,
Earth Sciences and Engineering, Ph. D. Thesis, 202 p.

Aguilera-Franco, **Cenomanian – Coniacian zonation (foraminifers and calcareous algae) in the Guerrero – Morelos basin, southern Mexico.**
Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 20, núm. 3, 2003, p. 202-222

Bates, R.L. and J.A. Jackson (editors). 1987. **Glossary of geology**. Third edition.
American Geological Institute. Alexandria, VA.

Cepeda D. Leovigildo, **Petrología Metamórfica**. Apuntes. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Departamento de yacimientos minerales. UNAM 1989.

COREMI, **Monografía geológico minera del estado de Morelos.**
Consejo de Recursos Minerales de México, Septiembre 2000.

COREMI, Inventario de rocas dimensionables. **Los mármoles de México.** México. 1993.

COREMI, **Anuario estadístico minero**, 1993 – 2000.

Cortes Pérez José A. **Informe geológico minero de las "Canteras de Tícuman", área mármol travertino, municipio de Tlaltizapán, estado de Morelos.** Consejo de recursos minerales, Gerencia Regional Sur. Diciembre 1993.

Cortes Pérez José A. **Informe geológico minero de las "Canteras de Tícuman", área mármol rosa, municipio de Tlaltizapán, estado de Morelos.** Consejo de recursos minerales, Gerencia Regional Sur. Diciembre 1993.

DETENAL, **Síntesis Geográfica de Morelos.** Dirección de Estudios del Territorio Nacional, Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística e Informática., Dirección de Estudios del Territorio Nacional, 1981. México, D.F. 110 p.

Fries, C., 1960, **Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México.** México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín, 60, 236 p.
Harben, P.W.; Bates, R.L.(1990). **Industrials Minerals. Geology and World Deposits.** Ind. Minerals Div. Metal Bulletin Plc. 312 pg.

Gama-Castro Jorge Enrique, Flores-Román David, Solleiro-Rebolledo Elizabeth, Jasso-Castañeda Carolina, Vallejo-Gómez Ernestina, Rocha-Torrallardon, Ana María, Villalpando-González José Luis, **Neosols, relict paleosols, and alterites in the Transmexican Volcanic Belt, Morelos state: Characterization and regional spatial distribution.** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 21, núm. 1, 2004, p. 160-174.

Hernández –Godoy, José Antonio, 1998, **Estudio de Mercado de Rocas Dimensionables.** Archivo técnico, FIFOMI.

Hernández –Godoy, José Antonio, 1998, **Métodos de Explotación para Rocas Dimensionables.** Archivo técnico, FIFOMI.

INEGI – UNAM, **Geología de la Republica Mexicana.** 1984.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1999, **Información Geográfica: aspectos geográficos de Morelos.** México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, <http://www.inegi.gob.mx>.

Secretaría de Comunicaciones Transportes, Dirección General de Planeación Subdirección de Cartografía y Presentación, **Mapa de carreteras de Morelos.** 1999 .

López Ramos, E 1969, **Geología de México.** 2ª Ed. Edición escolar .Tomo III

Ordoñez, M. J. y O. Flores. **Áreas naturales protegidas en México.** Pronatura. México. 1995.

Periódico oficial "Tierra y libertad", órgano del gobierno del estado libre y soberano de Morelos, Director: Víctor Manuel Saucedo Perdomo, Cuernavaca Morelos, a 21 de junio del 2000, 6ª época 4061, paginas 13-36.

Secretaría de Economía (antes SECOFI), **Sistema de información comercial de México (SICM).**

Vizcaino Limón Jorge de Jesús, **Explotación del Yacimiento de Travertino de San Martín Esperilla, Puebla, Puebla.** Tesis Profesional ingeniero de Minas y Metalurgista. UNAM Facultad de Ingeniería.2003

Sitios web consultados:

<http://www.economia.gob.mx/?P=1809>

<http://www.coremisgm.gob.mx/inicio.html>

<http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.asp>

<http://www.sas-sa.com/prese.htm>

www.interceramic.com/mx/es

www.fifomi.gob.mx

www.ilva.com.ar/productos/marmol/colocacion

<http://www.graniteland.com/piedra-natural/marmol-granito-por-pais-mexico>

Apéndice 1

Ilustraciones

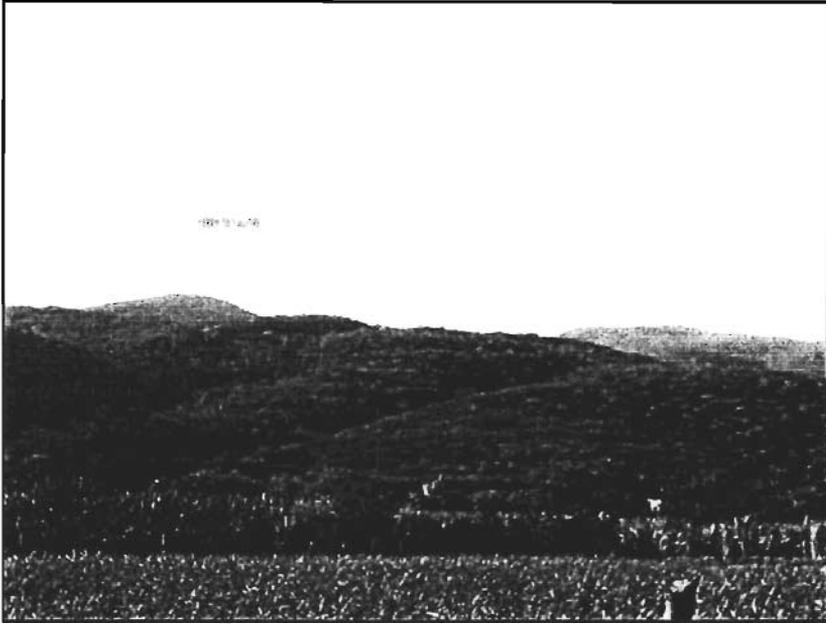


Foto 1. Vista panorámica del área de estudio.



Foto 2. Acceso al área de estudio.



Foto 3. Área donde aflora la caliza recristalizada de color rosa.



Foto 4. Suelo calichoso de color blanco y rosa que cubre a las calizas recristalizadas de color rosa.



Foto 5. Afloramiento de caliza de color gris pardo, en el cerro "el Salitre".



Foto 6. Cueva "el salitre", donde precipita el travertino.

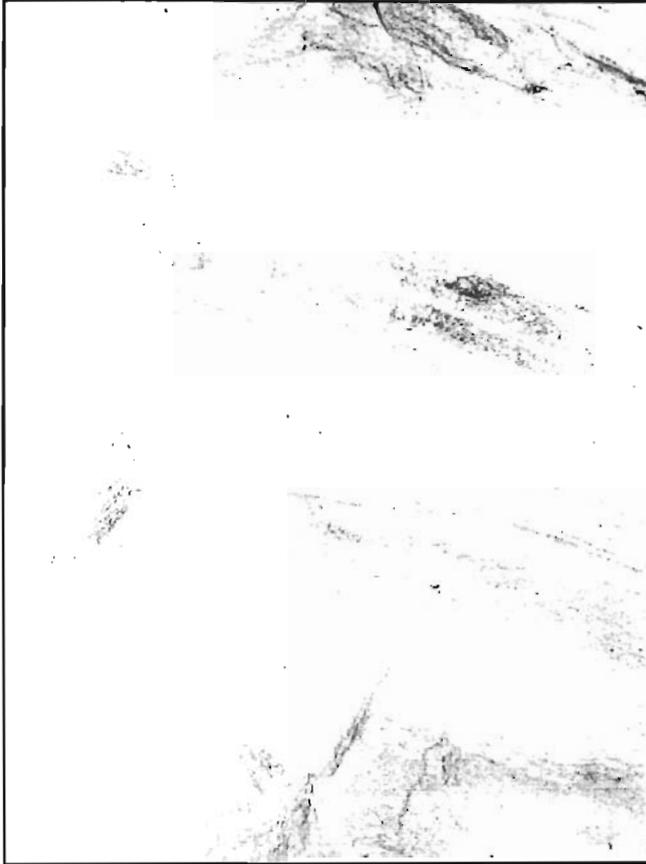


Foto 7. El travertino dentro de la cueva "el Salitre".

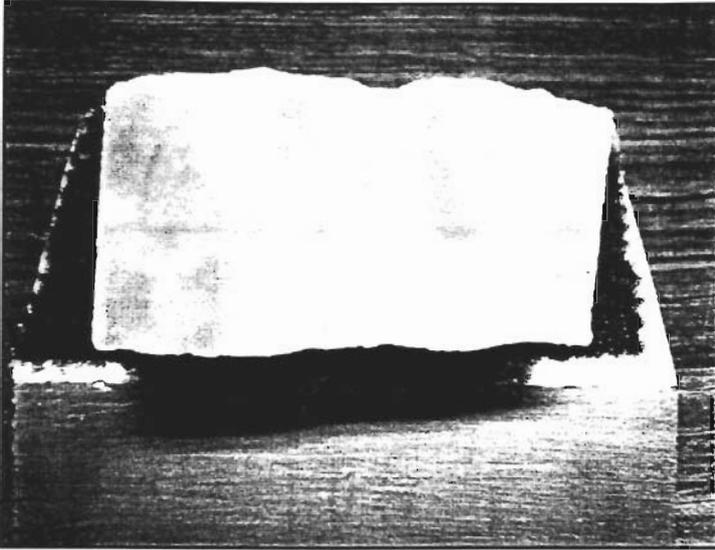


Foto 8. Muestra de travertino de color crema, cortada y pulida.

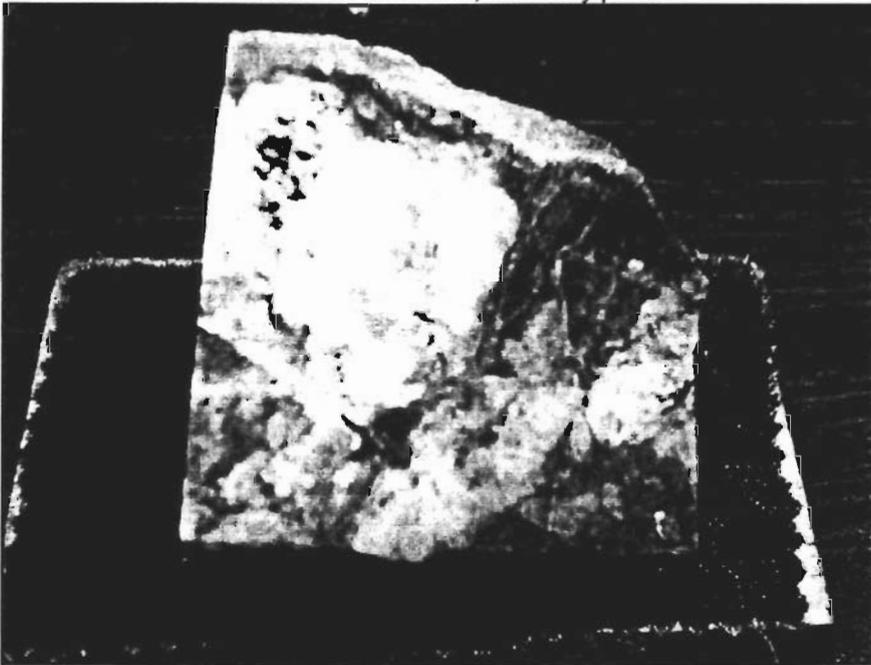


Foto 9. Muestra de caliza recristalizada de color rosa, cortada y pulida.

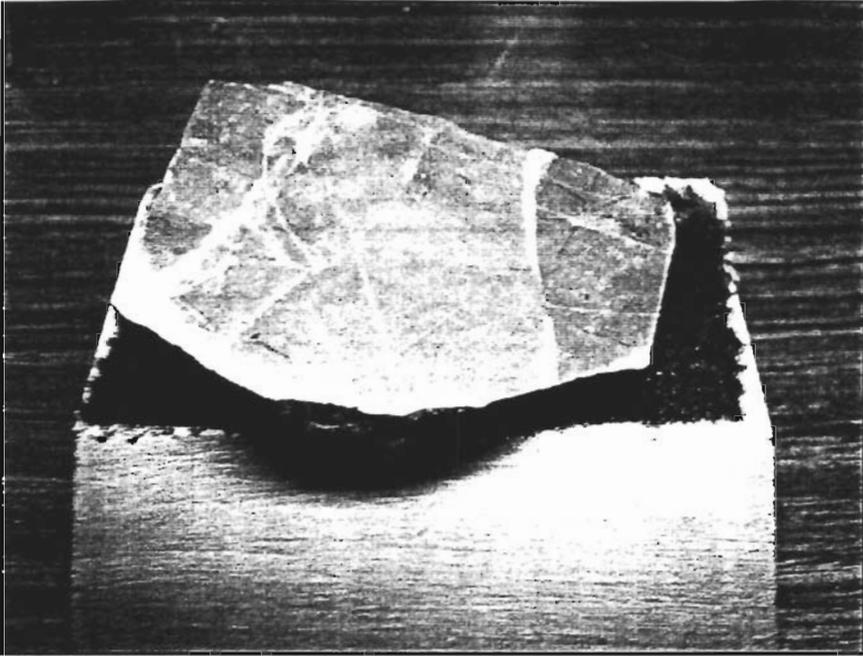


Foto 10. Muestra de caliza recristalizada de color gris, cortada y pulida.

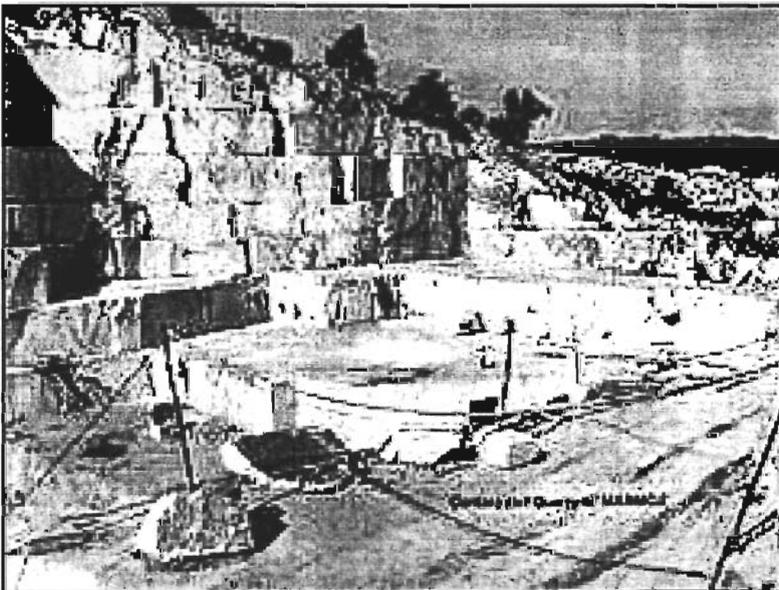


Foto 11. Explotación de un yacimiento de mármol por medio del método hilo diamantado en Europa.

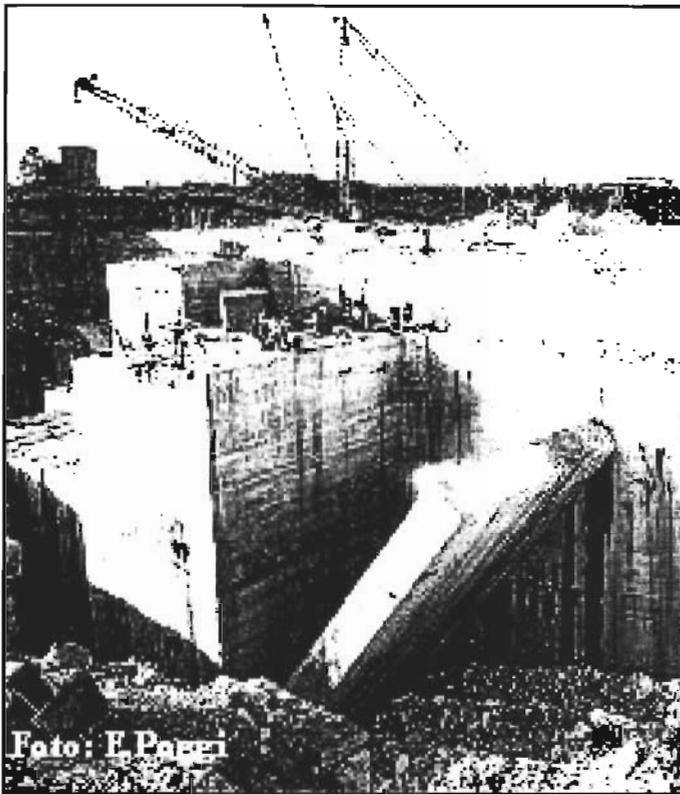


Foto 12. Corte de bloques de mármol, para su beneficio.

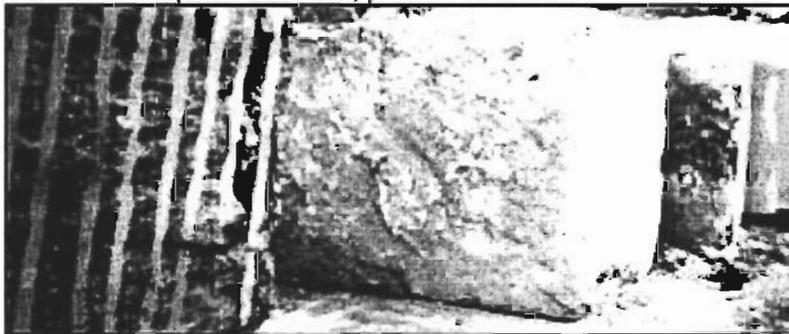


Foto 13. Bloques de mármol, para poder usarse en la maquina cortadora de loseta.

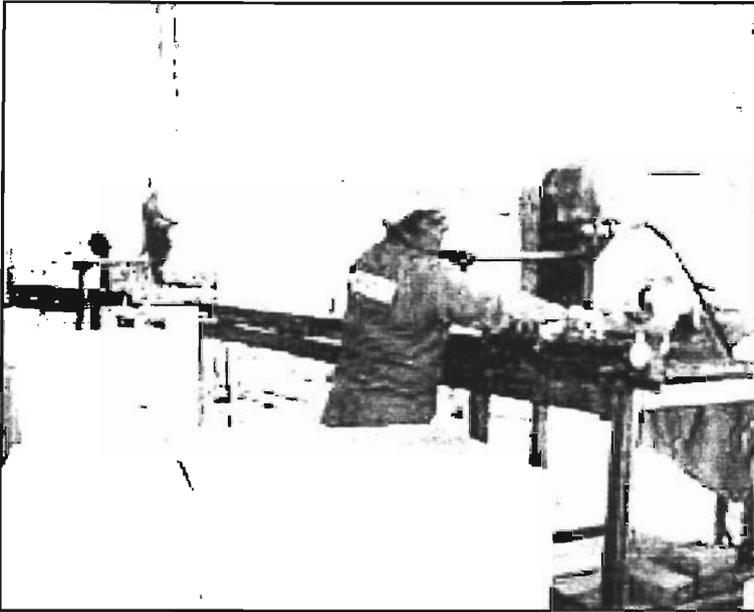


Foto 14. Cortadora de mármol.

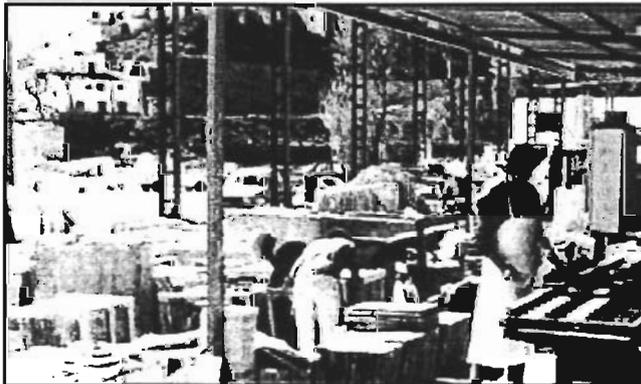


Foto 15. Empaquetado de el producto terminado.



Foto 16. Almacenaje del producto terminado.



Foto 17. Utilización del mármol para pisos.



Foto 18. Utilización del mármol para paredes.



Foto 19. Utilización del mármol para ornamentación.

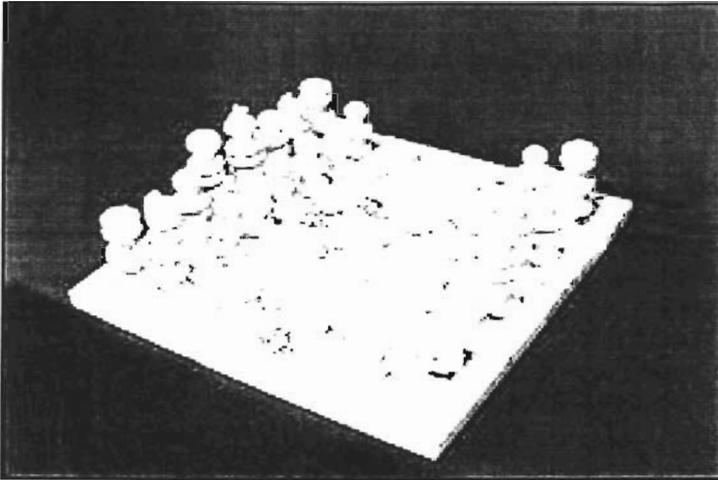


Foto 20. Utilización del mármol para artesanías.

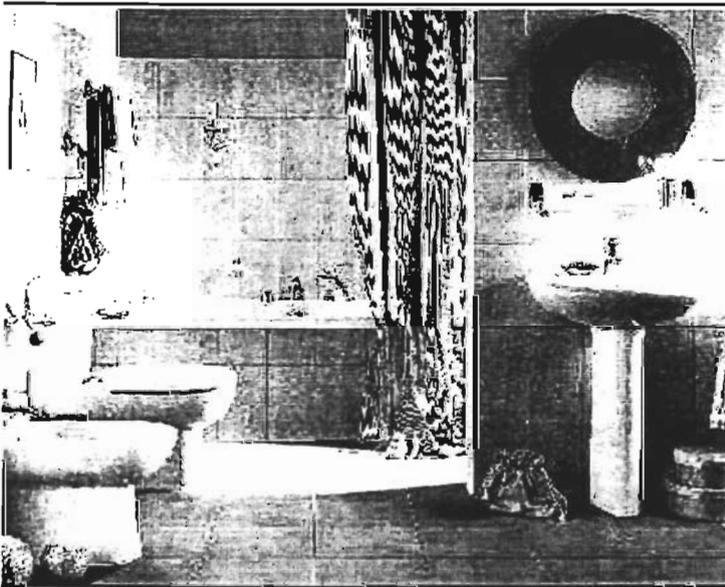


Foto 21. Utilización del mármol para muebles y recubrimientos de baño

Apéndice 2

ANEXOS

PERIODICO  OFICIAL

“TIERRA Y LIBERTAD”

ORGANO DEL GOBIERNO DEL ESTADO LIBRE Y SOBERANO DE MORELOS

Las Leyes y Decretos son obligatorios, por su publicación en este Periódico
 Director: Víctor Manuel Saucedo Perdomo

Publicación Periódica, Permiso Núm. 003 0634, características 134182316. Autorizado por SEPOMEX	Cuernavaca, Mor., a 21 de junio del 2000	6a. época	4661
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------	-----------	------

SUMARIO

GOBIERNO DEL ESTADO

PODER LEGISLATIVO

DECRETO NÚMERO MIL VEINTIUNO.- Se concede JUBILACIÓN vitalicia a la C. CLARA ESPIN OCAMPO. Pág.- 2

DECRETO NÚMERO MIL VEINTIDÓS.- Se concede JUBILACIÓN vitalicia a la C. ELIZABETH MARTÍNEZ PÉREZ. Pág.- 2

DECRETO NÚMERO MIL VEINTITRES.- Se concede pensión vitalicia por edad avanzada a la C. MARÍA GONZÁLEZ HERNÁNDEZ. Pág.- 4

DECRETO NÚMERO MIL VEINTICUATRO.- Se concede pensión vitalicia por edad avanzada a la C. DOMITILA PASTRANA BLANCO. Pág.- 5

DECRETO NÚMERO MIL VEINTICINCO.- Se concede pensión vitalicia por edad avanzada al C. JOSÉ MORÁN RIVERA. Pág.- 6

DECRETO NÚMERO MIL VEINTISEIS.- Se concede pensión vitalicia por edad avanzada al C. LAJRO LÓPEZ BUSTOS. Pág.- 7

DECRETO NÚMERO MIL VEINTISIETE.- Se concede pensión vitalicia por invalidez al C. ISIDRO ORTIZ ROSALINDO. Pág.- 8

DECRETO NÚMERO MIL VENTIOCHO.- Se concede pensión vitalicia por invalidez al C. RAYMUNDO NAJERA MARTÍNEZ. Pág.- 9

DECRETO NÚMERO MIL VENTINUEVE.- Se concede pensión vitalicia por invalidez al C. HERIBERTO RIVERA RECILLAS. Pág.- 10

Fe de Erratas al Decreto Número Novecientos Ochenta y Nueve, publicado en el Periódico Oficial "Tierra y Libertad", de fecha 16 de mayo de 2000. Pág.- 11

Fe de Erratas al Decreto Número Cientos Setenta y Uno, publicado en el Periódico Oficial "Tierra y Libertad", Número 3966 de fecha 17 de febrero de 1999. Pág.- 11

PODER EJECUTIVO

DECRETO.- Por el que se reforman los artículos 2, 7 y la fracción XXIII del artículo 2, se adicionan las fracciones XXIV, XXV, XXVI y XXVII al artículo 8 y se deroga el artículo 10-a, del Reglamento Interior de la Contraloría General de Estado. Pág.- 12

SECRETARÍA DE DESARROLLO AMBIENTAL

Resumen del Programa de Manejo de la Reserva Estatal Sierra Monte Negro, Gobierno de Estado de Morelos. Pág.- 12

INSTITUTO ESTATAL ELECTORAL

Lineamientos Generales de las Encuestas o Sondeos de opinión sobre asuntos Electorales. Pág.- 37

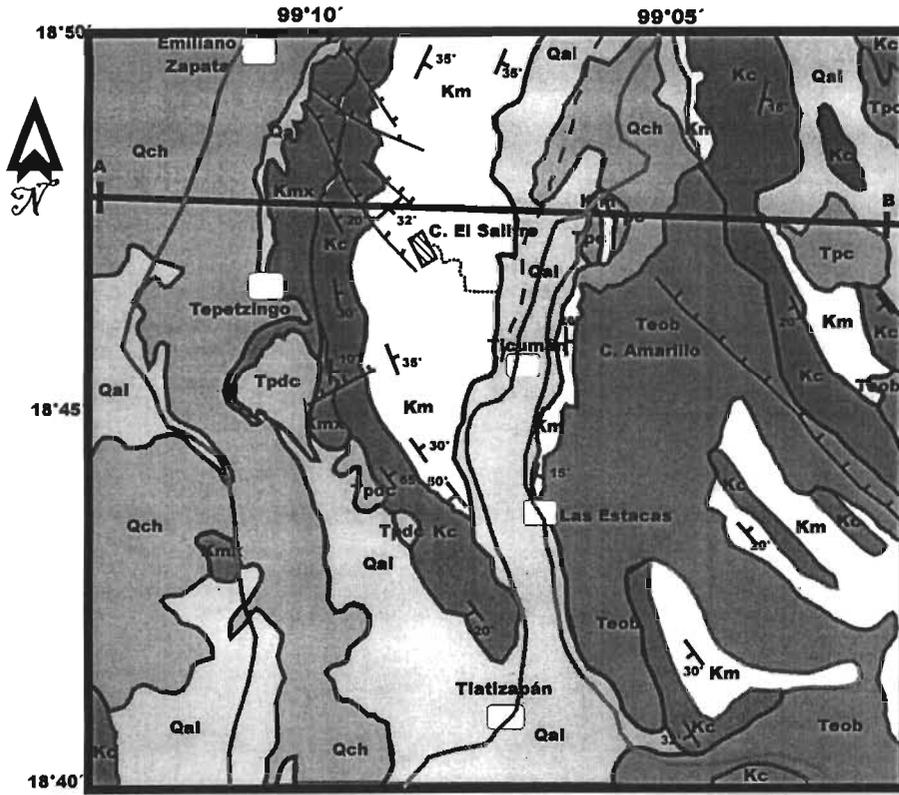
EDICTOS Y AVISOS JUDICIALES

. Pág.- 39

Apéndice 3

Mapas

MAPA GEOLÓGICO



EXPLICACIÓN

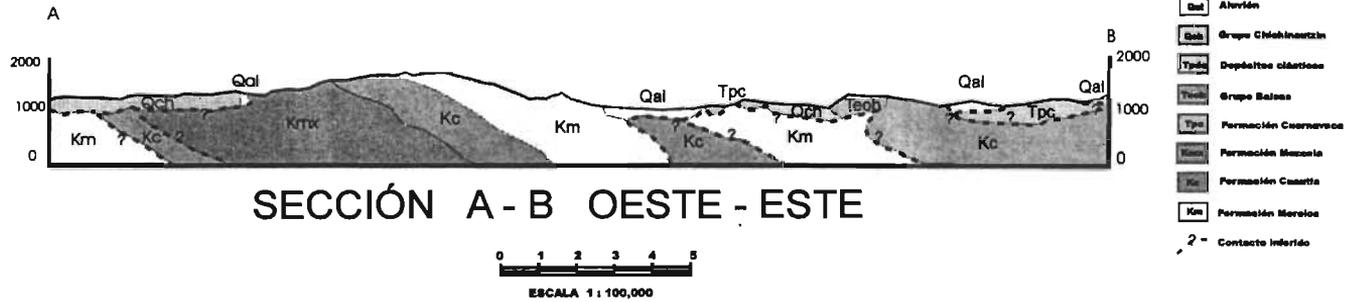
-  Aluvión
-  Grupo Chichinautzin
-  Depósitos clásticos
-  Grupo Balsas
-  Formación Cuernavaca
-  Formación Mezcala
-  Formación Cuautla
-  Formación Morelos
-  Contacto geológico
-  Falla
-  Rumbo y echado
-  Poblado
-  Carretera
-  Río Yautepec
-  Área de estudio

FACULTAD DE INGENIERÍA, U.N.A.M.

JUAN RAYMUNDO CARBAJAL QUIROZ
ISAÍAS LÓPEZ FONSECA

TESIS PROFESIONAL, 2005

SECCIÓN GEOLÓGICA



FACULTAD DE INGENIERÍA, U.N.A.M.

JUAN RAYMUNDO CARBAJAL QUIROZ
ISAÍAS LÓPEZ FONSECA

TESIS PROFESIONAL, 2005