

4



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO GEOLOGICO DE LA ZONA COSTERA
DEL ESTADO DE COLIMA: UNA PERSPECTIVA
AMBIENTAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

GUADALUPE DEL CARMEN ALVARADO ARIAS

DIRECTOR DE TESIS: DR. ARTURO CARRANZA EDWARDS



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D.F.

NOVIEMBRE 2002



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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-633

SRITA. GUADALUPE DEL CARMEN ALVARADO ARIAS
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Arturo Carranza Edwards y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**ESTUDIO GEOLÓGICO DE LA ZONA COSTERA DEL ESTADO DE COLIMA: UNA
PERSPECTIVA AMBIENTAL**

	RESUMEN
I	INTRODUCCIÓN
II	ZONA DE ESTUDIO
III	MARCO GEOLÓGICO
IV	HURACANES
V	RIESGO SÍSMICO
VI	RIESGO VOLCÁNICO
VII	NIVEL DEL MAR Y CAMBIO GLOBAL
VIII	FUENTES ALTERNAS DE MINERALES Y ENERGÍA
IX	CONCLUSIONES
X	RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFÍA

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 13 de mayo de 2002

EL DIRECTOR

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg

PP

Gracias Dios mío, por permitirme el privilegio de nacer, protegerme e iluminarme en todo momento aún cuando creí desfallecer.

Dedico éste trabajo a:

A mis padres Mauro y Myrna, por todo su cariño, amor, comprensión y apoyo incondicional, sin lo cual no hubiera alcanzado ésta meta. Este logro también es de ustedes, gracias por su confianza y espero nunca defraudarlos.

A mi hermano Francisco, quien ha sido mi mejor ejemplo a seguir, por todos sus consejos y por ser antes que nada mi mejor amigo. ¡Te quiero mucho Guigo!

A mis hermanitos Yavé y Ayesha, quienes siempre me han apoyado.

A mis tías y tíos por todo su cariño y sus sabios consejos.

A mis abuelitas donde sea que se encuentren.

A mis amigas Alicia y Selene quienes han estado conmigo en todo momento, me escuchan y regañan cuando es necesario.

A mis amigos de la prepa (Toño, Caro, Paola, Gelsa, Anita y Beto) por brindarme su amistad, permitirme crecer y compartir todos esos buenos momentos con ustedes.

A mis amigas de la Facultad, Amelia, Claudia y Vero porque siempre estuvieron al pie del cañón, apoyándome en todos mis proyectos y cuidándome cuando fue necesario; además, gracias por enseñarme el verdadero valor de la amistad y hacer de mis últimos días en la escuela, aventuras inolvidables.

A mis compañeros y amigos de la Facultad de Ingeniería: Claudia "Foffy", Edith, Enrique, Gerardo, Gonzalo, Héctor, Irasema, Isaías, Igor, Mario, Oscar, etc.

Agradezco al Dr. Arturo Carranza Edwards por su gran disposición, paciencia, consejos y facilidades otorgadas para la realización de éste trabajo.

Al Ing. Alfredo Victoria Morales por brindarme su amistad y transmitirme parte de sus conocimientos.

A los Ings. Héctor Luis Macías González, Alberto Arias Paz y Mayumy Amparo Cabrera Ramírez por los comentarios y sugerencias al presente trabajo.

Al Ing. José Luis Jiménez Mendoza por su apoyo incondicional y sus consejos, los cuales siempre me ayudaron a superarme.

Al Ing. Alberto Herrera Palomo por ser mi amigo sincero y brindarme su gran ayuda a lo largo de mis estudios.

Al Ing. Miguel Ángel Ibarra por su amistad y las facilidades otorgadas, sin su ayuda no hubiera logrado esto.

A la Sra. Julia Palma porque siempre ha estado cerca para escucharme y apoyarme en todos mis proyectos.

A la maestra Ana Martha Yáñez Turcot, por enseñarme mis primeras letras e inculcarme el amor hacia el estudio.

Al Ing. Raúl de la Peña Salazar por transmitirme parte de sus conocimientos, pero especialmente por permitirme conocer su gran calidad humana.

A todos mis profesores de la E.N.P. Plantel # 2 " Erasmo Castellanos Quinto" y de la Facultad de Ingeniería, por los todos los conocimientos y experiencias adquiridas.

Universidad Nacional Autónoma de México, gracias por permitirme el honor de formar parte de tí.

RESUMEN

Esta Tesis contribuye al conocimiento geológico ambiental de la Zona Costera del Estado de Colima, considerando los desastres naturales que han tenido una mayor influencia en el estado, según registros históricos de los principales eventos que han tenido lugar, de tal manera que se puedan sugerir alternativas que pudieran mitigar el daño que producen. Además, se indican los recursos naturales alternos de interés para la región, como es en el caso del enriquecimiento de minerales por procesos naturales. Se eligió el Estado de Colima, porque a pesar de ser un estado con una extensión territorial pequeña, es una región de gran desarrollo económico. El estudio se realiza principalmente a través de la recopilación y análisis de información existente. Los resultados obtenidos permiten señalar que los principales desastres que afectan al Estado de Colima, están constituidos por huracanes, actividad volcánica, terremotos y tsunamis. No obstante, el Estado de Colima, sufrirá los efectos adversos por el calentamiento climático global, ya que el ascenso del nivel del mar afectaría no solo al turismo y a los cultivos de zonas bajas, sino que el riesgo de intrusiones salinas, por la extracción de agua por bombeo, se incrementaría aun mas en la zona costera del estado. El incremento de la población hace que cada día haya una mayor demanda de minerales y energéticos. Dada la importancia de encontrar fuentes alternas de recursos naturales se realizó un estudio petrográfico de sedimentos litorales, con énfasis en la presencia de minerales pesados, en el cual se destacan playas donde existen enriquecimientos minerales que ameritan un posterior estudio hacia partes emergidas o sumergidas, que eviten conflictos en el uso de recursos. Otros recursos de importancia lo constituyen los nódulos polimetálicos y las costras de cobalto en las vecindades del Archipiélago Revillagigedo. Las condiciones naturales de la región, permiten considerar fuentes alternas de energía por oleaje en el litoral colimense y por energía termo oceánica en el Archipiélago Revillagigedo, que es parte del territorio del Estado de Colima.

ÍNDICE

	Pág.
Capítulo I. INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo II. ZONA DE ESTUDIO	
LOCALIZACIÓN.....	3
DIVISIÓN MUNICIPAL Y POBLACIÓN.....	4
VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	5
CLIMA.....	5
VEGETACIÓN Y AGRICULTURA.....	7
HIDROLOGÍA.....	9
FISIOGRAFÍA.....	13
TURISMO.....	18
Capítulo III. MARCO GEOLÓGICO	
SÍNTESIS GEOLÓGICA.....	19
PALEOZOICO.....	19
MESOZOICO.....	20
CENOZOICO.....	23
GEOLOGÍA DEL ARCHIPIÉLAGO DE REVILLAGIGEDO.....	29
MARCO TECTÓNICO.....	30
Capítulo IV. HURACANES.....	33
ALGUNOS HURACANES QUE HAN AFECTADO A EL ESTADO DE COLIMA.....	36
MITIGACIÓN DE DESASTRES OCASIONADOS POR HURACANES.....	43
Capítulo V. RIESGO SISMICO.....	45
DAÑOS QUE OCASIONAN LOS SISMOS.....	48
SISMOS QUE HAN CAUSADO DAÑO AL ESTADO DE COLIMA.....	49
TSUNAMIS QUE HAN AFECTADO LA COSTA DEL ESTADO DE COLIMA.....	53
PREVENCIÓN DE DESASTRES OCASIONADOS POR SISMOS.....	57
PREVENCIÓN DE DESASTRES OCASIONADOS POR TSUNAMIS.....	58
Capítulo VI. RIESGO VOLCÁNICO.....	61
EFECTOS PRIMARIOS POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA.....	64
EFECTOS SECUNDARIOS POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA.....	69
ACTIVIDADES PARA MITIGAR EL RIESGO VOLCÁNICO.....	72

	Pág.
Capítulo VII. NIVEL DEL MAR Y CAMBIO GLOBAL.....	74
CAUSAS DEL CAMBIO GLOBAL CLIMÁTICO.....	76
CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	82
PREVISIÓN DEL IMPACTO POR CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.....	84
MEDIDAS PARA MINIMIZAR EL IMPACTO DEL CAMBIO GLOBAL...	85
 Capítulo VIII. FUENTES ALTERNAS DE MINERALES Y ENERGÍA	
YACIMIENTOS MINERALES METÁLICOS.....	87
YACIMIENTOS MINERALES NO METÁLICOS.....	92
YACIMIENTOS DEL MAR.....	94
ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	98
ENERGÍA EÓLICA.....	98
ENERGÍA DEL MAR.....	99
 Capítulo IX. CONCLUSIONES.....	110
 Capítulo X. RECOMENDACIONES.....	112
 BIBLIOGRAFÍA.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo II. ZONA DE ESTUDIO	
Figura II.1. Localización del Estado de Colima.....	3
Figura II.2. División Geoestadística Municipal.....	4
Figura II.3. Climas en el Estado de Colima.....	6
Figura II.4. Vegetación y Agricultura en el Estado de Colima.....	8
Figura II.5. Regiones y Cuencas Hidrológicas en el Estado de Colima.....	12
Figura II.6. Mapa fisiográfico del Estado de Colima...	17
 Capítulo III. MARCO GEOLÓGICO	
Figura III.1. Columna Geológica Generalizada.....	26
Figura III.2. Mapa Geológico del Estado de Colima	27
Figura III.3. Geología del Archipiélago de Revillagigedo.....	30
Figura III.4. Marco Tectónico del Estado de Colima....	32

Capítulo IV. HURACANES

Figura IV.1. Esquema de la formación de los ciclones..	34
Figura IV.2. Ciclones Tropicales en la Categoría de Huracán que afectaron el Territorio Nacional de 1980 a 2001.....	37
Figura IV.3. Desplazamiento del Huracán Virgil(1- 5/10/92).....	38
Figura IV.4. Curso del huracán Winifred(6- 10/10/92).....	39
Figura IV.5. Avance el Huracán Calvin(4-9/07/93).....	39
Figura IV.6. Trayectoria del Huracán Alma (20- 27/06/96).....	40
Figura IV.7. Curso del Huracán Fausto(10-14/09/96)....	40
Figura IV.8. Desplazamiento del Huracán Hernán (09- 10/96).....	41
Figura IV.9. Trayectoria del Huracán Olaf(26/09- 12/10/97).....	41
Figura IV.10. Desplazamiento del Huracán Greg(5- 9/09/99).....	42
Figura IV.11. Trayectoria el Huracán Norman (20- 22/09/00).....	42

Capítulo V. RIESGO SISMICO

Figura V.1. Patrón global de la actividad sísmica y su relación con los bordes de placas tectónicas..	45
Figura V.2. Localización de Zonas sísmicas en México..	46

Capítulo VI. RIESGO VOLCÁNICO

Figura VI.1. Principales volcanes con actividad reciente	61
Figura VI.2. Flujos de lava antiguos del Volcán de Colima.....	65
Figura VI.3. Alcances distales de los depósitos de caída aérea producidos durante la erupción de 1913	67
Figura VI.4. Fotografía de un flujo piroclástico.....	68
Figura VI.5. Bloque de roca transportado por un lahar.....	70

Capítulo VII. NIVEL DEL MAR Y CAMBIO GLOBAL

Figura VII.1. Aumento de temperatura global.....	75
Figura VII.2. Efecto Invernadero.....	77

Capítulo VIII. FUENTES ALTERNAS DE MINERALES Y ENERGÍA

Figura VIII.1. Ubicación de muestras de arena analizadas petrográficamente.....	89
Figura VIII.2. Localización de sitios potenciales con hidratos de metano y nódulos polimetálicos en el mar.....	97
Figura VIII.3. Conversión Maremotérmica en Ciclo Abierto.....	101
Figura VIII.4. Rectificador Russell.....	105
Figura VIII.5. Pato Salter.....	105
Figura VIII.6. Balsa Cockerell.....	106
Figura VIII.7. Buque Kaimei.....	106
Figura VIII.8. Bolsa de Lancaster.....	107
Figura VIII.9. Boya de Nasuda.....	107
Figura VIII.10. Convertidor de Belfast.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo II. ZONA DE ESTUDIO

Tabla II.1. Extensión Territorial.....	4
Tabla II.2. Tipos de Climas que predominan en el Estado.....	7
Tabla II.3. Agricultura y Vegetación en el Estado de Colima.....	9
Tabla II.4. Regiones y Cuencas Hidrológicas.....	9
Tabla II.5. Fisiografía del Estado de Colima.....	13
Tabla II.6. Principales Elevaciones en el Estado de Colima.....	17

Capítulo IV. HURACANES

Tabla IV.1. Elementos presentes para la formación de un Huracán.....	35
---	----

Tabla IV.2. Escala de Huracanes Saffir-Simpson.....	36
	Pág.
Capítulo VII. NIVEL DEL MAR Y CAMBIO GLOBAL	
Tabla VII.1. Resumen sobre Gases Invernadero.....	78
Capítulo VIII. FUENTES ALTERNAS DE MINERALES Y ENERGÍA	
Tabla VIII.1. Descripción Petrográfica de muestras de arena de algunas playas de Colima.....	90

Capítulo I. INTRODUCCIÓN

México, al igual que el resto del mundo, está interesado en el estudio de los fenómenos que afectan al planeta desde una perspectiva ambiental, las causas que los originan y las medidas de mitigación necesarias para reducir sus efectos.

Al ser un país con gran extensión territorial (1,972,546 km²), presenta condiciones climatológicas, hidrológicas, fisiográficas y de vegetación que varían a lo largo y ancho del país; por ello, los efectos de impacto ambiental son diferentes dependiendo de las características propias de cada región.

El Estado de Colima representa solo el 0.3% de la extensión territorial de la República Mexicana, lo que lo coloca como la segunda entidad más pequeña. Sin embargo, Colima representa una pieza fundamental en el conocimiento de los diversos procesos geológicos, ambientales y antrópicos que ocurren en un sector del país, en el cual las interacciones entre el hombre-naturaleza son de gran relevancia.

En respuesta al crecimiento acelerado de la población mundial, es necesario desarrollar nuevas técnicas que permitan satisfacer las necesidades del hombre en un futuro próximo.

Es por ello, que los objetivos planteados en el presente trabajo son:

1. Contribuir al conocimiento geológico ambiental, de la zona costera del Estado de Colima.
2. Evaluar posibles fuentes alternas de placeres minerales y sus eventuales implicaciones económicas y ambientales.
3. Analizar acciones que permitan mitigar desastres de origen natural o antrópico.

Este trabajo se ha estructurado de forma general en 10 capítulos.

En el Capítulo II se tratan las características geográficas de la zona de estudio, se incluyen algunos datos de población.

El Capítulo III contempla las características geológicas y tectónicas tanto de la porción continental de la entidad colimense, así como de la del Archipiélago Revillagigedo.

Con respecto al capítulo IV, se analizan las causas que originan huracanes y los daños que éstos han ocasionado sobre el territorio colimense; además de las medidas necesarias para reducir al mínimo los efectos de éste tipo de desastres naturales.

En el capítulo V, se estudian los riesgos sísmicos potenciales de la región de estudio, las causas que originan dichos sismos y los efectos que éstos producen. Se realizó una revisión de sismos históricos y formadores de tsunamis que han afectado al estado, se hayan o no originado dentro de su extensión territorial. Además se sugiere la elaboración de planes de prevención y mitigación por sismos y tsunamis.

Durante el capítulo VI, en base a los datos históricos de erupciones del Volcán de Colima, se distinguen los principales riesgos volcánicos latentes en el estado y sus alcances; por lo que se sugieren propuestas con el fin de mitigar el impacto por éste riesgo.

El capítulo VII, trata de conceptos relacionados con el cambio climático global, sus causas y los efectos que se producen en el mundo entero, y con énfasis hacia la zona de estudio; así como de las actividades necesarias para disminuir los efectos adversos.

La temática del capítulo VIII, trata sobre las fuentes minerales existentes en el estado y otras que representan una alternativa potencial; así como fuentes alternas de energía cuya implantación en el estado fuera factible. En este capítulo se encuentra el trabajo de descripción petrográfica de 38 muestras de arena de playas colimenses.

En los capítulo IX y XI se elaboran conclusiones y las recomendaciones sobre los objetivos planteados.

Capítulo II. ZONA DE ESTUDIO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

LOCALIZACIÓN

El Estado de Colima se localiza en la parte occidental de la zona costera del Pacífico Sur mexicano. Sus coordenadas gráficas extremas son entre los meridianos $103^{\circ} 29'$ a $104^{\circ} 41'$ de longitud al oeste de Greenwich y los paralelos $18^{\circ} 41'$ a $19^{\circ} 31'$ de latitud norte. Tiene una superficie de $5,455 \text{ km}^2$ y la extensión de su litoral es de 160 km de longitud (Tamayo, 1990).

Colinda al noroeste y al noreste con el Estado de Jalisco, al sureste con el Estado de Michoacán de Ocampo y al suroeste con el Océano Pacífico (Figura II.1).

Además, al Estado de Colima pertenece el Archipiélago Revillagigedo, llamado también Benito Juárez con una extensión territorial de 205 km^2 (Ayllón, 1992). Éste archipiélago se localiza a 716 km al oeste en línea recta del Puerto de Manzanillo y está formado por las islas San Benedicto, Socorro, Clarión y Roca Partida.

El Estado de Colima representa el 0.3% de la superficie del país (INEGI, 2002).

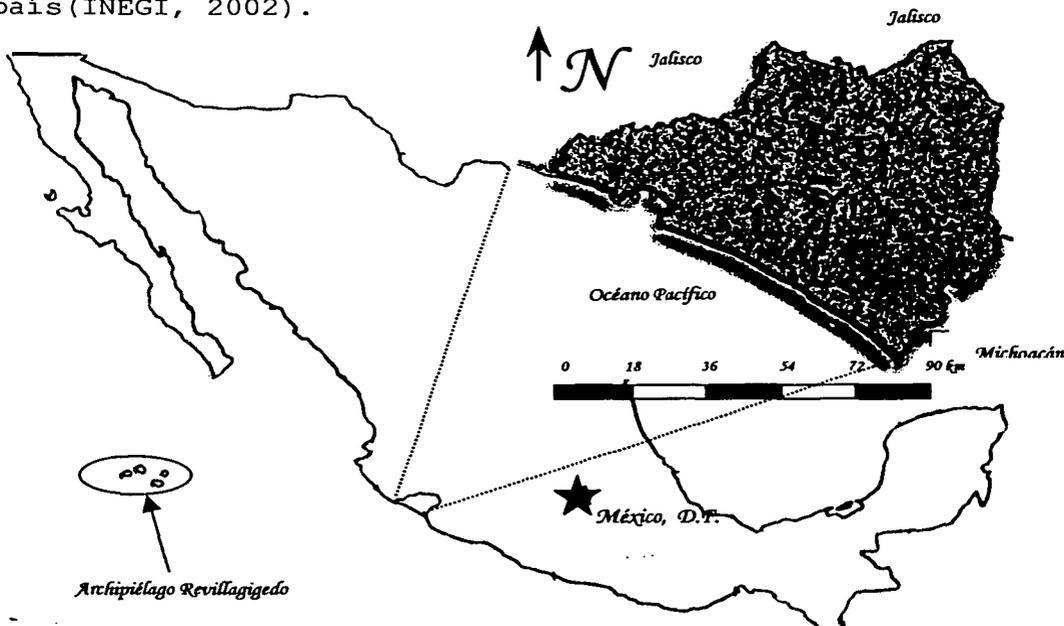


Figura II.1.- Localización del Estado de Colima y Archipiélago Revillagigedo (Basado en INEGI, 2002 y Ayllón, 1992)

DIVISIÓN MUNICIPAL Y POBLACIÓN

La entidad está dividida en 10 municipios; su capital es la Ciudad de Colima y su población es de 540,679 habitantes, 274,237 mujeres y 266,442 hombres; donde el 46.87% de ellos se encuentra entre los municipios de Colima y Manzanillo (Figura II.2 y Tabla II.1).

Tabla II.1.- Extensión Territorial (Modificado de INEGI, 2002)

Municipio	Cabecera municipal	Superficie (km ²)	Poblaciones	Habitantes por km ²
Armería	Ciudad de Armería	341.6	31	51 a 100
Colima	Colima	668.2	105	101 a 200
Comala	Comala	254.1	53	51 a 100
Coquimatlán	Coquimatlán	320.2	30	11 a 50
Cuahtémoc	Cuahtémoc	373.2	38	51 a 100
Ixtlahuacán	Ixtlahuacán	468.7	34	11 a 50
Manzanillo	Manzanillo	1574.4	89	51 a 100
Minatitlán	Minatitlán	214.6	37	11 a 50
Tecomán	Tecomán	807.6	245	101 a 200
Villa de Alvarez	Ciudad de Villa de Alvarez	428.4	32	201 a 500

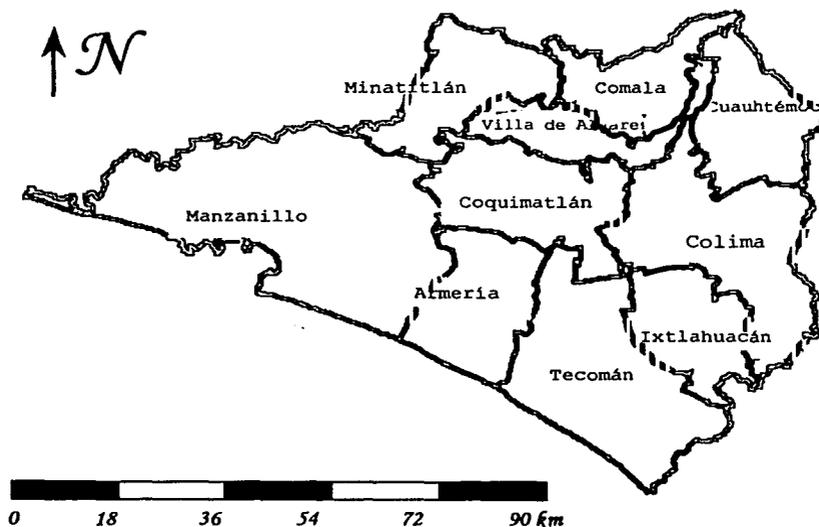


Figura II.2.- División Geoestadística Municipal (Modificado de INEGI, 2002)

VÍAS DE COMUNICACIÓN

De acuerdo con SCT(1997), en el Estado de Colima existen 1973 km de caminos, de los cuales 393.4 km corresponden a la troncal federal pavimentada; 528.2 km a las alimentadoras estatales; 430.1 km a los caminos pavimentados y 98.1 km a los revestidos; y 1051.9 km a caminos rurales, 35.2 km de ellos pavimentados, 84 km de terracería y 932.7 km revestidos.

Las principales vías de acceso son desde la Barra de Navidad a Manzanillo; la de Atenquique, Jalisco a la ciudad de Colima; la de Jiquilpan de Juárez, Michoacán a la ciudad de Colima y la carretera costera del Pacífico entre otras (Guía Roji, 1996)

La comunicación terrestre de Colima se complementa con 192 km de la vía ferroviaria que conecta con la Ciudad de Guadalajara, Jal. y cruza la entidad de noreste a suroeste pasando por las estaciones de Alzada, La Estancia, La Báscula, Tecomán, Armería, Cuyutlán, hasta llegar al puerto de Manzanillo (Álvarez, 2000)

En la región costera a través del puerto de Manzanillo se realiza la comunicación por mar; el cual consta de una superficie de 479 hectáreas, dividida en dos polígonos donde se encuentran patios, bodegas y muelles para manejo de contenedores. Este puerto proporciona servicios de cabotaje y altura para el tráfico carguero (API Manzanillo, 2002).

En cuanto al servicio de aerotransportación, en la entidad hay dos aeropuertos, uno de servicio internacional en Manzanillo con una pista de 2200 m de longitud, otro de servicio nacional en Cuahutémoc, con una pista de 1400 m; también existen cinco aeródromos, tres en Manzanillo y los otros dos en Colima y Comala (INEGI, 1997).

CLIMA

El clima en el estado es diverso. Según INEGI (2002) el clima dominante en el estado es cálido subhúmedo con una temperatura media anual de 23° centígrados y una precipitación media anual de 300 milímetros, el cual se presenta principalmente en la región costera y en las zonas bajas del Valle de Tecomán.

Se presenta clima semiseco en la zona de transición entre la llanura costera y la sierra de la costa de Jalisco y Colima. Presenta una precipitación media anual de 185 milímetros; éste clima se tiene en parte en los municipios de Manzanillo, Tecomán, Colima y Armería. Los climas semicálidos se localizan en las regiones con topografía ascendente.

Los climas templados y semifríos se restringen a un área muy localizada, situada en las partes altas del Volcán de Colima. El clima templado tiene una temperatura media anual de 18°C y una precipitación media de 120 milímetros, que se presenta en áreas restringidas (municipios de Cuahutémoc y Minatitlán). El clima frío y semifrío se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 5° a 12°C y una precipitación media anual de 1350 milímetros el cual se presenta en el Volcán de Colima, en el municipio de Minatitlán y Cuahutémoc (Álvarez, 2000) (Figura II.3).

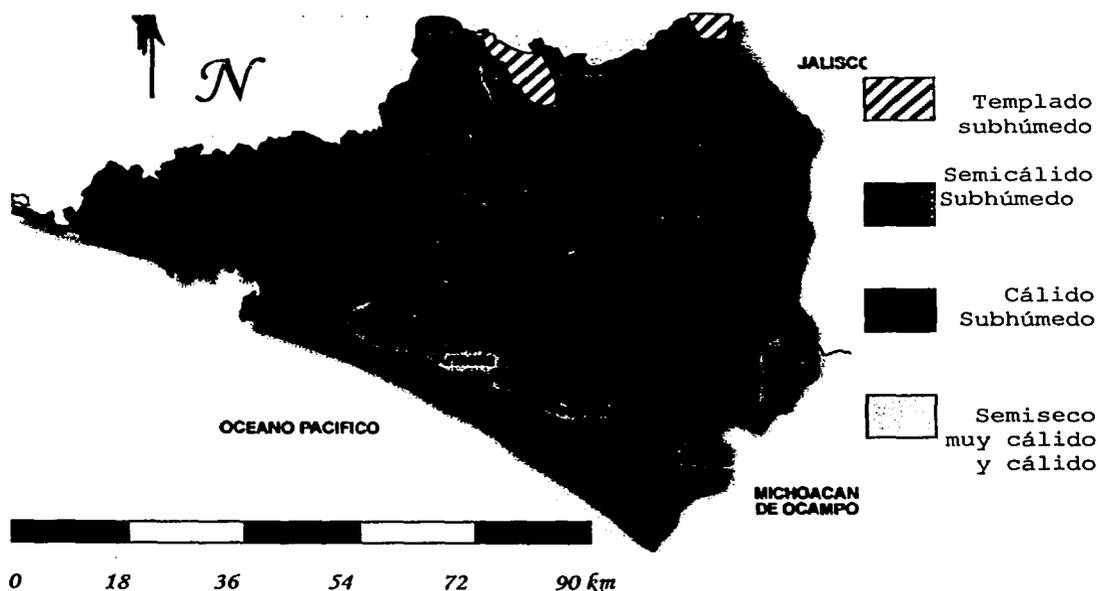


Figura II. 3.- Climas en el Estado de Colima (Modificado de INEGI, 2002).

La información anterior se resume en la Tabla II.2.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla II.2.- Tipos de Climas que predominan en el Estado de Colima (Tomada de INEGI, 2002).

Tipo o subtipo	% de la sup.estatal
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	77.84
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	7.69
Templado subhúmedo con lluvias en verano	1.84
Semiseco muy cálido y cálido	12.63

VEGETACIÓN Y AGRICULTURA

De acuerdo con INEGI(2000), los tipos de vegetación en el estado están bien delimitados, según la fisiografía y las condiciones climáticas existentes. Así se tiene que la entidad está cubierta por tres clases principales de vegetación:

a) En la Subprovincia de los Volcanes de Colima se encuentra en las sierras, bosques de encino (nogal, fresno, encino), selva baja caducifolia (guajes, copal, huizache) y en algunas zonas, matorral subtropical (copal, tepame, guayaba). En los lomeríos y valles, se desarrollan la selva mediana subcaducifolia (huizache, copal, guayaba), la baja caducifolia y el pastizal inducido. El panorama de la agricultura en esta área es bastante alentador; se cultiva maíz, sorgo, caña de azúcar, palma de coco, tamarindo, arroz, jitomate, sorgo, limón y papaya entre otros (Álvarez, 2000).

b) En la Subprovincia de las Sierras de la Costa de Jalisco y Colima existe un predominio de la selva baja caducifolia y la selva baja caducifolia secundaria, también se presentan los bosques de encino y de pino (pino, encino, ocote, pino chino), la selva baja espinosa (copal, vainero), pastizal inducido, el manglar (mangle, mangle blanco, huizache), el palmar (ceiba y copal), así como vegetación de dunas y halófitas (pasto salado o también conocido localmente como vidrio). Los principales cultivos de la subprovincia son: maíz, ajonjolí, sorgo, frijol, sandía, sorgo escobero, tomate, mango, cocotero, plátano, ciruelo, tamarindo, col, pepino, jitomate, guanábana, limón y papaya entre otros.

c) La Subprovincia de la Cordillera Costera del Sur está cubierta por dos tipos de vegetación: la selva baja caducifolia y el pastizal inducido. Además, se encuentran algunos manchones pequeños de selva baja espinosa de tipo sabanoide, situados en el llano de piso rocoso. Los principales cultivos de esta zona son: maíz, frijol, jamaica,

caña de azúcar, limón, tamarindo, papaya y mango (Álvarez, 2000) (Figura II.4 y Tabla II.3).

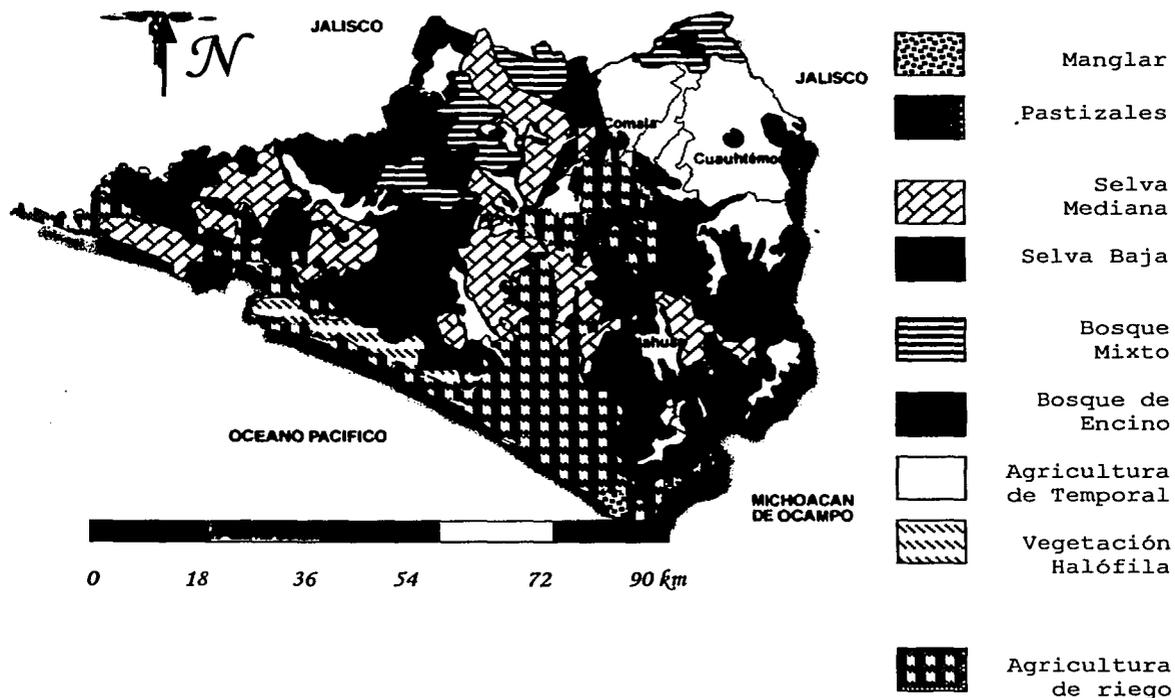


Figura II.4.- Vegetación y Agricultura en el Estado de Colima (Modificado de INEGI, 2002).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla II.3.- Agricultura y Vegetación en el Estado de Colima (Tomada de INEGI, 2002).

Concepto	Nombre científico	Nombre local	Utilidad
Agricultura			
30.71% de la superficie estatal	<i>Zea mays</i>	Maíz	Comestible
	<i>Sorghum vulgare</i>	Sorgo	Comestible
	<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar	Industrial
	<i>Cocos nucifera</i>	Coco	Industrial
Pastizal			
0.18% de la superficie estatal	<i>Acacia sp.</i>	Leguminosa	Forraje
Bosque			
9.94% de la superficie estatal	<i>Quercus magnoliifolia</i>	Encino nopis	Madera
	<i>Quercus castanea</i>	Encino colorado	Madera
	<i>Pinus hartwegii</i>	Pino	Madera
Selva			
55.08% de la superficie estatal	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Cacao	Forraje
	<i>Bursera fagaroides</i>	Copal amarillo	Madera
	<i>Bursera sp.</i>	Copal	Madera
	<i>Lysiloma divaricata</i>	Tepemezquite	Madera
Otro			
4.09% de la superficie estatal	<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle	Madera

HIDROLOGÍA

En el Estado de Colima, hay tres cuencas hidrológicas de aguas superficiales. La porción suroeste del estado, con 1,758.429 Km², queda comprendida dentro de la región hidrológica Costa de Jalisco y el resto del estado con una superficie de 3,784.313 km², se encuentra en la región Armería-Coahuayana (INEGI, 2002) (Tabla II.4 y Figura II.5).

Tabla II.4.- Regiones y Cuencas Hidrológicas (Tomada de INEGI, 2002).

Región	Cuenca	% de la superficie estatal
Costa de Jalisco	R. Chacala-Purificación	31.21
	R. Coahuayana	37.58
Armería-Coahuayana	R. Armería	31.21

Región Hidrológica Costa de Jalisco.

Está constituida por corrientes poco desarrolladas debido a la cercanía de la sierra con la costa.

Se calcula en 3667 km² de superficie, de la cual el 20% pertenece a Colima y el resto a Jalisco, con una descarga media anual de 978 millones de metros cúbicos. En esta región se localiza únicamente una porción de la cuenca Río Cihuatlán-Purificación (CNA, 2002). De las corrientes principales que conforman esta cuenca, una se encuentra en el Estado de Jalisco, en el municipio de Cihuatlán (Río Purificación) y la otra, en su tercio final, constituye el límite austral de Colima con el Estado de Jalisco (INEGI, 2002).

Tiene como subcuencas intermedias a la laguna de Cuyutlán y al Río Cihuatlán o Marabasco.

En esta cuenca no hay almacenamientos superficiales de capacidades considerables. Únicamente hay pequeñas obras que son utilizadas como abrevaderos (INEGI, 2002).

El aprovechamiento actual de esta región hidrológica se hace directamente de los escurrimientos superficiales y de algunas explotaciones del subsuelo (INEGI, 2002).

Región Hidrológica Armería-Coahuayana

Esta región presenta una forma irregular y abarca parte de las cuencas de los ríos Armería y Tuxpan o Coahuayana, que tienen su origen en Jalisco.

La región comprende las porciones norte, noroeste y sureste de la entidad y contiene parte de las cuencas: de los ríos Coahuayana y Armería.

a) La cuenca del Río Coahuayana, Tuxpan y Naranja sirve de límite con Jalisco y Michoacán, conduce un caudal considerable la mayor parte del año, 883 millones de metros cúbicos de escurrimiento medio anual y gasto máximo de 17 metros cúbicos por segundo, ocupa una superficie del 20% de la entidad (CNA, 2002). El Río Coahuayana desde su nacimiento hasta su desembocadura en Boca de Apiza, al norte de la Bahía de San Telmo, recorre una distancia aproximada de 152 km. Tiene como subcuencas intermedias la del Río Coahuayana y a las lagunas Alcuzahue y Amela (INEGI, 2002).

b) La cuenca del Río Armería es una región intermedia entre el Valle de Colima y la costa, comprende parte de los municipios de Coquimatlán, Armería y Tecomán y su superficie es de 1,835.795 Km². El Río Armería, conocido como San Pedro antes de penetrar en el estado, recorre un trayecto de 294 km desde su nacimiento hasta su desembocadura en Boca de Pascuales. Su escurrimiento medio anual es de 1900 millones de metros cúbicos, cuyos afluentes principales son los ríos de la Lumbre, San Palmar, Comala y Colima (CNA, 2002).

Cuerpos de Agua

Las lagunas principales se localizan en la costa: Potrero Grande, Miramar, Achotes, San Pedrito (utilizada para el puerto interior de Manzanillo), Cuyutlán (de 50 km de longitud), Alcuzahue y Amela (Álvarez, 2000).

El único almacenamiento en uso dentro del estado es la laguna de Amela, la cual cuenta con una capacidad útil de 26.009 millones de m³, que irrigan una superficie de 5,557 hectáreas. El mayor beneficio se obtiene de la presa Basilio Vadillo, localizada en el municipio de Ejutla, Jal. y que cuenta con una capacidad de 116.587 millones de m³ que irrigan 12,860 hectáreas (CNA, 2002).

Otras lagunas de menores dimensiones son las que se encuentran en las estribaciones del Volcán de Fuego: Calabozo, Carrizalillo, Jabalí, María Escondida, Cuatas y pastores (Álvarez, 2000).

Aguas Subterráneas

Con base en las rocas y suelos en la entidad, se han establecido cuatro tipos de zonas hidrogeológicas: 1) material consolidado con baja transmisibilidad y almacenamiento (composición arcillosa de unas rocas y escaso fracturamiento de las demás, como rocas metamórficas paleozoicas y rocas intrusivas del terciario), 2) material no consolidado con alta transmisibilidad (suelos aluviales y lacustres del cuaternario, así como conglomerados y areniscas semiconsolidados), 3) material no consolidado con posibilidades medias de transmisibilidad y almacenamiento (aluvión, arenisca-conglomerado, conglomerados poco consolidados del terciario continental), y 4) material no consolidado con posibilidades bajas de almacenamiento y transmisibilidad (conglomerados mal cementados, suelos residuales y aluviales de poco espesor, tobas dacíticas y andesíticas del terciario volcánico) (INEGI, 2002).

Los principales acuíferos subterráneos del estado se localizan a lo largo de la costa, donde los ríos Armería, Salado, Coahuayana, Cihuatlán y otros de menor caudal han acumulado sedimentos deltáicos permeables que reciben buenas recargas debido a la precipitación abundante y a sus propios escurrimientos (INEGI, 2002).

En el Valle de Colima se encuentran materiales con permeabilidades medias, manifestándose en tres zonas que en orden de profundidad son: 1) sedimentos aluviales (arenas, arcillas y gravas) hasta de 40 m de espesor, 2) materiales volcánicos en el fondo del valle con aparentes variaciones y discontinuidades y 3) macizos rocosos constituidos por sedimentos calcáreo-arcillosos fracturados y ocasionalmente bien drenados; por lo que las dos primeras zonas presentan condiciones favorables para la circulación de aguas subterráneas, pudiendo ser susceptibles para la explotación de aguas subterráneas a profundidades del orden de 300 m. En el Valle de Tecomán, también existen condiciones adecuadas para la explotación de aguas subterráneas, pero debido a la cercanía con el mar se corre el riesgo de una intrusión salina (López y Gutiérrez, 1978).

En la porción correspondiente a la Región Hidrológica Costa de Jalisco, se tienen mantos acuíferos de reducido espesor que aunados con otros factores (sensibilidad de los niveles de agua al bombeo y la proximidad del litoral), imponen restricciones a su explotación.

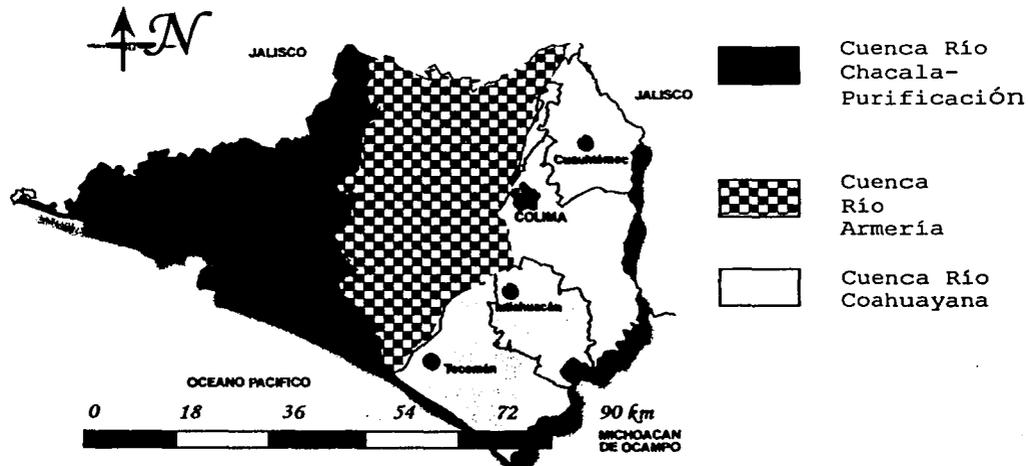


Figura 5.-Regiones y Cuencas Hidrológicas en el Estado de Colima (Modificado de INEGI, 2002)

FISIOGRAFÍA

De acuerdo con la clasificación de las provincias fisiográficas de la República Mexicana, elaborada por el INEGI en 1981, el Estado de Colima pertenece a la provincia de la Sierra Madre del Sur y la provincia del Eje Neovolcánico porción Sur (Tabla II.5 y Figura II.6).

Tabla II.5.- Fisiografía del Estado de Colima (Tomada de INEGI, 2002).

Provincia	Subprovincia	% de la superficie estatal
Eje Neovolcánico	Volcanes de Colima	16.02
Sierra Madre del Sur	Sierras de la Costa de Jalisco y Colima	63.97
	Cordillera Costera del Sur	20.01

Provincia del Eje Neovolcánico

Esta representada en la entidad por la Subprovincia de los Volcanes de Colima. Esta provincia queda comprendida en la zona conocida como Valle de Colima, al norte del estado, y quedan dentro de ella parte de los municipios de Comala, Villa de Alvarez, Colima, una pequeña parte de Coquimatlán, y casi todo el municipio de Cuahutémoc. Ocupa 888.502 km², lo que significa 16.03% de la superficie estatal (INEGI, 2002).

Los Volcanes de Colima, uno apagado y otro activo, conocidos como Nevado de Colima el primero (y que queda dentro de Jalisco) y Volcán de Fuego o de Colima el segundo, son dos de las elevaciones principales en el estado de Colima (Tabla II.6). El Nevado tiene una altitud de 4,240 m y el de Colima de 4,220 m s.n.m. A la entidad corresponde la ladera sur del volcán del mismo nombre dentro del área comprendida entre El Arroyo, La Lumbre en el oeste, y la barranca del Muerto en el este. De este modo las barrancas de San Antonio y Playa de Montegrande quedan dentro del estado (Tamayo, 1990).

Los suelos en la región del Valle de Colima, donde el relieve es un plano inclinado de norte a sur, son, o bien aluviales, o bien derivados de rocas o cenizas volcánicas. Sus texturas son muy diversas y varían desde gruesas o arenosas, hasta muy finas o arcillosas. Los principales suelos en la gran sierra volcánica son andosoles (suelos formados a partir de

materiales ricos en vidrios volcánicos con un horizonte superficial obscuro) y cambisoles húmicos (son suelos jóvenes que debido al grado de alteración en el perfil son fácilmente distinguibles de la roca o material parental que le dio origen). En la sierra de laderas tendidas, dominan los suelos someros, los más profundos son los feozems (suelos de color obscuro y ricos en materia orgánica y bases), también están presentes el regosol eutrítico (suelo constituido de material no consolidado, bien drenado y de textura media) y la rendzina, la cual no ha alcanzado su madurez y cuyo perfil se ha definido por la naturaleza de la roca madre (caliza) que se halla asociada con litosoles, resultantes de la erosión intensa y la actividad volcánica, están prácticamente formados por la roca madre inalterada.

En el lomerío suave con cañadas, que se localiza en las faldas del volcán, se presentan suelos de tipo cambisol, entre los que dominan los húmicos; pero también hay suelos dísticos (infértiles) y feozems de tipo háplico. En el valle de laderas tendidas y meseta lávica predomina el feozem háplico, asociado con vertisol pélico (suelos con más del 35% de arcilla, principalmente de relación 2:1), litosol y feozem calcárico. En el gran llano dominan los feozems háplicos, se encuentran también vertisoles crómicos y pélicos (Garnica, 1998).

Provincia de la Sierra Madre del Sur

Esta representada en la entidad por: a) Subprovincia de las Sierras de la Costa de Jalisco y Colima y b) Subprovincia de la Cordillera Costera del Sur (INEGI, 2002).

a) Subprovincia de las Sierras de la Costa de Jalisco y Colima. La porción que penetra en el estado comprende las zonas conocidas como: la región montañosa occidental, la cuenca del Río Marabasco, el Valle de Armería y la costa. Ocupa el 62.51% de la superficie estatal y abarca completamente los municipios de Armería, Manzanillo y Minatitlán; y partes de los de Comala, Coquimatlán, Tecomán y Villa de Álvarez (INEGI, 2002).

Estas grandes sierras jaliscienses-colimenses están constituidas en más de la mitad de su extensión por enormes cuerpos de granito, ahora emergidos. La emersión de estos batolitos, a la que no son ajenos los movimientos de la Placa de Cocos, habrá involucrado la exposición de rocas asociadas -esquistos y calizas situados principalmente en la región

montañosa occidental- y la asociación posterior con rocas de génesis más reciente, en este caso las lávicas silíceas y otras relacionadas-tobas, basaltos, etc.- que ahora sepulta parcialmente al batolito. Los batolitos integran una sierra de mediana altitud, que se levanta más o menos abruptamente del mar, en la que se han abierto ya amplios valles intermontanos de excavación, todavía con muy escaso relleno aluvial y cuyo drenaje se dirige, en casi todos los casos, hacia el sur, para desembocar en el Océano Pacífico. Además presenta un desarrollo apenas incipiente de los procesos costeros(INEGI, 2002).

La subprovincia se diferencia de otras de la Sierra Madre del Sur por la ausencia de alineamientos estructurales este-oeste, los litorales colimenses presentan llanuras con influencia mixta-aluvial continental y de oleaje marino-, como es el caso también de las costas jaliscienses y la llanura de Tecomán con sus lagunas de litoral. La línea de costa es bastante recta, se extiende al oeste en la delgada barra que encierra a la laguna de Cuyutlán y que limita en su extremo oriental a la amplia bahía de Manzanillo de contorno arqueado. La laguna de Cuyutlán presenta en su extremo oriental un sistema fósil de barras paralelas de formación anterior a la de la barra mencionada. Al occidente de la bahía de Manzanillo hay otra llanura de área modesta y con rasgos deltáicos: la del Río Marabasco.

La subprovincia está representada, dentro del estado por los siguientes sistemas de topofomas: 1)Gran sierra compleja, representada por la cuenca del Río Marabasco; 2)Sierra de cumbres tendidas, se encuentra en la región montañosa occidental; 3)Sierras bajas complejas, se encuentran situadas en la zona de la costa; 4)Sierra baja compleja con lomeríos, se localiza en la región de la costa; 5)Sierras bajas, ubicadas en el valle de Armería; 6)Valle intermontano, localizado en la región montañosa occidental; 7)Valle intermontano con lomeríos, en la depresión del Río Marabasco; 8)Valles ramificados, se localizan en la región del Valle de Armería y parte de la cuenca del Río Marabasco; 9)Llanura costera con delta y llanura costera con laguna costera, ubicadas en la zona de la costa(INEGI, 2002).

1)Gran sierra compleja. En el sistema de topofomas, se presentan suelos de origen residual, poco desarrollados y con texturas arenosas o medias, entre los que domina el regosol eutrítico, suelo derivado de granito, frecuentemente asociado al regosol dístico, litosol, cambisol y feozem(Tamayo,

1990). En 2) sierras de cumbres tendidas dominan los suelos poco profundos denominados rendzinas, frecuentemente asociados a litosoles y regosoles calcáricos y eutrícos. En los sistemas de valles predominan los regosoles y cambisoles asociados a fluvisoles (suelos asociados a depósitos recientes con estratificación clara), planosoles eutrícos (suelos desarrollados generalmente en una posición topográfica horizontal o en una depresión con encharcamiento superficial estacional) y feozems. En 9) llanuras costeras domina el regosol eutríco, asociado a feozems háplicos, litosoles y fluvisoles eutrícos. En las áreas de inundación cercanas a la costa dominan los solonchaks (suelos que muestran un horizonte de acumulación de sales más solubles que el yeso, se presenta dentro de los primeros 100 cm de profundidad) en su fase sódica y los gleysoles (suelos con una saturación temporal o permanente, con agua freática que da un aspecto moteado) en su fase salina, que no permiten el desarrollo de cultivos (Garnica, 1998).

b) Subprovincia de la Cordillera Costera del Sur. La porción colimense se conoce como región del Río Salado y ocupa 16.03% de la superficie del estado, incluye el municipio de Ixtlahuacán, partes de los de Colima y Tecómán, y pequeñas porciones (alrededor del 10% de los de Coquimatlán y Cuahutemoc). La cordillera presenta fundamentalmente dos condiciones: por una parte, sierras de cumbres tendidas, que ocupan prácticamente la mitad de su superficie y no llegan a 2,000 m s.n.m.; y por otra, un importante llano de piso rocoso, algunos valles ramificados y una pequeña zona de lomeríos suaves (INEGI, 2002).

Existen 16 tipos de suelos, de orígenes distintos y reunidos en diversas asociaciones, entre ellos el gleysol mólico, el feozem lúvico y el chernozem cálcico (Garnica, 1998).

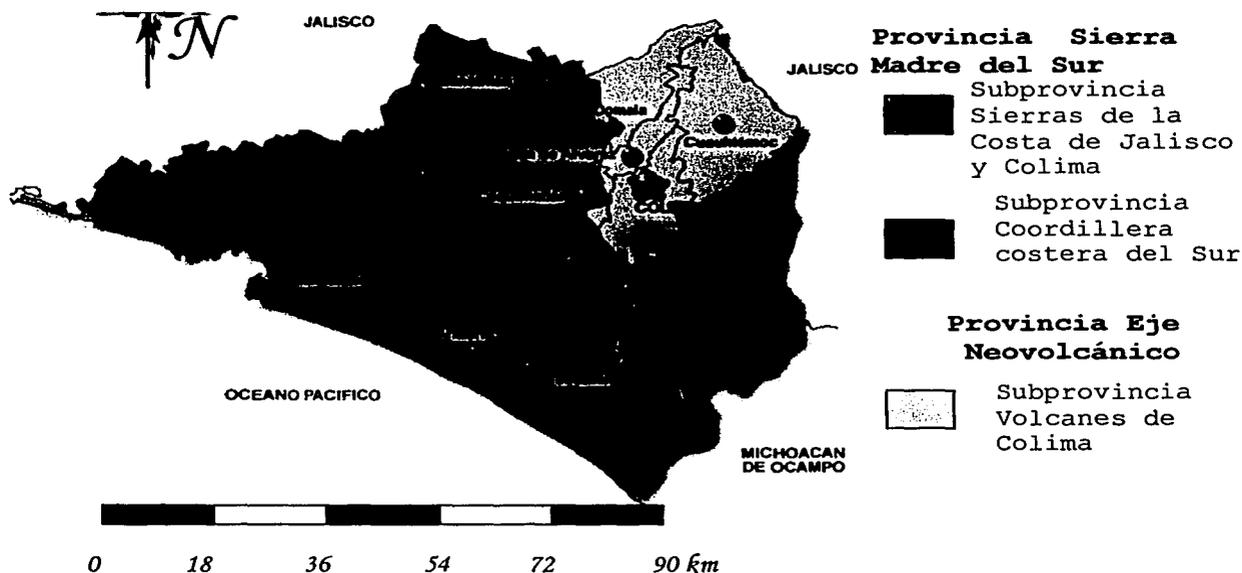


Figura II.6.- Mapa Fisiográfico del Estado de Colima (Modificado de INEGI, 2002).

Tabla II.6.- Principales Elevaciones en el Estado de Colima (Tomada de INEGI, 2002).

Nombre	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud msnm
Volcán de Colima	19°31'	103°37'	3,820
Sierra Manantlán	19°24'	103°54'	2,420
Cerro Grande	19°22'	103°53'	2,220
Cerro El Peón	19°20'	104°02'	2,040
Sierra Perote	19°17'	104°02'	1,940
Cerro La Ocotera	19°15'	104°04'	1,840
Cerro La Piedra Colorada	19°20'	104°00'	1,760
Cerro Espumilla	19°13'	104°09'	1,400
Cerro Alcomún (La Partida)	19°04'	103°49'	1,300
Cerro Volcancillos	19°00'	103°35'	1,300
Cerro La Nancera	19°13'	103°58'	1,040
Cerro de Excaltitán	19°02'	103°57'	360

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TURISMO

En el aspecto turístico destaca Manzanillo con playas como San Pedrito, Playa Azul, Salagua, El Tesoro, La Audiencia, Santiago, Olas Altas, Miramar, Majagua, Playa de Oro y Playa de Cocos. Otros centros turísticos de interés son: Boca de Apiza, situado en la desembocadura del Río Coahuayana; Boca de Pascuales, en la desembocadura del Río Armería, así como la playa El Paraíso y la laguna de Cuyutlán con su balneario, famoso por su "ola verde".

Además de los atractivos costeros, se cuenta con los parajes próximos a los volcanes; el pueblo blanco de Comala; las aguas termales de Agua Caliente, El Hervidero y Chandiablo; zonas arqueológicas como El Chanal, Buenavista, Chapa, Corralitos, La Capacha, Chichihuitlán, Cardona, Juluapan, Las Animas, Las Grutas de Minatitlán, etc.

En el Municipio de Minatitlán también se encuentra la laguna Ojo de Mar y la cascada del Salto, que se destacan por su belleza (Álvarez, 2000).

Sus distintos y variados sitios de interés, sus construcciones civiles y religiosas, sus centros culturales y sus manifestaciones folklóricas y artesanales, hacen de Colima un estado con amplio interés turístico (INEGI, 2002).

Capítulo III. MARCO GEOLÓGICO

SÍNTESIS GEOLÓGICA

Las rocas que afloran en el territorio colimense están representadas por rocas volcanosedimentarias del Cretácico Inferior y Medio, Sedimentarias del Cretácico Medio y Superior, volcánicas del Terciario y Cuaternario y Plutónicas del Mesozoico y Cenozoico. Se han reportado rocas metamórficas de edad Paleozoica en la porción sur y sureste del estado. Estratigráficamente las rocas más antiguas son rocas metamórficas y les sobreyacen rocas volcanosedimentarias del Cretácico Medio (CRM, 1994).

PALEOZOICO

En el Paleozoico Inferior, los océanos Pacífico y Atlántico se encontraban comunicados por diversas partes y la región que corresponde actualmente al Estado de Colima se encontraba sumergida. Durante el Paleozoico superior hubo una emersión de tierras, donde Colima quedó emergida (Ayllón, 1992).

La acción del agua de los océanos, ascendiendo y descendiendo ocasionó la erosión continua por lo que se perdieron los sedimentos y materiales antiguos sobre extensas zonas de la región de estudio.

López Ramos (1979) considera que las rocas más antiguas que afloran en el Estado pertenecen al Paleozoico. De acuerdo a la descripción petrográfica, se clasifican como gneises de biotita y muscovita facies albita-epidota intrusionadas por migmatitas. Los afloramientos de estas rocas son aislados y en forma de ventanas estructurales; están expuestos unos al noreste de Manzanillo a una distancia de 25 km. Se conocen también gneises y esquistos de probable edad Paleozoica en la Mina El Encino en Pihuamo, Jalisco (Pantoja y Estrada, 1986).

El análisis de López Ramos (1979) de las rocas metamórficas en los Estados de Jalisco y Colima, las agrupó como gneis del precámbrico y esquistos y anfibolitas del Paleozoico (Pzmet). Los esquistos son de muscovita, facies esquistos verdes y las anfibolitas son de hornblenda. Estas rocas están expuestas en una franja interrumpida angosta orientada al noroeste en la porción occidental del Estado y a 20 km al noreste de Manzanillo (Figs. III.1 y III.2). Son dos las localidades en donde aflora el Paleozoico colimense, en Las Adjuntas y en Cerro de Ortega (CRM, 1994).

MESOZOICO

A pesar de que durante el Jurásico Superior se produjo una penetración de los mares que ocasionó la formación del Canal de Balsas, el Estado de Colima continuó emergido, mientras que durante el periodo Cretácico Inferior de nuevo quedó invadido por aguas marinas, para quedar a fines del Cretácico Superior emergida nuevamente (Ayllón, 1992).

En Colima, la era Mesozoica comprende ocho formaciones; de la más antigua a la más reciente son: la Formación Alberca, Formación Tecatitlán, Formación Encino, Formación Vallecitos, Formación Madrid, Formación Morelos, Formación Tepalcatepec y Formación Cerro de la Vieja; todas éstas intrusionadas por el batolito del Cretácico Superior (Fig. III.1), denominado de Tomatlán (Ksi) de composición granodiorítica (CRM, 1994).

Las formaciones Alberca, Tecatitlán, Encino (Ki) y Madrid (Km) están expuestas en localidades aisladas localizadas al oriente, centro y norponiente del Estado (Fig. III.2). Estas formaciones sobreyacen en discordancia erosional a rocas del Paleozoico. La Formación Vallecitos tiene una distribución regional amplia y se localiza al oriente y poniente del estado. Las formaciones Morelos, Tepalcatepec y Cerro de la Vieja también tienen una distribución regional amplia; están expuestas al centro y oriente de la entidad (CRM, 1994).

Cretácico Inferior Marino (Kim)

Comprende estratigráficamente a la Formación Alberca (Fig. III.1) conocida como la Unidad Cretácica más antigua en la columna geológica del estado, constituida por areniscas, lutitas físis y calizas arcillosas, aflorantes como ventanas al noreste del poblado de Tepames; su espesor fluctúa entre 110 y 300 m. Infrayace concordantemente a la Formación Tecatitlán y se correlaciona con la Formación San Lucas de la Cuenca de Michoacán (CRM, 1994).

Cretácico Inferior Continental (Kic)

Está representado por la Formación Tecatitlán (Fig. III.1), la cual no aflora en el estado, pero fue cortada por el pozo perforado por PEMEX llamado Colima I, el cual cortó 177 m de espesor de esta unidad. Se localiza en el anticlinal de Jala al sur de Coquimatlán. Se constituye por andesitas porfídicas, tobas y brechas andesíticas, areniscas tobáceas y conglomerados volcánicos. Esta formación infrayace en discordancia a la Formación Madrid (CRM, 1994).

Cretácico Inferior Volcanosedimentario(Kiv)

La Formación Encino(Fig. III.1) representa este sistema y se encuentra constituida por dos miembros; el Inferior formado por una secuencia volcánica y volcanoclástica y el Superior por una secuencia pelítico-calcárea, que en conjunto pertenece a una sucesión volcanosedimentaria. Los afloramientos de ésta formación son escasos y aislados, constituidos por pequeñas ventanas estructurales localizadas en la Sierra de Priscila al oriente del Estado, así como en el área de Armería y la mina Peña Colorada, municipio de Minatitlán al oeste del estado. La localidad tipo de la Formación Encino, se encuentra localizada en la mina El Encino, municipio de Pihuamo, Jalisco. Esta formación infrayace discordantemente a la Formación Vallecitos(Pantoja y Estrada, 1986).

Cretácico Medio Volcanosedimentario(Kmv)

Está representado por la Formación Vallecitos y la Formación Tepalcatepec(Fig. III.1).

La Formación Vallecitos se divide en dos miembros, uno tobáceo y otro calcáreo. El miembro tobáceo se constituye por rocas volcánicas y volcanoclásticas consistentes de andesitas, tobas andesíticas, riolitas e ignimbritas. El miembro calcáreo consiste de calizas arrecifales. La Formación Vallecitos aflora en el área de la mina Peña Colorada, municipio de Minatitlán(López et al., 1973); en la porción suroeste del estado y en la Sierra de Priscila al oriente del estado. Las rocas están expuestas en forma de franjas Norte-Sur en el territorio colimense. El miembro tobáceo está expuesto en el Cerro Rincón del Diablo(Cerro de la Antena) en la carretera Armería-Manzanillo. La Formación Vallecitos tiene un espesor de 300 m y su localidad tipo está en el rancho Vallecitos al oriente de la mina Las Encinas en el municipio de Pihuamo, Jalisco(CRM, 1994).

La Formación Tepalcatepec está dividida en facie terrígena y facie calcárea. La terrígena está constituida por lutitas, limos, areniscas y areniscas tobáceas; la calcárea está constituida por calizas masivas y arcillosas así como dolomitas. Esta formación aflora en el anticlinal de Tepames, cerca de la población del mismo nombre y al norte de Estapilla, municipio de Colima. El pozo Tepames I de PEMEX cortó un espesor de 2395 m de ésta formación(CRM, 1994).

Cretácico Medio Marino (Kmm)

Las formaciones Madrid y Morelos corresponden a este periodo (Fig. III.1).

La Formación Madrid está constituida por calizas delgadas interestratificadas con lutitas fisiles plegadas y cuerpos de yeso en la parte superior de la sección. Los afloramientos son restringidos y aislados; subyace concordantemente a la Formación Morelos. Aflora en la cuenca de Colima al sur de la ciudad de Colima y cubre una superficie de 110 km². La localidad tipo se ubica en el área de Madrid, municipio de Tecomán. PEMEX perforó el pozo Colima I en el área de la estación Jala, cortando 2500 m de espesor de ésta formación (CRM, 1994).

La Formación Morelos se divide en miembro inferior y miembro superior. La litología consiste en calizas y dolomías masivas arrecifales en estratos gruesos para el miembro superior y de cuerpos de yeso y anhídrita para el miembro inferior. Aflora en la cuenca de Colima, en el centro del estado y comprende un área de 390 km². En localidades como Cerro Grande y Cerro Alcomún tiene un espesor de 1300 m. La localidad tipo de ésta formación se ubica en el Estado de Morelos. Ésta formación suprayace en contacto concordante a la Formación Madrid e infrayace en discordancia erosional a la Formación Cerro de la Vieja (CRM, 1994).

Cretácico Superior Continental (Ksc)

La Formación Cerro de la Vieja representa este periodo (Fig. III.1). Se constituye por cuatro unidades: a) conglomerados calcáreos con matriz limolítica, b) conglomerados calcáreos con matriz de lodo calcáreo, c) limolitas y d) areniscas. La formación se encuentra expuesta en los flancos de las sierras que bordean la cuenca de Colima. La localidad tipo se encuentra en el Cerro de la Vieja, municipio de Coquimatlán. De acuerdo con PEMEX, la formación tiene un espesor de 700 m y sobreyace discordantemente a la Formación Morelos. La edad de su formación es del Turoniano-Maestrichtiano (CRM, 1994).

Cretácico Superior Intrusivo (Ksi)

Está representado por el Batolito de Tomatlán. Éste batolito es de composición granítica y granodiorítica con diferenciación magmática de monzonita a diorita. Ha presentado por los menos dos reactivaciones. Por lo general se presenta alterado por la acción física y química. Está

expuesto en forma ovalada al oeste de la entidad en una extensión de 600 km² (Figs. III.1 y III.2). Probablemente es de la misma edad del granito que aflora en Tomatlán, Jalisco, que pertenece al Cretácico-Superior (Grajales y López, 1983). Este granito fue datado por el método plomo-alfa, dando un fechamiento de 315 +/- 35 m.a. (Fries et al., 1962).

CENOZOICO

Durante el Cenozoico Inferior se produjo la mayor actividad orogénica y se inicia una intensa actividad volcánica, que da lugar a la formación del Eje Volcánico Transmexicano, donde la parte norte de la entidad de Colima se encuentra comprendida. Desde el principio del Cenozoico se estableció el litoral del Pacífico de Colima a Oaxaca (Tamayo, 1990). A partir del Cenozoico Superior o Cuaternario, la República Mexicana adquiere su actual configuración (Ayllón, 1992).

Esta era está representada por rocas ígneas intrusivas de composición monzonítica, diorítica y tonalítica, también se encuentran rocas volcánicas y productos piroclásticos pliocénicos derivados del Volcán de Colima. Los materiales más jóvenes son del cuaternario y comprende aglomerados de composición andesítico-basáltico, así como lavas, cenizas, brechas, gravas, limos y arcillas.

Terciario Inferior Intrusivo (Tii)

Se trata de rocas ígneas intrusivas de composición diorítica, monzonítica y tonalítica originadas durante el último evento magmático del Terciario Inferior. Se pueden observar en forma de diques, troncos y diquestratos, al oeste, centro y este del estado (Figs. III.1 y III.2) (CRM, 1994).

Terciario Volcánico

Se divide en rocas del Terciario Medio y del Terciario Superior.

Terciario Medio Volcánico (Tmv)

Esta sucesión de rocas está constituida por traquitas, tobas y brechas andesíticas, andesitas y tobas dacíticas; raras veces estratificadas. Estas unidades litológicas pertenecen a la primera fase del vulcanismo Terciario. Se encuentran expuestas al occidente del estado, en el área de Minatitlán y pueblo Juárez, Colima (Fig. III.2). Cubren a rocas más antiguas como la Formación Vallecitos (Fig. III.1) y en algunos lugares están cubiertas por dacitas y tobas dacíticas (CRM, 1994).

Terciario Superior Volcánico (Tsv)

Está conformado por rocas dacíticas, andesitas y brechas andesíticas, tobas dacíticas, latitas y cuarzolalitas. Afloran en las áreas de Manzanillo, Santiago, al sur del poblado Buenavista, y al norte de la población de Minatitlán (Fig. III.2). Cubren a rocas del Terciario Medio y son cubiertas por depósitos clásticos de la Formación Colima (Fig. III.1).

Según Demant (1978), éstas rocas volcánicas representan la última fase del vulcanismo en el primer periodo de eyección del Terciario Superior.

Terciario Superior Continental (Tsc)

Está representada por la Formación Colima, que está compuesta por los productos piroclásticos del Volcán de Colima durante el Plioceno. Abarca una superficie de 675 km² en el territorio colimense. Los productos piroclásticos son conglomerados y brechas volcánicas, areniscas, areniscas tobáceas, cenizas y derrames ígneos basálticos que descansan en discordancia erosional sobre la Formación Cerro de la Vieja. La Formación Colima está cubierta por depósitos y derrames andesíticos basálticos de la Formación Atenquique (CRM, 1994).

Cuaternario

Comprende al Cuaternario Volcánico, constituido por la Formación Atenquique y al Cuaternario Clástico Continental.

Cuaternario Volcánico (Qv)

Comprende a la Formación Atenquique (Fig. III.1), la cual fue descrita por Mooser y Reyes (1961). Se compone de depósitos volcánicos y sedimentarios con estratificación burda que comprende lahares andesítico-basáltico, cenizas, brechas de explosión y depósitos de avalanchas provenientes de las erupciones pliocuaternarias de los volcanes de Fuego y Nevado de Colima; cuya localidad tipo es el área del poblado de Atenquique. Esta formación está distribuida en la porción norte de Colima, en la periferia del Volcán de Fuego y Nevado de Colima, y en las orillas del Río Naranjo. Los espesores oscilan entre 100 y 200 m. Ésta formación sobreyace a la Formación Colima y está cubierta en algunas localidades por material clástico continental (Fig. III.2). Es correlacionable con los lahares andesíticos-basálticos de la mina El Encino, en Pihuamo, Jalisco.

Cuaternario Clástico Continental(Qal)

Comprende depósitos detríticos en proceso de consolidación que constan de gravas, depósitos de talud, arenas, limos, arcillas y aluviones que en algunas localidades están semiconsolidados por una matriz calcárea(Fig.III.1). El material detrítico más grueso, es el que se encuentra en las laderas de las montañas; hacia los valles y zona costera disminuye la granulometría hasta convertirse en gravas, arenas, limos y arcillas(Fig.III.2)(CRM, 1994).

El material de las playas de la Zona Costera del Estado de Colima consiste de arenas finas de cuarzo, fierro, titanio y zircón que corresponden a un ambiente litoral. Son arenas ferrotitaníferas de color negro debido al contenido de fierro magnético. El litoral costero mide 160 km de longitud con un ancho promedio de playa de 150 m y una profundidad de 5 m. Los ríos Cihuatlán, Armería y Coahuayana depositan en el mar cantos, gravas, arenas, limos y arcillas; forman de éste modo un medio deltáico. La barreras de playa separan las lagunas costeras de Colima con el mar y forman un ambiente lagunar. Estas barreras están constituidas de arena fina, arcillas, limos y material orgánico. Las lagunas que constituyen el medio ambiente lagunar son Cuyutlán y Potrero Grande, que contienen sedimentos fluviales finos(CRM, 1994).

ERA	PISOS	UNIDADES	SIGLAS EN MAPA	SIMBOLOGIA	LITOLOGIA		
CENOZOICO	RECIENTE	ALUVION	Qal		Gravas, arenas, limos, arcillas		
	PLEISTOCENO	FORMACION ATENQUIQUE	Qv		Cenizas, Brechas andesíticas, Andesita, Lava escoriacea, Bombas.		
	PLIOCENO	FORMACION COLIMA XX	Ts		Brechas andesíticas, Arenas, Tobas, Cenizas, Derrames basálticos		
	MIOCENO	ROCAS VOLCANICAS	Tsv		Truquita, Andesita, Toba andesítica y Dacítica, Dacita, Latita, Brechas andesíticas.		
	OLIGOCENO		Tmv				
	EOCENO						
	PALEOCENO	ROCAS INTRUSIVAS				Granitos Granodiorita Monzonita Diorita	
	MAESTRICHTIANO	BATOLITO DE TOMATLAN			Edad de Emplazamiento del Batolito		
	MESOZOICO	CRETACICO SUPERIOR	CAMPANIANO	FORMACION CERRO DE LA VIEJA	Ks		Sedimentos continentales; Conglomerados calcáreos, Limolitas, Arenas.
			SANTONIANO				
CONACIANO							
TURONIANO							
CRETACICO MEDIO		CENOMANIANO	FORMACION TEPALCATEPEC FORMACION MORELOS	Km		Secuencia volcánosedimentaria: bancos de Caliza, Bancos de Caliza masivas arcillosas, Dolomita, Yesos.	
		ALBIANO	FORMACION MADRID FORMACION VALLECITOS				Ki
APTIANO		FORMACION ENCINO	Ki		Secuencia volcánica y volcánoclastica: Basalto, Calizas, Brechas andesíticas, Secuencia Péllica calcárea alternada.		
CRETACICO INFERIOR		BARREMIANO				FORMACION TECALITLAN	
		HAUTERIVIANO				FORMACION ALBERCA XX	
		VALANGINIANO				NO AFLORA	
NEOCOMIANO	BERRASIANO	NO AFLORA			Andesita Periférica, Tobas y Brechas andesíticas arcillosas tabeas y conglomerado volcánico.		
PALEOZOICO SUPERIOR		ESQUISTOS GNEISES Y ANFIBOLITAS			Esquistos y Gneises de Muacavilla en facies de esquistos verdes y anfibolitas.		

NOTA: XX NOMBRE INFORMAL

⊕ LOPEZ RAMOS (1979)

MODIFICADO POR C.R.M. 1992

Figura III.1.- Columna Geológica Generalizada (Tomada de CRM, 1994)

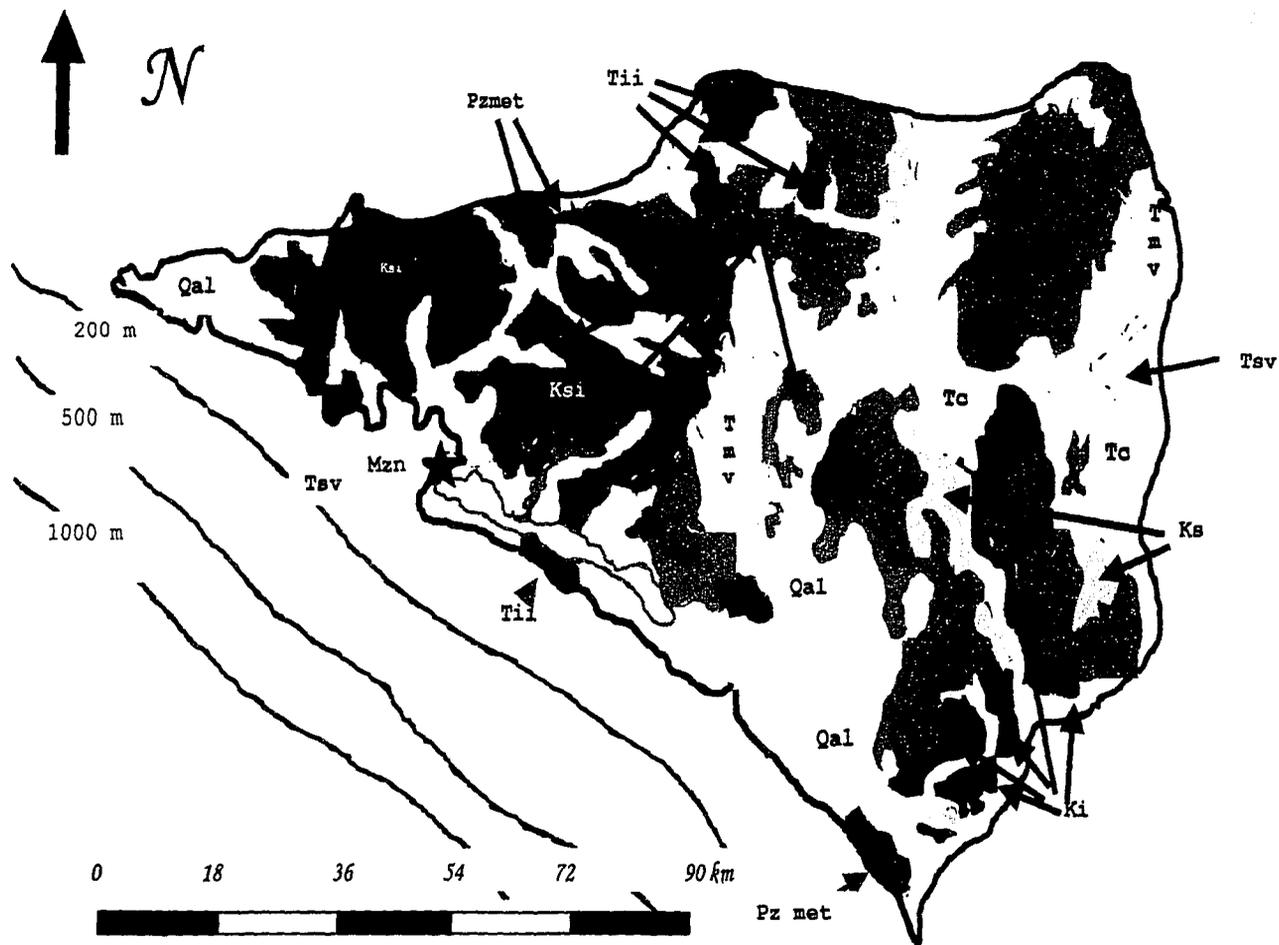
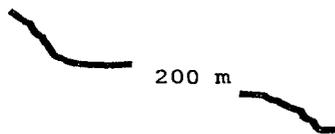


Figura III.2.- Mapa Geológico del Estado de Colima (Basado en Carta Tectónica de México, 1: 2000000 UNAM-INEGI, 1984 y Mapa Geológico del Estado de Colima CRM, 1994).

Explicación de la figura III.2

- Qal** Cuaternario. Gravas, arenas, limos y arcillas.
-  Cuaternario Volcánico. Cenizas volcánicas, escórias, brechas, bombas andesíticas y lavas: Formación Atenquique.
- Tc** Terciario Continental. Brechas andesíticas, areniscas, tobas, cenizas y derrames basálticos. Formación Colima.
- Tsv** Terciario Superior Volcánico. Traquitas, dacitas, tobas dacíticas y andesíticas.
- Tmv** Terciario Medio Volcánico. Tobas y brechas andesíticas, cineritas, dacitas y latitas.
-  Terciario Inferior Intrusivo. Granodiorita, monzonita, diorita y tonalita.
- Ks** Cretácico Superior Continental. Sedimentos continentales, conglomerados calcáreos, limolitas y areniscas: Formación Cerro de la Vieja.
- Ksl** Cretácico Superior Intrusivo. Granito, granodiorita y monzonita: Batolito de Tomatlán.
-  Cretácico Medio Continental y Marino. Secuencia vulcano-sedimentaria: Formación Tepalcatepec y Vallecitos, calizas masivas arrecifales, dolomitas y yesos: Formación Morelos. Calizas delgadas, lutitas y calizas gruesas con amonitas: Formación Madrid.
-  Cretácico Inferior Continental y Marino. Secuencia volcánica y volcanoclástica: Formación Encino. Pórfidos, tobas y brechas andesíticas, arenisca tobácea y conglomerado volcánico: Formación Tecalitlán.
-  Paleozoico Superior. Rocas Metamórficas. Esquistos y gneises de muscovita en facies de esquistos verdes y anfibolitas.



200 m

Curvas Batimétricas

GEOLOGÍA DEL ARCHIPIÉLAGO REVILLAGIGEDO.

La porción occidental del margen continental del territorio de Colima está constituido por las islas Socorro, Clarión, San Benedicto y Roca Partida, localizadas al Oeste a 716 km del Puerto de Manzanillo.

Estas islas se formaron a fines del periodo Terciario con la erupción del Volcán Everman, el cual se encuentra actualmente activo. Este aparato volcánico constituye la isla Socorro; la más grande del Archipiélago. La última erupción importante del Volcán Everman se registró en 1951 (CRM, 1994).

El marco geológico regional (Bryan, 1967), consta de una toba traquítica del Plioceno que subyace a derrames de rocas traquíticas y sobreyacen a éstas rocas, basaltos del Volcán Everman en su primera etapa de actividad eruptiva; una segunda etapa de emisión de material piroclástico de composición peralcalina (60% de la superficie centro-meridional de la isla) cubren a las rocas basálticas.

Posteriormente se originó la última fase eruptiva del Volcán Everman, arrojando derrames de rocas de composición traquítica basáltica localizados en la porción sureste de la isla (Bryan, 1967) para culminar con la formación de domos en la parte centro oriental y septentrional de la isla.

Los depósitos piroclásticos están constituidos en la base por tobas y aglomerados líticos y en la parte superior por tobas cristalinas estratificadas y por zonas de intensa oxidación e intemperismo. Los flujos piroclásticos cubren zonas extensas en la porción occidental y oriental en la isla. En estas partes, el espesor de las rocas llega a alcanzar hasta 100 m de potencia.

Los depósitos de ceniza y derrames de lava traquítica-basáltica sobreyacen discordantemente a las secuencias piroclásticas al sureste de la isla Socorro. En éste lugar se encuentran xenolitos gabroides y anortosíticos (Ortega y Sánchez, 1985). La geología regional de la isla Clarión está conformada por rocas que de la más antigua a la más reciente son: basalto de olivino, traquita y basalto, derrames basálticos y diques, cenizas y terrazas marinas.

La composición de las unidades litológicas, así como la edad de la roca más antigua son similares a la reportada en la isla Socorro (Bryan, 1967). La geología de la isla San

Benedicto y Roca Partida es semejante la descrita en la isla Socorro y Clarión (Figura III. 3).

ARCHIPIÉLAGO REVILLAGIGEDO

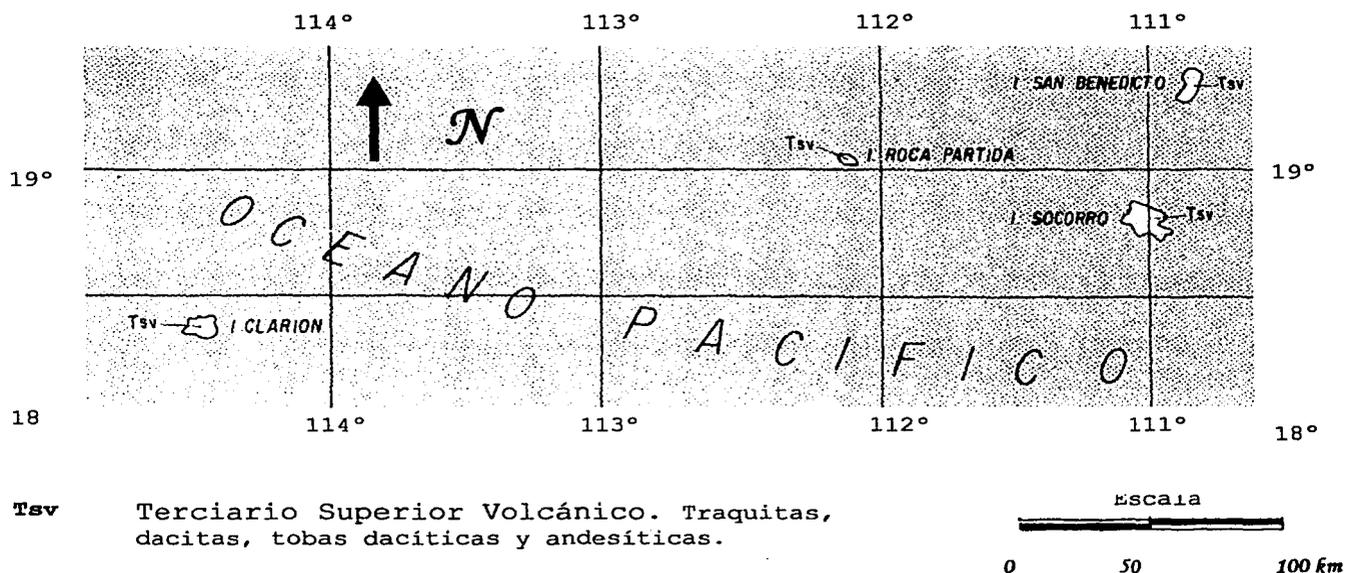


Figura III.3.- Geología del Archipiélago Revillagigedo (Modificado de CRM, 1994).

MARCO TECTÓNICO

La subducción de las placas Cocos y Rivera bajo la placa Norteamericana desde el Plioceno es responsable de la formación del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT), un arco volcánico continental que cruza la parte central de México a lo largo de cerca de 1000 km desde el Golfo de California hasta el Golfo de México y que contiene al menos 11 grandes centros volcánicos que han sido activos desde hace unos 20,000 años.

El vulcanismo en el CVT está caracterizado por una variedad de edificios volcánicos (estratovolcanes, conos monogenéticos,

calderas, domos), estilos de actividad y composición de sus productos, los cuales son generalmente calco-alcalinos.

El complejo volcánico de Colima está localizado en el sector Occidental del CVT en un área llamada Bloque de Jalisco, el cual esta limitado al Norte y al Este por la triple unión continental de tres zonas de rift caracterizadas por fallas normales y bloques con rotación: el rift o graben Tepic-Zacoalco, el rift de Chapala, y el rift Sayula/Norte de Colima y por el Oeste y Sur por la trinchera Mesoamericana (ver Figura III.4). La pared Oeste del graben de Sayula-norte de Colima muestra un relieve de 1,700 m con al menos 700 m de plano de falla expuesto y un relleno sedimentario intra-graben de 1000 m(Allan, 1986).

La mayor parte del Bloque de Jalisco está constituido por el Batolito de Puerto Vallarta(100-75 Ma)el cual ha experimentado una cantidad substancial de levantamiento desde su emplazamiento(Komorowski et al., 1997).

La actividad tectónica extensional en estas zonas de rift que ha existido por al menos 10 Ma. ha dejado un desplazamiento total de 1.5 a 3.5 Km(Allan, 1986), la separación del bloque de Jalisco de la placa Norte Americana y su transferencia hace aproximadamente 14 Ma. a la placa Pacífico(Allan, 1986 y Luhr y Prestegard, 1985) posiblemente en un sentido similar al que pasó durante la formación del Golfo de California. No obstante, en el área del graben de Colima, el espesor de la corteza continental es de entre 30 a 46 Km, no es tan delgada como en las regiones adyacentes (Komorowski et al., 1997).

En el área del Bloque Jalisco, la tectónica extensional se encuentra sobreimpuesta a la tectónica compresional causada por la subducción de la placa Rivera bajo la placa Norteamericana. Actualmente la región del bloque Jalisco se localiza al Oeste de la zona de interacción de las placas Rivera, Cocos y Norteamericana. La placa Rivera es convergente en aproximadamente 2.4 cm/año mientras que en la región del Bloque Jalisco, la parte NO de la placa de Cocos es convergente a una tasa de aproximadamente 4.8 cm/año. La compleja tectónica extensional y compresional de los límites norte y oriental del Bloque Jalisco ha sido responsable por algunos de los mayores sismos registrados en la región de la trinchera Mesoamericana(Komorowski et al , 1997).

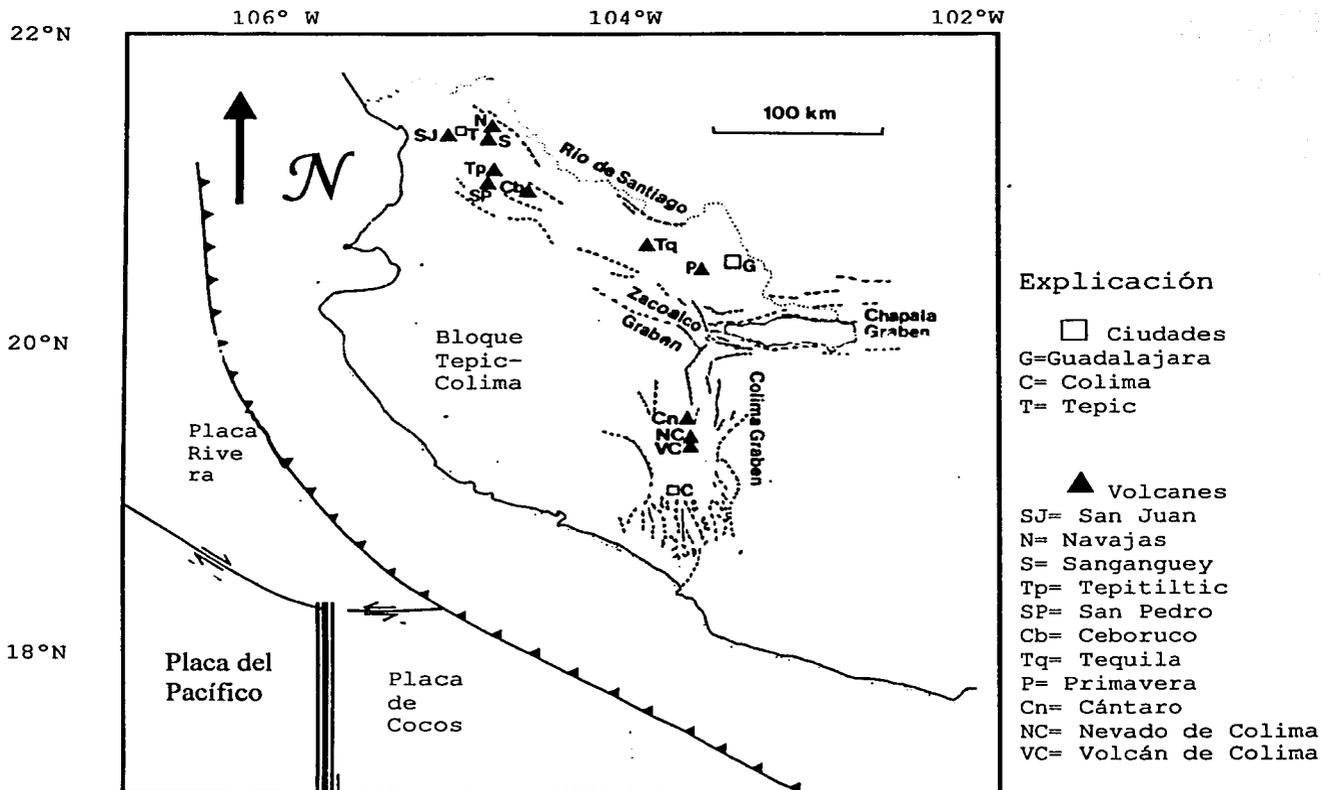


Figura III.4- Marco Tectónico del Estado de Colima (Modificado de Allan, 1986).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo IV. HURACANES

Por la posición geográfica del territorio nacional, sus costas se ven frecuentemente afectadas por ciclones tropicales (SMN, 2002).

Los ciclones tropicales son fenómenos naturales que se originan y desarrollan en mares de aguas cálidas y templadas, con nubes tempestuosas, fuertes vientos y lluvias abundantes (Keller, 1996).

De acuerdo con el Atlas Nacional de Riesgos (DGPC, 1994), un ciclón tropical tiene durante su desarrollo tres etapas principales y en cada una recibe un nombre distintivo.

En su nacimiento se le denomina depresión tropical, y se caracteriza porque sus vientos máximos constantes tienen una velocidad menor o igual que 63 km/h. Posteriormente se le conoce como tormenta tropical, al alcanzar velocidades entre 63 y 118 km/h. En esta etapa se le asigna un nombre por orden de aparición anual y en términos alfabéticos, de conformidad con una lista de nombres predeterminados anualmente por el comité de Huracanes de la Asociación Regional IV de la Organización Meteorológica Mundial.

La tercera etapa se alcanza cuando la velocidad del viento llega a los 119 km/h o más y es entonces cuando se denomina propiamente huracán (CENAPRED, 1994).

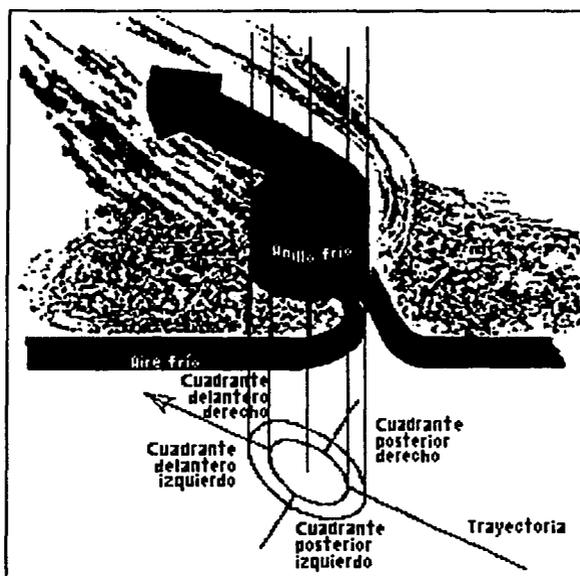
El término "huracán" tiene su origen en el nombre que los indios mayas y caribes daban al dios de las tormentas. A éste fenómeno meteorológico se le conoce en la India con el nombre de "ciclón", en las Filipinas se le denomina "baguio", en el oeste del Pacífico norte se le llama "tifón", y en Australia "Willy-Willy" (Encarta, 2000).

Los huracanes son una combinación notablemente complicada de procesos mecánicos, con procesos mixtos de temperatura y humedad. En estos procesos físicos se tienen interacciones de los sistemas nubosos con los océanos y con las superficies terrestres sobre las que se mueven estos ciclones tropicales. (Semarnat, 2002).

En forma sencilla, un huracán es un viento muy fuerte que se origina sobre los océanos ecuatoriales cuando el sol calienta masas de aire llenas de humedad (SVM, 1996). Estas masas se elevan al calentarse y el aire que les rodea inicia un

movimiento de giro en forma de remolino alrededor de un centro de baja presión, llamado ojo del huracán.

Este centro se desarrolla cuando el aire cálido y saturado de las zonas de calmas ecuatoriales se eleva empujado por aire frío más denso (Fig. IV.1). Desde el borde de la tormenta hasta su centro, la presión atmosférica cae bruscamente mientras que la velocidad del aire aumenta. Los vientos alcanzan una fuerza máxima cerca de los puntos de baja presión (en torno a 724 mm de mercurio o 0.85 atmósferas). El diámetro del área cubierta por vientos destructivos puede superar los 250 km. Los vientos menos fuertes cubren zonas con un diámetro medio de 500 km (Encarta, 2000).



CELIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura IV.1.- Esquema de la formación de los ciclones (Tomada de Semarnat, 2002).

Para que se formen los huracanes es necesario que existan los factores que se resumen en la Tabla IV.1.

Los huracanes acarrearán humedad en enormes cantidades y al tocar áreas pobladas, generalmente causa daños importantes o incluso desastres (Semarnat, 2002).

Estos vientos giran en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en el sentido opuesto en el hemisferio sur (Semarnat, 2002).

Los ciclones se forman y se intensifican cuando están situados sobre océanos tropicales o subtropicales en ambos hemisferios, en donde la fuerza de rotación de la tierra (Coriolis) es suficientemente fuerte para que se inicie el movimiento de rotación alrededor del centro de baja presión y cuyas temperaturas de agua a nivel de la superficie son de 27°C o más cálidas (Semarnat, 2002).

Tabla IV.1.- Elementos presentes para que se forme un huracán (Villavicencio, 2002)

Temperatura superior a los 27°C:	A esa temperatura, el agua del océano se está evaporando al nivel acelerado requerido para que se forme el sistema. Es ese proceso de evaporación y la condensación eventual del vapor de agua en forma de nubes el que libera la energía que le da la fuerza al sistema para generar vientos fuertes y lluvia. En las zonas tropicales la temperatura es normalmente alta, por lo que constantemente origina el segundo elemento necesario;
Humedad	El huracán necesita la energía de evaporación como combustible, por lo que debe haber mucha humedad, la cual ocurre con mayor facilidad sobre el mar, de modo que su avance e incremento en energía ocurre más fácilmente, debilitándose en cambio al llegar a tierra firme.
Viento	La presencia de viento cálido cerca de la superficie del mar permite que haya evaporación y que comience a ascender, originándose una presión negativa que arrastra al aire en forma de espiral hacia adentro y arriba, permitiendo que continúe el proceso de evaporación. En los altos niveles de la atmósfera los vientos deben estar débiles para que la estructura se mantenga intacta y no se interrumpa este ciclo.
Giro "spin"	La rotación de la tierra eventualmente le da movimiento en forma circular a este sistema, el que comienza a girar y desplazarse como un gigantesco trompo. Este giro se realiza en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en sentido favorable en el hemisferio sur.

La fuerza de un huracán se evalúa con la Escala de Huracanes Saffir-Simpson(Tabla IV.2), con categorías entre 1 y 5.

Tabla IV.2.- Escala de Huracanes Saffir-Simpson(Tomada de Semarnat, 2002)

Categoría	Vientos en km/h
Uno	119-153
Dos	154-177
Tres	178-209
Cuatro	210-249
Cinco	Mayor que 250.

Un huracán mide normalmente entre 8 y 10 kilómetros de alto y de 500 a 1000 km de ancho, pero su tamaño puede variar considerablemente. Los huracanes más pequeños pueden medir sólo 40 km de diámetro y los más grandes entre 600 y 800 km. Los huracanes más gigantescos se forman en el Océano Pacífico y pueden medir hasta 1,700 km de diámetro. El ojo de un huracán mide generalmente entre 25 y 35 km, aunque puede variar mucho. El ojo de los huracanes del Pacífico, donde los ciclones tienen más agua que recorrer antes de tocar tierra, tiende a ser de los más grandes del mundo, con un diámetro aproximado de 80 km(Villavicencio, 2002).

En general, los huracanes se desplazan en una trayectoria con forma de parábola(Encarta, 2000).

Durante los desastres por huracanes hay vientos fuertes e inundaciones provocadas por el desborde de ríos que resultan de la intensa precipitación. Usualmente causan más muertes y destrucción que el viento y los oleajes por tormentas(Keller, 1996).

La mayoría de los huracanes se forman en las zonas de calmas ecuatoriales, un cinturón estrecho entre los 8° Norte y 15° al Sur del Ecuador, caracterizado por vientos suaves, brisas leves y variables y chubascos frecuentes, que se sitúa entre los vientos alisios del noreste y los del sureste. En el Pacífico hay calmas al norte y al sur del ecuador, por lo tanto hay huracanes en el Pacífico Sur y Norte(Keller, 1996).

El territorio mexicano está expuesto a huracanes y el Estado de Colima no está exento a verse afectado por éste tipo de fenómenos(Figura IV.2.) (SMN,2002).

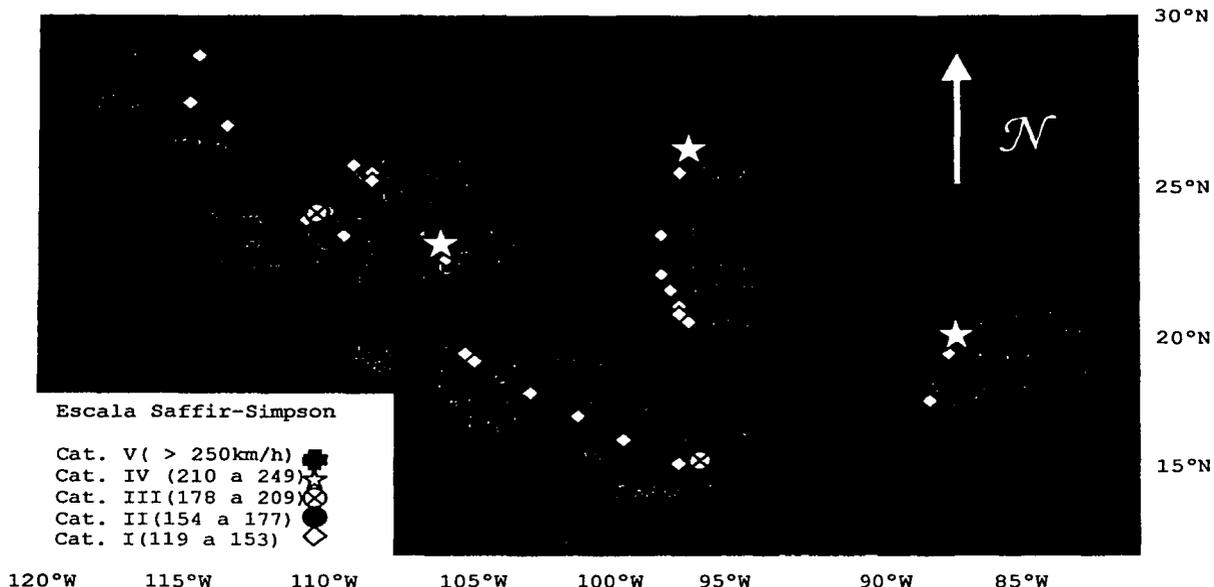


Figura IV.2.- Ciclones Tropicales en la Categoría de Huracán que afectaron el Territorio Nacional de 1980 a 2001(Modificada de CNA-SMN, 2002)

ALGUNOS HURACANES QUE HAN AFECTADO AL ESTADO DE COLIMA

14 de Noviembre de 1573. El Ciclón que azotó a las costas del estado ocasionó el derrumbe de la iglesia mayor de la Villa de Colima(Álvarez, 2000).

1626 y 1778. Ciclones que ocasionaron severos daños en la entidad, ocasionando éste último que el Río de Colima, cambiara su cauce al del arroyo de Pereyra(Álvarez, 2000).

1812 y 27 de Octubre de 1881. Arribaron a las costas de Manzanillo dos devastadores huracanes(Lancín y Carranza, 1979).

27 de Octubre de 1959. Un huracán, sin nombre azotó Playa de Oro, Colima con vientos de 220 km/h(Categoría 4); que fue uno

de los 7 huracanes más intensos que han azotado al estado desde 1949 hasta 1996(Semarnat, 2002).

Agosto de 1981. El Huracán Irwin con vientos de 56 km/h, ocasionó una intensa precipitación pluvial de 273 mm en 24 horas en Manzanillo, Colima(SMN, 2002).

1 al 5 de Octubre de 1992. El Huracán Virgil, golpeó las costas de la entidad con vientos de 195 km/h que lo clasifican como Categoría 3(SMN, 2002). Su trayectoria se observa en la figura IV.3.

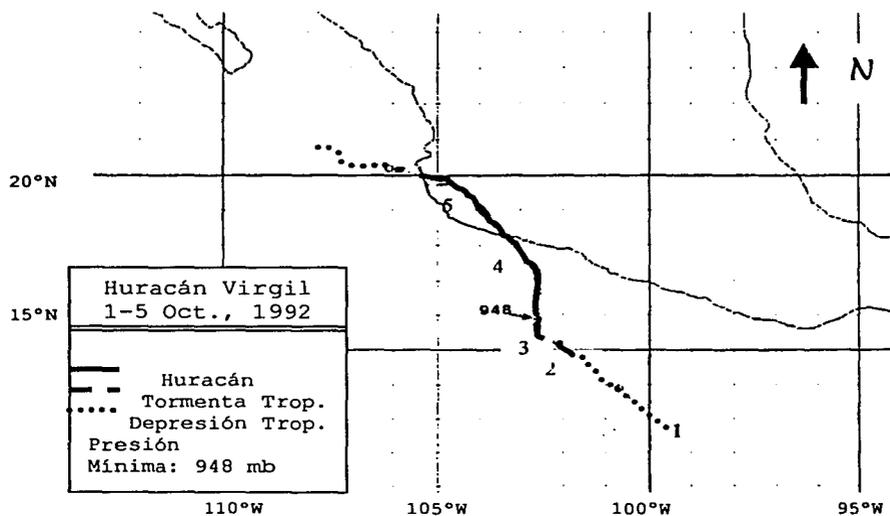


Figura IV.3.- Desplazamiento del Huracán Virgil, del 1 al 5 de Octubre de 1992 (Modificada de NOAA, 2002)

7 al 10 del Octubre de 1992. El Huracán Winifred causó daños en Cuyutlán con vientos de 160 km/h(Categoría 2), presentándose la mayor precipitación pluvial en La esperanza, Colima, siendo ésta de 140 mm en 24 h(SMN, 2002). El desplazamiento del Huracán Winifred se muestra en la figura IV.4.

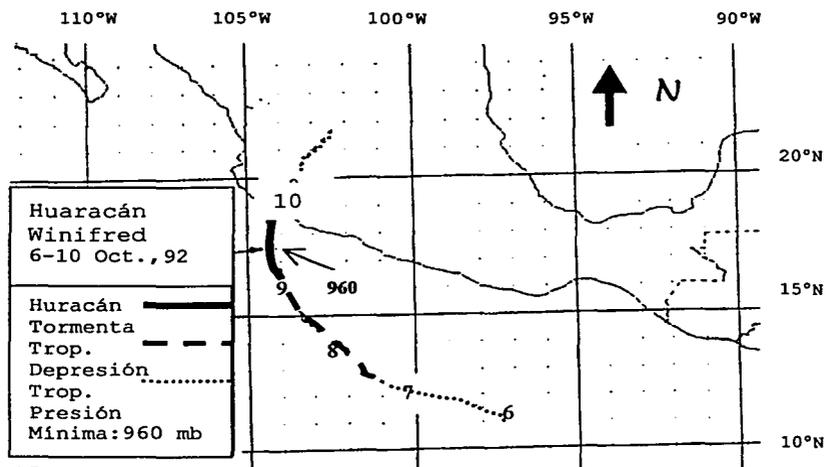


Figura IV.4.- Curso del Huracán Winifred, del 6 al 10 de Octubre de 1992 (Modificada de NOAA, 2002)

Julio de 1993. El Huracán Calvin afectó fuertemente a Manzanillo, Colima con vientos de 166 km/h perteneciendo a la Categoría 2 (SMN, 2002). Se observa su trayectoria en la figura IV.5.

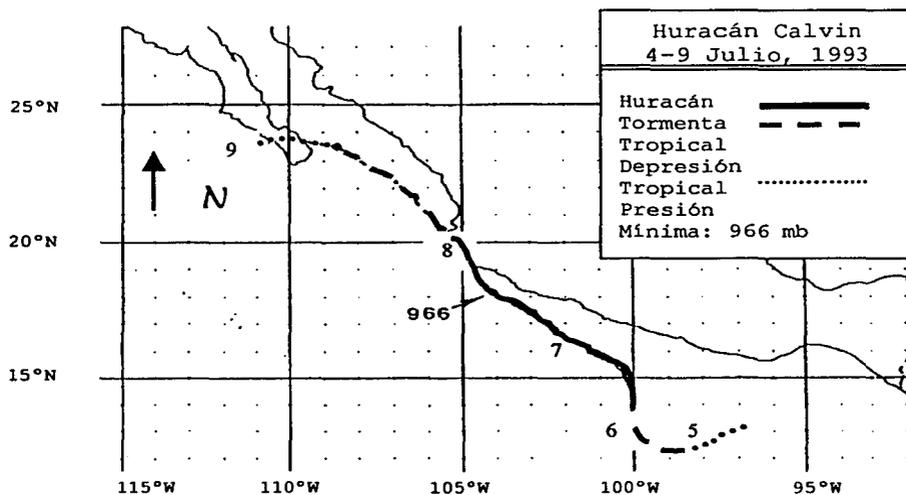


Figura IV.5.- Avance del Huracán Calvin del 4 al 9 de Julio de 1993 (Modificada de NOAA, 2002)

Junio de 1996. A fines de éste mes, el Huracán Alma con vientos de 160 km/h (Categoría 2) afectó las costas del estado de Colima (SMN, 2002). El avance de éste huracán se observa en la figura IV.6.

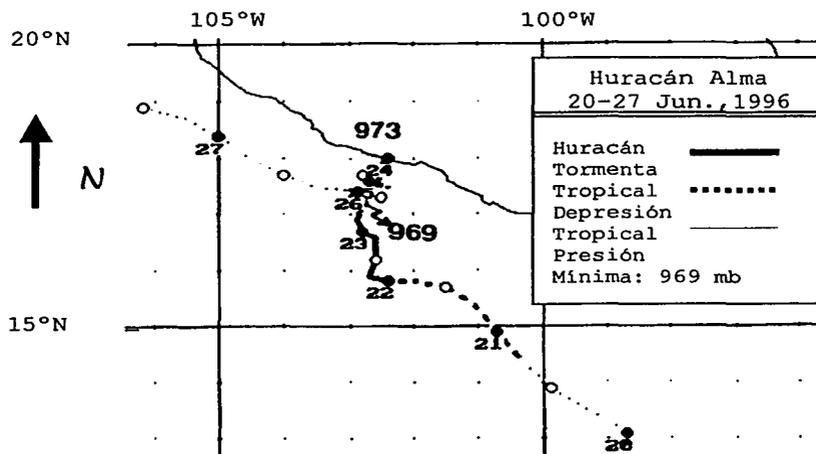


Figura IV.6.- Trayectoria del Huracán Alma del 20 al 27 de Junio de 1996 (Modificada de NOAA, 2002)

Septiembre de 1996. El Huracán Fausto afectó al Estado de Colima en los primeros días del mes con vientos de 140 km/h, perteneciendo a la Categoría 1 (SMN, 2002). Su desplazamiento se observa en la figura IV.7.

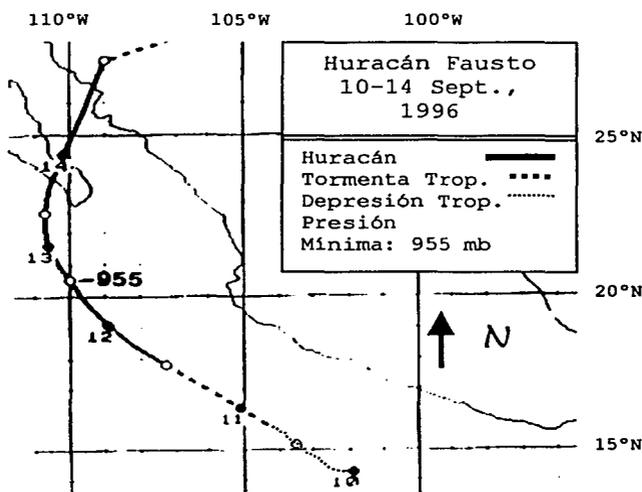


Figura IV.7.- Curso del Huracán Fausto del 10 al 14 de Septiembre de 1996 (Modificada de NOAA, 2002)

Septiembre y Octubre de 1996. Al final del mes de Septiembre y a principios de Octubre el Huracán Hernán (Categoría 1) afectó las costas colimenses (Figura IV.8) con vientos de 140 km/h (SMN, 2002).

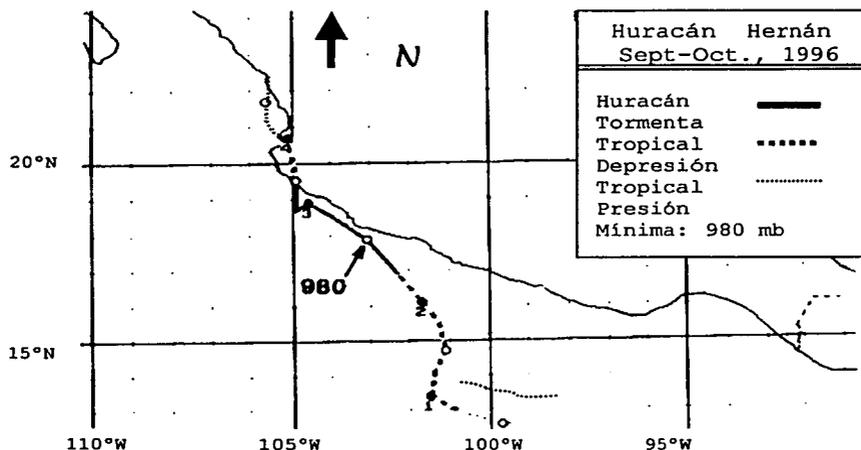


Figura IV.8.- Desplazamiento del Huracán Hernán que afectó a las costas colimenses en los meses de Septiembre y Octubre de 1996 (Modificada de NOAA, 2002)

26 de Septiembre al 12 de Octubre de 1997. El Huracán Olaf afectó principalmente a la localidad de Manzanillo, Colima, con vientos promedio de 75 km/h (SMN, 2002). El curso del huracán, se observa en la figura IV.9.

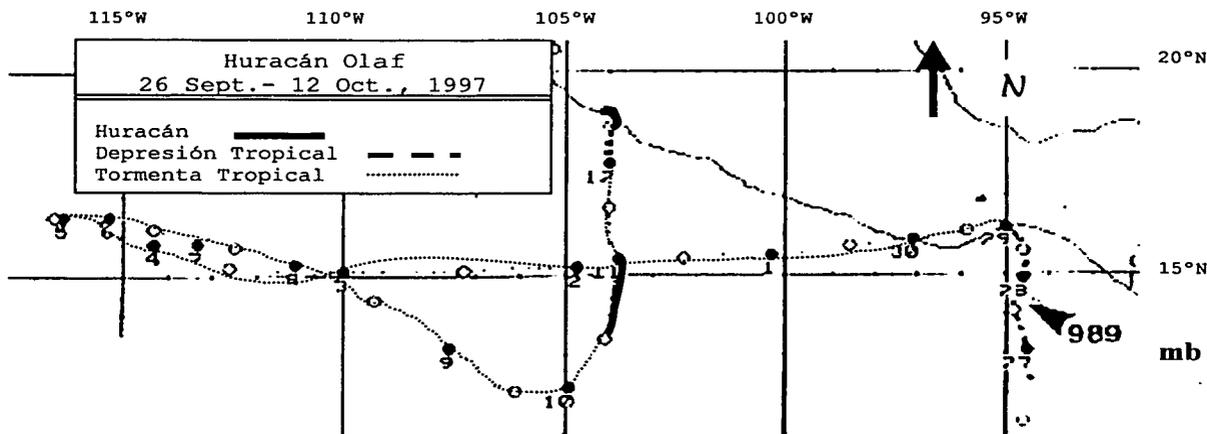


Figura IV.9.- Trayectoria del Huracán Olaf del 26 de Septiembre al 12 de Octubre de 1997 (Modificada de NOAA, 2002)

Septiembre de 1999. El Huracán Greg con vientos de 120 km/h (Categoría 1) ocasionó intensa precipitación pluvial en Jala, Colima siendo ésta de 400 mm en 24 h (SMN, 2002). El curso que siguió el Huracán Greg, se muestra en la figura IV.10.

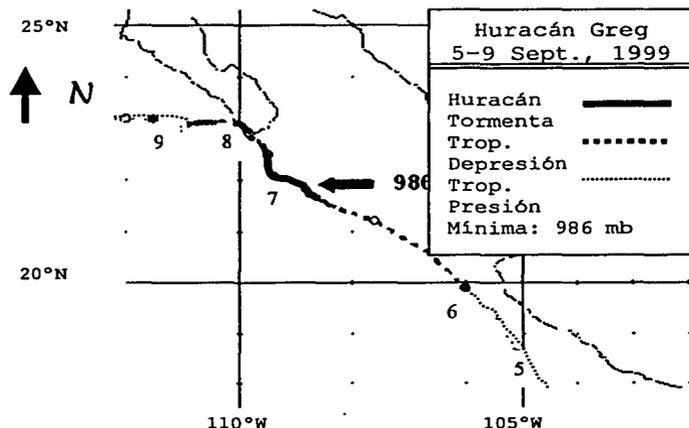


Figura IV.10.- Desplazamiento del Huracán Greg del 5 al 9 de Septiembre de 1999 (Modificada de NOAA, 2002)

19 al 22 de Septiembre de 2000. El Huracán Norman con vientos promedio de 75 km/h afectó al estado de Colima, presentándose la mayor precipitación pluvial (357 mm en 24 h) en la localidad de Callejones, Colima (SMN, 2002). El avance del huracán se observa en la figura IV.11.

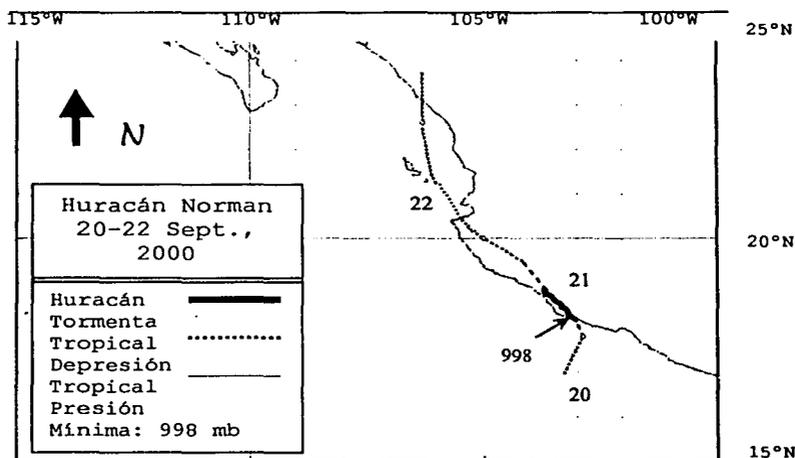


Figura IV.11.- Trayectoria del Huracán Norman del 20 al 22 de Septiembre de 2000 (Modificada de NOAA, 2002)

25 de Octubre de 2002. El Huracán Kenna de Categoría V golpeó las costas del Pacífico mexicano, donde los Estados de Jalisco y Nayarit fueron los más dañados, quedando severamente afectadas las poblaciones de Puerto Vallarta y San Blas principalmente; mientras que los estados de Baja California Sur y Colima se vieron fuertemente amenazados por los vientos y lluvias que trajo consigo el meteoro; causando inundaciones en los municipios de Manzanillo y Armería, Colima(El Universal, 2002).

Kenna tocó tierra con vientos de hasta 260 kilómetros por hora. El paso del huracán provocó olas de hasta ocho metros de altura que inundaron al menos dos cuadras del balneario de Puerto Vallarta, causando daños a varias edificaciones e incluso la destrucción total de un hotel(BBCMundo, 2002) .

De acuerdo con las Memorias del Curso de Atención a la Salud en Casos de Desastres Hidrometeorológicos(SS, OPS, OMS; 1987) en el Estado de Colima basándose en observaciones realizadas durante el periodo de 1960 a 1986, se presentan anualmente 2 tormentas tropicales, cada una en los meses de mayo y junio; mientras que se presentan anualmente 2 huracanes durante el mes de junio.

MITIGACIÓN DE DESASTRES OCASIONADOS POR HURACANES.

A mediados de la década de 1950 se desarrolló un sistema coordinado de seguimiento de los huracanes y a lo largo de los años se han hecho mejoras periódicas. Radares, dispositivos de registro marinos, satélites meteorológicos y otros instrumentos suministran datos que permiten el seguimiento de los movimientos de cada tormenta casi desde su formación. La mejora de los sistemas de predicción e información ha permitido reducir al mínimo la pérdida de vidas, pero los daños materiales siguen siendo grandes, en especial en las regiones costeras(Keller, 1996).

Aunque en términos generales se conocen las rutas de los huracanes, sus trayectorias reales pueden cambiar y por lo tanto, a pesar de los avances tecnológicos, la mayoría de las predicciones sólo pueden proporcionar un aviso con aproximadamente 24 horas de anticipación respecto al momento de llegada a un sitio. Por lo que resulta importante desarrollar una tecnología para la prevención de daños causados por vientos, mareas y lluvias originados durante los huracanes; actualmente la mejor tecnología utilizada es el

uso de los satélites meteorológicos que proporcionan entre otros datos, su ubicación. Bajo estas condiciones, los efectos destructivos de un huracán sólo pueden mitigarse mejorando el diseño de las edificaciones situadas en las zonas expuestas (medidas estructurales) o mediante el aviso oportuno de la llegada de un huracán (medidas no estructurales) (CENAPRED, 1994).

Las costas del Estado de Colima resultan vulnerables frente a estos fenómenos, debido a que los habitantes de la zona costera viven en construcciones realizadas con materiales de poca resistencia como láminas y palma. El municipio de Manzanillo es el segundo con mayor población (INEGI, 2002), sin considerar la población flotante que está representada principalmente por el turismo; por lo que al ser un área con mayor índice de población, mayor número de personas están expuestas a sufrir los embates de la naturaleza, por lo que el riesgo de pérdidas humanas es mayor.

Respecto al Archipiélago Revillagigedo, frecuentemente está afectado por huracanes, sin embargo ahí los daños que ocasionan son menores puesto que la población vulnerable es de 150 marinos que pertenecen a un destacamento de la Secretaría de Marina y algunos investigadores de diversas instituciones (SEMARNAP, 2002).

Es necesario el continuo monitoreo de los huracanes y mantener informada a la población sobre el desarrollo de éstos; para evacuar las zonas costeras más vulnerables a sufrir daños ocasionados por éstos fenómenos naturales.

Capítulo V. RIESGO SISMICO

El territorio mexicano se encuentra dividido entre cinco placas tectónicas, el movimiento relativo entre éstas ocasiona uno de los peligros sísmicos y volcánicos más altos del mundo (Suárez y Jiménez, 1987).

México es un país altamente sísmico debido a que su costa del Pacífico está en el borde de una zona de subducción, donde la placa de Norteamérica cabalga sobre la de Cocos (Inst. Geofísica e Inst. de Ingeniería, 1985); por lo que es importante conocer los riesgos sísmicos latentes en el territorio nacional (Fig.V.1).

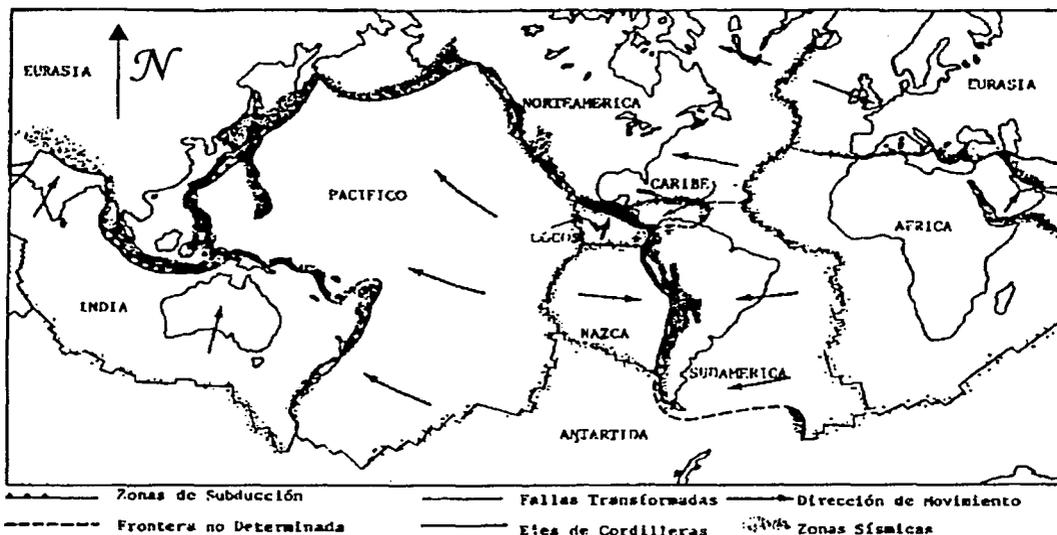


Fig. V.1.-Patrón global de la actividad sísmica (puntos finos) y su relación con los bordes de placas tectónicas (líneas continuas). La dirección del movimiento relativo de las placas tectónicas se muestra con flechas. Los puntos gruesos representan volcanes y las líneas dentadas, como las que ocurren a lo largo de la costa del Pacífico, zonas de subducción (Modificada de Suárez y Jiménez, 1987).

La República Mexicana se divide en tres regiones de acuerdo con la mayor o menor frecuencia de los sismos y su grado de intensidad (Tamayo, 1990).

La zona asísmica es aquella en la que los temblores son muy escasos o no se producen. La zona penisísmica o de sismicidad media es aquella en donde los sismos son menos frecuentes. La

zona sísmica (Fig V.2) se caracteriza por sismos numerosos y frecuentes. Esta zona se inicia a partir del Eje Neovolcánico Transversal, comprende la totalidad del Estado de Colima, además el sur de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Sur de Veracruz, Puebla, Estado de México, Morelos y Distrito Federal (Ayllón, 1992).

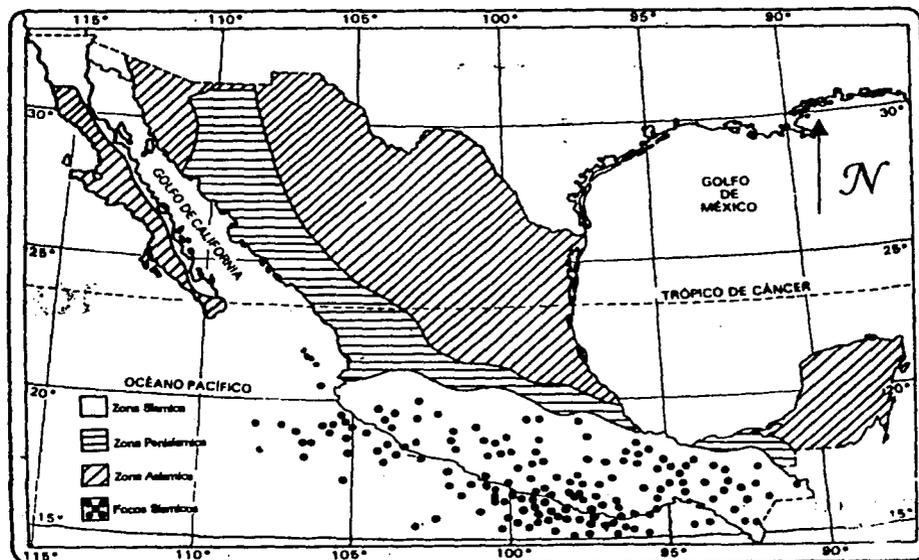


Figura V.2.- Localización de Zonas Sísmicas en México (Tomada y modificada de Ayllón, 1990).

De acuerdo a su origen los sismos pueden ser tectónicos, volcánicos y por colapso; éstos últimos son producidos principalmente por el derrumbamiento de techos de cavernas y minas, sólo son percibidos en áreas reducidas (Díaz, 2000).

Los sismos tectónicos son resultado de los movimientos de la corteza terrestre, por el acomodamiento y presión que ejercen entre sí las placas tectónicas, afectando extensas regiones y con amplios periodos de oscilación (Tamayo, 1990).

Los sismos producidos por rupturas de grandes dimensiones en la zona de contacto entre placas tectónicas se llaman sismos interplaca, éstos sismos tienen sus epicentros comúnmente en la costa occidental entre Jalisco y Chiapas, con profundidades entre 15 y 20 km. Los sismos interplaca son más frecuentes y presentan mayores magnitudes como el sismo de septiembre de 1985 de magnitud 8.1.

Cuando los sismos se producen en la zona interna de ruptura de las placas se llaman sismos intraplaca, son menos frecuentes que los anteriores pero también pueden alcanzar grandes magnitudes. Las profundidades a las cuales se originan éstos sismos pueden variar desde unos cuantos kilómetros hasta 70 u 80 (Díaz, 2000).

Algunos de los grandes sismos registrados en el Estado de Colima son de origen tectónico, están relacionados a la subducción de la placa de Cocos, ya que desciende a través de segmentos que en el caso de México corresponden a las regiones de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Estos segmentos se mueven con cierta independencia y presentan una sismicidad característica con tiempos de recurrencia para sismos grandes (magnitud mayor que 7.5) (Inst. Geofísica e Inst. de Ingeniería, 1985). La zona de subducción de la Trinchera Mesoamericana y el sistema de fallas tectónicas locales pueden producir terremotos fuertes con intensidad de hasta 9 en la entidad de Colima (Geos Vol. 19, No.3).

Los sismos de origen volcánico, son los que se presentan con mayor frecuencia en el Estado de Colima; éstos se producen por la presión que los gases y la lava ejercen sobre la corteza terrestre al tratar de salir de la superficie; en consecuencia, este tipo de temblores se presentan antes y durante la erupción de un volcán, y continúa tiempo después de haber cesado el fenómeno volcánico. Estos sismos son intensos, de corta duración y afectan un área reducida (Ayllón, 1992 y Tamayo, 1990). De acuerdo a estadísticas mundiales, los sismos volcánicos muy pocas veces han rebasado los 6 grados de magnitud (Díaz, 2000).

Recientemente, varios autores han reportado una aparente relación entre la actividad volcánica y grandes sismos (Carr, 1977; Kimura, 1978; Acharya, 1981 y 1982). Estos autores afirman que la actividad volcánica se incrementa en los años anteriores a un gran sismo. En muchos casos, se observa un patrón bien definido y se caracteriza por un periodo de calma en la actividad volcánica que precede a un sismo. El patrón establecido por Carr (1977), consta de tres etapas:

- 1) incremento en la actividad volcánica,
- 2) periodo de calma que precede a un terremoto y
- 3) incremento en la actividad volcánica cerca del tiempo de ocurrencia del terremoto.

La parte más característica de éste patrón, es el periodo de calma en la actividad volcánica llamado Q por Carr(1977), quien observó que el periodo de incremento en la actividad volcánica después del periodo de calma en la fase 3) está usualmente presente pero es altamente variable en intensidad, en algunas ocasiones presenta solo un escaso incremento en la actividad volcánica.

La actividad volcánica y sísmica para el área de Colima, muestra el patrón establecido por Carr(1977). En las erupciones del Volcán de Colima durante los últimos 200 años, la fase 3) se presentó con un periodo de duración de pocos meses a pocos años antes de un gran sismo(Medina, 1983).

El evento sísmico de 1806 con magnitud 7.5, estuvo precedido por un periodo de pocas horas de intensa actividad volcánica, y el sismo de 1818 con magnitud 7.7, estuvo precedido por un evento volcánico tres meses antes al terremoto(Medina, 1985).

Una estrecha relación entre eventos volcánicos y sísmicos ha sido reportada por Medina y Mena (1981) para los últimos 400 años del Volcán de Colima, lo que indica que períodos con mayor actividad sísmica, tienen mas eventos volcánicos y de acuerdo con Acharya(1982) la gran magnitud de los temblores precede a grandes intervalos de tiempo.

DAÑOS QUE OCASIONAN LOS SISMOS.

El movimiento no es la única causa de muerte y daños en los sismos. Los sismos catastróficos tienen una amplia variedad de efectos destructivos. Los efectos causados directamente por el movimiento de fallas incluye movimiento subterráneo(y sus efectos sobre personas y estructuras) y una superficie de ruptura. Otros fenómenos que son inducidos por el fallamiento y el movimiento son deslizamientos, incendios, liquefacción del subsuelo, tsunamis y cambios regionales de elevación del terreno(Keller, 1996).

Movimiento y rupturas subterráneas. El efecto inmediato de un sismo catastrófico puede involucrar movimientos de sacudida violentos en el subsuelo, acompañado por una superficie extensa de ruptura y desplazamientos. La sacudida puede romper o colapsar grandes edificios, puentes, presas, túneles, gasoductos y otras estructuras rígidas(OEP, 1972).

Licuefacción. Es la transformación de material granular saturado de agua de un estado sólido a un estado líquido. Durante un sismo, esto puede resultar de un incremento en la presión de poro causada por compactación durante una sacudida intensa. La licuefacción de arcillas y arenas saturadas cerca de la superficie, originan que los materiales pierdan su resistencia al esfuerzo cortante y fluyan. Como resultado se tiene la inclinación o hundimiento de edificios en sedimentos liquificados, mientras que tanques o gasoductos subterráneos pueden incrementar su deformación(Youd, 1975).

Deslizamientos. El movimiento de un terremoto frecuentemente es un mecanismo disparador de muchos deslizamientos en áreas montañosas y lomeríos. Estos deslizamientos pueden ser extremadamente destructivos y causar grandes pérdidas de vidas(Keller, 1996).

Incendios. Son el mayor desastre asociados con sismos. El movimiento de desplazamiento del subsuelo y la superficie puede ocasionar la ruptura de líneas de electricidad y gas, dando inicio a incendios, los cuales pueden ser difíciles de combatir, puesto que el movimiento también puede causar la ruptura de las tuberías de agua(OEP, 1972).

Cambios regionales en la elevación del terreno. La deformación vertical, tanto hundimientos como elevaciones del terreno, es otro efecto de algunos sismos mayores. La deformación puede ocasionar cambios regionales en el nivel freático(Keller, 1996).

SISMOS QUE HAN CAUSADO DAÑO AL ESTADO DE COLIMA.

27 de Mayo de 1563 y el 14 de Abril de 1574. En estas fechas se originaron sismos que afectaron el Estado de Colima(Álvarez, 2000).

1576. Durante este año hubo varios eventos sísmicos, asociados con las erupciones del Volcán de Fuego (Álvarez, 2000).

10 de Enero de 1585. Asociado a la erupción del Volcán de Fuego ocurrieron sismos en el estado(Álvarez, 2000).

1606. Ocurrieron sismos debido a dos erupciones del Volcán de Fuego(Álvarez, 2000).

15 y 16 de Abril de 1616. Se sintieron movimientos telúricos en la entidad(Álvarez, 2000).

1623, 1625, 1680, 1690, 1749, 1771 y 1790 . A través de estos años ocurrieron sismos en la entidad(Álvarez, 2000).

23 de Marzo de 1806. Se percibió un sismo en las costas de Colima y Michoacán con magnitud 7.5(CENAPRED, 1997).

1816. Se percibieron en el Estado de Colima movimientos telúricos(Álvarez, 2000).

31 de Mayo de 1818. Un fuerte sismo de magnitud 7.7 se sintió en las costas de Colima y Jalisco(CENAPRED, 1997), que ocasionó la ruina casi total en la ciudad de Colima(Álvarez, 2000).

1847. La entidad se vió afectada por numerosos sismos(Álvarez, 2000).

1869. Sismos relacionados a la actividad del Volcán de Fuego de Colima (Álvarez, 2000).

1871 y 1872. La actividad del Volcán de Colima continuó al igual que la actividad sísmica(Álvarez, 2000).

9 de Marzo de 1879. Se presentó un sismo en las costas de Colima y Jalisco con una magnitud 7.4(CENAPRED, 1997).

20 de Enero de 1900. En Jalisco se originó un sismo de magnitud 7.9, que afectó gravemente a la entidad colimense(CENAPRED, 1997).

16 de Mayo de 1900. Un sismo originado en Jalisco de magnitud 7.4, ocasionó severos daños en el Estado de Colima(CENAPRED, 1997).

1904. Se presentan diversos sismos asociados con la erupción del Volcán de Colima(Álvarez, 2000).

7 de junio de 1911. Un sismo de magnitud 7.7, afectó a los Estados de Jalisco y Colima, destruyó Ciudad Guzmán, Jal. e inclusive se reportaron 45 muertos en el Distrito Federal(Espíndola y Jiménez, 1995).

1913. Se presentan sismos asociados con la erupción del Volcán de Colima(Álvarez, 2000).

3 de Junio de 1932. A las 10:36 horas, se originó un sismo de magnitud 8.2 cerca de las costas de Colima y Jalisco, en el poblado de Casimiro Castillo, Jalisco(19.57°N, 104.42°O), a una profundidad de 33 km(Kostoglodov y Pacheco, 1999). Este sismo es el de mayor magnitud en México durante el siglo XX. El sismo provocó la muerte de más de 400 personas solamente en la zona epicentral. La ciudad de Colima fue la más dañada, más de 200 casas sufrieron algún daño, 20 personas murieron y 70 resultaron heridos(Espíndola y Jiménez, 1995).

25 de Julio de 1932. Un sismo de magnitud 6.9 a las 9:12 horas se originó al SO de Tecomán, Colima(18.87°N; 103.93°O) a una profundidad de 33 km(Kostoglodov y Pacheco, 1999).

7 de diciembre de 1932. Se originó un sismo a una profundidad de 33 km en el poblado de Augusto Gómez Villanueva(19°N; 104°O) al NO de Armería, Colima, de magnitud 6.8 a las 16:22 horas(Kostoglodov y Pacheco, 1999).

29 de Junio de 1935. A las 6:48 horas se originó al SE de la capital Colima, un sismo en el Estado de Michoacán a una profundidad de 33 km con una magnitud 6.9(Kostoglodov y Pacheco, 1999).

15 Abril de 1941. Se originó un fuerte sismo en las costas de Colima, con magnitud 7.9(Inst. Geofísica e Inst. de Ingeniería, 1985).

30 Enero de 1973. Un fuerte sismo de magnitud 7.5, se localizó a 110 km al sur del Volcán de Colima y a 160 km al SE de Manzanillo(18.4°N, 103.2°O). El sismo ocasionó grandes daños en la ciudad costera de Tecomán(Sánchez, 1980; Pararas-Carayannis, 1977; Reyes et al., 1979; Cruz y Wyss, 1983). Dejó 50 muertos, 300 heridos y 30 poblaciones severamente afectada en todo el estado(Espíndola, 1992).

19 y 20 de Septiembre de 1985. Se sintieron sismos con magnitudes de 8.1 y 7.5 respectivamente que ocasionaron grandes daños en la región oeste de México, principalmente en los Estados de Michoacán, Colima y Jalisco, causando la muerte de más de 6500 personas. En el Estado de Colima, el poblado de Coahuayana sufrió daños menores; mientras que en Manzanillo se registró una intensidad de 6, pero no hubo daños estructurales ni víctimas(Espíndola y Jiménez, 1995).

9 de Octubre de 1995. Se percibió en Manzanillo un sismo de magnitud 7.9 que causó la muerte de al menos 48 personas(UCOL, 2002).

El sismo se originó a las 15:35 horas, a una profundidad de 25 km sobre la línea de costa al NO de Cuyutlán (18.99°N; 104.25°O)(Kostoglodov y Pacheco, 1999).

Noviembre de 1997. Se observa una actividad sísmica constante en la entidad, debido a una nueva etapa en la actividad volcánica del Volcán de Colima. Esta actividad culmina el 20 de Noviembre de 1998 y durante este periodo, los eventos fueron de baja magnitud(UCOL, 2002)

Febrero de 1999. Se incrementa la actividad sísmica, asociado a eventos volcánicos que continúan hasta la fecha(UCOL, 2002).

Dentro de los daños mencionados anteriormente que causan estos sismos, debe adicionarse los que causan los tsunamis, que son secuencias de olas que se generan por sismos ocasionados en el fondo oceánico y que arriban a las costas con gran altura, provocando efectos destructivos: pérdidas de vidas y daños materiales(Protección Civil, 1999).

Un tsunami no es una sola ola, sino una secuencia o tren de olas que cada 10 o 40 minutos se suceden una tras otra durante un lapso de medio día, un día o mas. Comúnmente, la ola de mayor altura y potencial destructivo no es la primera ni la segunda, sino las siguientes: tercera, etc(CENAPRED, 1997).

Es importante señalar que no todos los sismos generan tsunamis. Para que un sismo genere un tsunami es necesario que: a)el hipocentro del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino, a una profundidad menor de 60 km(sismo superficial); b)ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas, y c)en cierto lapso de tiempo el sismo libere suficiente energía, y que esta se transmita eficientemente. Con respecto a la condición c), el conocimiento científico actual es insuficiente: aún no existe algún modelo teórico operacional totalmente satisfactorio que permita determinar si un sismo es tsunamigénico, ni de que tamaño(magnitud, intensidad, o altura de olas). Como indicador de certeza de generación de maremotos, tradicionalmente se había aceptado que la magnitud del sismo fuera mayor que 7.5; sin embargo para terremotos muy grandes o de gran duración(mayor de 20 segundos), este

indicador no es confiable. En efecto, movimientos telúricos de magnitud menor que 7.0 y de gran duración han provocado tsunamis anormalmente grandes respecto de lo esperado (Protección Civil, 1999).

Debido a que la gran mayoría de tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, todas las costas del Pacífico de México están expuestas al arribo de maremotos de origen lejano, que representan un riesgo menor. Sin embargo, para México los tsunamis generados por sismos en la Trinchera Mesoamericana representan un riesgo mayor. Estos sismos son ocasionados por la subducción de la Placa de Cocos y de la Placa de Rivera bajo la Placa de Norteamérica (Keller, 1996).

De acuerdo con el CENAPRED (1997), la estadística de los maremotos ocurridos en la costa occidental de México se dificulta porque:

a) Exceptuando algunos lugares como Acapulco, antes del siglo XIX permaneció casi deshabitada.

b) La operación de la red de mareógrafos, en que tradicionalmente se registran los tsunamis, comenzó hace apenas 60 años (1952), y contiene notorios vacíos de datos.

TSUNAMIS QUE HAN AFECTADO LA COSTA DEL ESTADO DE COLIMA.

1537. Un catálogo japonés menciona que las costas de México fueron afectadas por un tsunami (Soloviev y Go, 1975; Iida et al., 1967).

El catálogo de tsunamis de la costa occidental de México, documenta 49 tsunamis que han arribado desde 1732 hasta 1985: 16 de origen lejano y 33 de origen local (CENAPRED, 1997).

7 de abril de 1845. Se origina un sismo de magnitud 7.9 frente a la costa de Acapulco. Se manifestó inicialmente con ligeras oscilaciones, aumentando gradualmente su intensidad. Este sismo se sintió en varios estados, dentro de ellos el de Colima. En Acapulco ocasionó una ola enorme de extensión horizontal de 40 m, posteriormente el agua retrocedió dejando al descubierto una extensión de 35 m del fondo marino (Soloviev y Go, 1975; Sing et al., 1984; Cruz y Wyss, 1983).

21 de febrero de 1875. Se sintió un fuerte sismo a las 4:43 horas local en el Estado de Colima. En Manzanillo, el sismo estuvo acompañado por gran agitación de las aguas oceánicas (Soloviev y Go, 1975).

3 de Junio de 1932. Un sismo de magnitud 8.2 se origina cerca de las costas de Colima y Jalisco (19.5°N y 104.25°O). Éste sismo es el de mayor magnitud en México durante el siglo XX. El sismo provocó la muerte de más de 400 personas sólo en la zona epicentral. En Manzanillo se cortaron las comunicaciones. En Colima más de 200 casas sufrieron algún daño, 20 residentes murieron y 70 resultaron heridos. También se reportaron víctimas en Manzanillo. En Cuyutlán las casas de madera resistieron el sismo, pero era imposible que sus habitantes permanecieran de pie. El tsunami generado por el sismo se observó en Manzanillo y Cuyutlán en el Estado de Colima, también en Barra de Navidad y San Blas. En Cuyutlán la costa aparentemente se elevó y el mar invadió el balneario, arrasando con varias casas, las olas alcanzaron una altura de 10 m. En Manzanillo, el mar retrocedió y avanzó horizontalmente más allá de su posición normal. El tsunami destruyó una sección de las vías de ferrocarril, entre Cuyutlán y Manzanillo. Este tsunami se propagó en el Océano Pacífico y fue registrado en las costas de Hawaii, California y las Islas Samoa. En Hilo, Hawaii, se reportaron marejadas a consecuencia del sismo. Las alturas fueron de 0.40 m, y en Honolulu fueron de 0.80 m con períodos de 18 min (El Nacional, 1932 a; El Universal, 1932 a; Excelsior, 1932 a; Pararas-Carayannis, 1977; Singh, et al., 1985; Cruz y Wyss, 1983; Wiegel, 1964).

18 de Junio de 1932. En ésta fecha, un sismo de magnitud 7.8 y epicentro en 19.5°N y 103.5°O se percibió. El sismo afectó la misma área que el sismo del 3 de Junio de 1932. Tecomán, Colima y Guadalajara sufrieron grandes daños. En Manzanillo se observaron olas pequeñas del tsunami. Después de ocurrido el sismo, el nivel del mar bajó y posteriormente subió cerca de un metro. Las aguas del mar inundaron parte del puerto (El Nacional, 1932 b, c; Excelsior, 1932 c; Pararas-Carayannis, 1977; Singh y Suárez, 1986; Cruz y Wyss, 1983).

22 de Junio de 1932. Alrededor de las 7:00 horas local, se originó un sismo de magnitud 7.7 con epicentro localizado cerca de Colima (19.0°N, 104.5°O), en donde derrumbó cerca de 400 casas. El tsunami asociado al sismo es el más destructivo de los producidos en la trinchera mesoamericana durante el siglo XX, dentro de sus efectos se cuenta la destrucción del balneario de Cuyutlán, Col. Una ola de más de 10 m causó la muerte a más de 75 personas y más de 100 heridos.

La extensión de la inundación horizontal tierra adentro fue de un kilómetro, llegando el agua hasta las vías del ferrocarril. Los hoteles y residencias construidas a orillas de la playa fueron destruidas totalmente, la calle principal quedó desempedrada y algunas personas quedaron sepultadas por la arena. No quedó una sola casa en pie en una faja de longitud de 20 km y hasta un kilómetro adentro de la costa. Un tramo de la vía de ferrocarril entre Cuyutlán y Manzanillo quedó obstruida por arena, árboles y arbustos arrastrados por el tsunami. El fenómeno azotó una extensión de 25 km desde Ventanas(Manzanillo) hasta Salinas de Guasango(Tecomán).

Cuyutlán fue invadido por otras dos olas de tsunami de menor intensidad: una ola durante la noche del 22 de junio y la otra poco después de las 9 de la mañana del 23 de junio; en esta ocasión el agua solo llegó a 500 m de la costa. El fenómeno también se registro en Salinas de Guasango, Tecuanillo y el Real(Soloviev y Go, 1975; Heck, 1947; Iida et al., 1967; El Nacional, 1932 d, e, f; El Universal, 1932 b, c, d; Pararas-Carayannis, 1977; Singh y Suárez, 1986; Cruz y Wyss, 1983). En Manzanillo, durante uno de los sacudimientos del temblor, el mar descendió aproximadamente 9 metros su nivel rápidamente, y el nivel normal sólo se recuperó dos horas después(Excelsior, 1932 d, e, f, g.).

29 de Junio de 1932. De acuerdo con algunos autores, se menciona el arribo de un tsunami en Cuyutlán, sin embargo, hay dudas sobre la existencia de éste evento(Soloviev y Go, 1975; Heck, 1947; Iiada et al., 1967; Cruz y Wyss, 1983).

22 de Agosto de 1932. En Cuyutlán arribó un tsunami que generó cuantiosas pérdidas materiales(Álvarez, 2000).

16 de mayo de 1968. El maremoto generado en Japón demoro 14 horas en arribar a Manzanillo, México(Soloviev y Go, 1975).

30 de Enero de 1973. El sismo de magnitud 7.5, se localizó aproximadamente a 110 km al sur del Volcán de Colima y 160 km al SE de Manzanillo(18.4°N, 103.2°O). El pueblo de Tecomán resultó severamente dañado. El sismo causó 30 víctimas. El tsunami generado por el sismo fue registrado en cinco de las estaciones mareográficas del pacífico mexicano: Acapulco, Manzanillo, Salina Cruz, La Paz y Mazatlán. El tsunami se registró con mayor intensidad en Manzanillo, la altura de la ola inicial midió 0.30 m y la altura máxima fue de 1.13m. El período inicial del tsunami en Manzanillo fue de 29 minutos. El tiempo de propagación de la ola inicial desde el origen a

la estación de Manzanillo fue de 19 min. y su velocidad de 710 km/h (Sánchez, 1980; Pararas-Carayannis, 1977; Reyes et al., 1979; Cruz y Wyss, 1983).

14 de Marzo de 1979. Ocurre un sismo de magnitud 7.6 cerca del pueblo de Petatlán (17.3°N, 101.3°O). El tamaño del área epicentral fue de 1200 km² y se localizó totalmente en la región oceánica. El tsunami asociado al sismo fue registrado en las estaciones mareográficas de Acapulco, Gro. y Manzanillo, Col. En Manzanillo, la ola inicial se registró 25 min. después que en Acapulco, con una velocidad de 543 km/h. La altura inicial del tsunami fue de 0.10 m y la elevación máxima registrada fue de 0.42m (Sánchez, 1980; Meyer et al., 1980; Filloux, 1982).

19 de Septiembre de 1985. El sismo de magnitud 8.1 que ocurrió en el segmento de subducción de la trinchera mesoamericana conocida como brecha de Michoacán, afectó a los Estados de Jalisco, Guerrero, Colima, Puebla, Tlaxcala, Oaxaca, Morelos, Estado de México y Michoacán. Los daños materiales y humanos provocados por éste sismo son los más cuantiosos sufridos en México a causa de un desastre natural. El tsunami generado por el sismo fue observado en Manzanillo, Colima; en Lázaro Cárdenas y Playa Azul en Michoacán; en Ixtapa Zihutanejo y Acapulco en Guerrero. La ola inicial del tsunami se registró con una elevación de 0.53 m y la altura de la elevación máxima fue de 1.15. El período entre la primera y segunda cresta del tsunami fue de 12 minutos y su velocidad promedio fue de 802 km/h. Este tsunami causó temor entre la población que vive en la zona costera del Pacífico mexicano, particularmente en Manzanillo, Colima y en las poblaciones de Tijuana, Rosarito y Ensenada en Baja California (Eissler et al., 1986; Singh y Suárez, 1986).

1986 a 1991. En México no hubo registros de tsunamis; tal vez por que ninguno llegó, o por operación deficiente de los mareógrafos.

1992. A partir de éste año el CICESE y la Secretaría de Marina de México, en colaboración con la NOAA y el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico se instalaron y mantienen 3 mareógrafos, equipados para transmisión inmediata de señales de satélite, en Manzanillo, Isla Socorro y Cabo San Lucas (Protección Civil, 1999).

9 de octubre de 1995. En ésta fecha se registró el más reciente tsunami local, provocado por un sismo de magnitud

7.6, con epicentro a 4 kilómetros al suroeste de Manzanillo, afectó la costa de Jalisco-Colima; con olas de hasta 5.1 metros de altura, inundó las localidades de Barra de Navidad y Boca de Iguanas; en Manzanillo y Boca de Iguanas; causo daños considerables, y en Melaque un deceso (Protección civil, 1999).

PREVENCIÓN DE DESASTRES OCASIONADOS POR SISMOS

La predicción como resultado de la comprensión de un proceso de la naturaleza es una de las metas de toda ciencia, incluyendo la sismología, que no es ajena a éstas aspiraciones y en la actualidad se realizan intensos esfuerzos por desarrollar una metodología confiable que pueda emplearse con éxito en el futuro.

Para atacar el problema, existen dos formas. Una de ellas consiste en estudiar la variación de ciertos parámetros físicos debido a la acumulación de esfuerzos cuya relajación ocasiona el temblor. Se ha observado que la región focal sufre una dilatación que altera la velocidad de las ondas que se propagan en ella. Otro de los parámetros que se alteran son, por ejemplo la resistencia del terreno al paso de la corriente eléctrica y pequeñas variaciones del nivel de las aguas subterráneas. También se producen cambios en el valor de la gravedad del terreno, así como cambios topográficos (Espíndola y Jiménez, 1995).

Todos éstos factores pueden ser medidos y correlacionados con la ocurrencia final de un temblor. A la vez se estudian también aspectos empíricos de la ocurrencia de temblores en las zonas sísmicas. Se ha observado que los epicentros a lo largo de una zona de subducción siguen un patrón geográfico y temporal. Es así como puede estudiarse la historia sísmica de una región, estimar los periodos de recurrencia de temblores de cierta magnitud y evaluar de ésta manera, la posibilidad de ocurrencia de un nuevo sismo (Espíndola y Jiménez, 1995).

Conociendo las características de los sismos que se han presentado en el Estado de Colima, es posible planear el desarrollo urbano con base en zonas donde la actividad sísmica sea menos perceptible y los daños como deslizamientos, licuefacción, entre otros, que ocasionan los sismos sean mínimos; aunado esto con una mayor resistencia de las edificaciones.

PREVENCIÓN DE DESASTRES OCASIONADOS POR TSUNAMIS

Debido a que los tsunamis no suelen repetirse en un mismo lugar con tanta frecuencia como los huracanes u otros tipos de desastres naturales, sus acciones de prevención suelen quedar en el olvido(Protección Civil, 1999).

Sin embargo, los sismos en el entorno del Océano Pacífico, particularmente en la Trinchera Mesoamericana, continuarán ocurriendo; en consecuencia, es de esperar que a las costas mexicanas de los Estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, tarde o temprano arribaran tsunamis.

Ante la probabilidad, el Centro Nacional de Prevención de Desastres, en colaboración con el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, dentro de su serie de fascículos, pretende aportar información especializada a los responsables de la planeación y de la ejecución de acciones de protección civil y prevención de desastres en las zonas expuestas a maremotos, así como a la población potencialmente afectable.

El grado de desarrollo actual de la sismología, no permite aún pronosticar cuando se generará un tsunami; sin embargo, mediante acciones preventivas, de auto protección y prudencia, sí se puede disminuir y mitigar sus efectos(CENAPRED, 1997).

Al considerar la operación de un Sistema de Alerta de Tsunamis, las diferencias entre los tsunamis de acuerdo al lugar de arribo de la costa, según la distancia desde su lugar de origen es muy importante.

En el caso de tsunamis locales, los cuales se caracterizan porque el lugar de arribo a la costa esta muy cercano o dentro de la zona de generación(delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del maremoto, el tiempo de desplazamiento es menos de una hora; y después del sismo, para avisar a la población de la llegada de un maremoto no hay tiempo ya que solo se cuenta con muy pocos minutos.

Los tsunamis regionales se caracterizan porque el litoral invadido está a no más de 1 000 km o a pocas horas de la zona de generación. Cuando se originan sismos se cuentan con pocas horas para informar a la población y evacuar la zona de arribo(Protección Civil, 1999).

Los tsunamis lejanos o remotos también llamados transpacíficos o teletsunamis, se caracterizan porque el sitio de arribo esta muy lejano, en el Océano Pacífico, a más de 1 000 km de distancia de la zona de generación, a aproximadamente medio día o un poco más para tomar medidas antes de su arribo(Protección Civil, 1999).

Al acercarse las olas de los tsunamis a la costa, a medida que disminuye la profundidad del fondo marino, y también se desaceleran, y la longitud se acorta. En consecuencia, su energía se concentra, aumenta la altura, y al arribar al litoral las olas así resultantes pueden asumir características destructivas(Protección Civil, 1999).

Un grupo de trabajo del Sistema de Alerta del Pacífico calculó los tiempos de propagación a través del Océano, para los sismos originados en 24 lugares; elaboraron cartas de tiempo de propagación de tsunamis transpacíficos, para uso de ese sistema(Protección Civil, 1999).

En el Sistema de Alerta para poder avisar a tiempo a la población de llegada de un tsunami cuya generación ya se haya confirmado, estas cartas constituyen un recurso muy útil. Actualmente el método mas confiable y riguroso para evaluar y pronosticar con detalle las alturas máximas que alcanzarían las olas de un maremoto a lo largo de una franja costera(por ejemplo en una bahía) es la simulación computacional de la generación, propagación y su arribo. En México se comenzó a efectuar este trabajo para los puertos industriales, turísticos, y asentamientos humanos más importantes ubicados en la costa del Pacífico(Protección Civil, 1999) .

Al llegar el tsunami a la costa, su incremento de altura por asomeramiento provoca retiro o resaca del agua ante el frente de la ola; grandes extensiones del fondo marino quedan al descubierto(secas). Es un aviso de que pocos minutos después llegara una ola a gran velocidad. Se recomienda no acercarse a la playa a mirar este retiro del mar ni a recoger peces y mariscos; cuando se ve llegar la ola ya es demasiado tarde para huir. Antes del arribo de un tsunami, en muy pocos casos no se ha producido este recogimiento del agua del mar(Protección Civil, 1999).

Se recomienda que si se emite una alerta en el lugar donde uno se encuentra y lo han evacuado, no regrese a los lugares inundables hasta que una autoridad responsable le indique que

la perturbación marina y la amenaza han terminado (Protección Civil, 1999).

La mejor forma de disminuir los riesgos potenciales que representan los tsunamis en las costas colimenses, es el continuo monitoreo de la estación mareográfica de Manzanillo, así como de otras estaciones que se encuentran en el resto del país; y desde luego mantener informada a la población de estas observaciones.

Capítulo VI. RIESGO VOLCÁNICO

Cada año hacen erupción de 50 a 60 volcanes en el mundo. Las erupciones ocurren frecuentemente en áreas con baja población, pero cuando ocurren en áreas densamente pobladas, los efectos pueden ser catastróficos (IAVCEE, 1994) y por lo tanto éstas áreas son particularmente vulnerables (Pendick, 1994).

La actividad volcánica está directamente relacionada a la Tectónica de Placas. Muchos volcanes se localizan en los límites de placas donde se produce presión por la subducción o cabalgamiento de las placas litosféricas con la interacción de otros materiales terrestres (Keller, 1996).

El Cinturón de Fuego del Pacífico contiene al 80 % de los volcanes del mundo y México forma parte de él, por lo que en el territorio nacional se encuentra una docena de volcanes de alta peligrosidad y algunos de ellos presentan también un alto riesgo (Figura VI.1) (Espíndola, 1999).

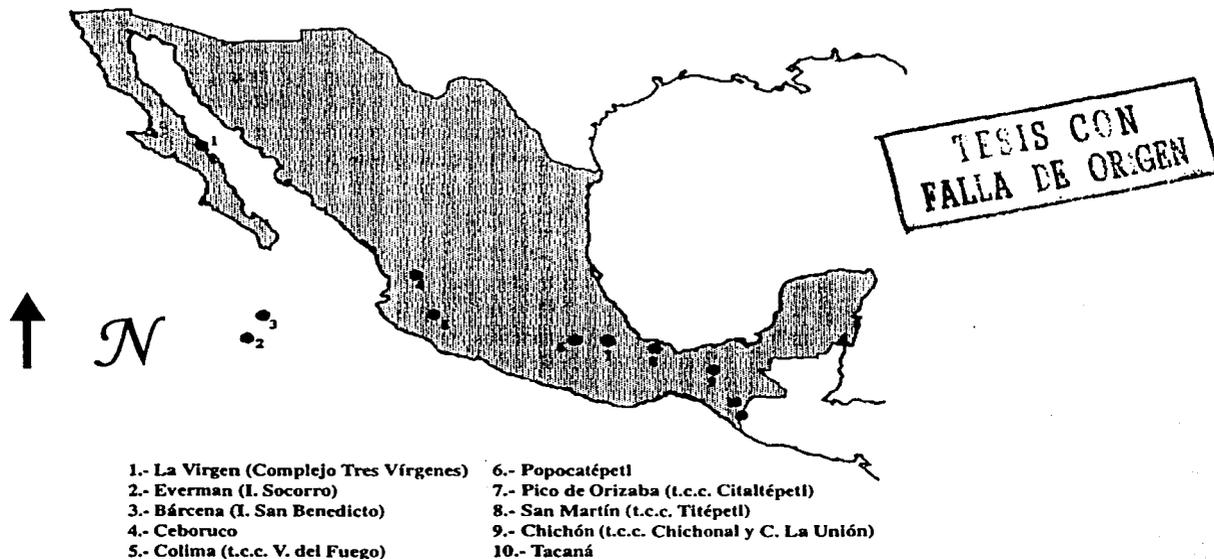


Figura VI.1.- Principales Volcanes con actividad reciente (Modificado de Espíndola, 1999).

El riesgo volcánico está relacionado con la probabilidad de que un volcán tenga una erupción destructiva, designada como peligro o amenaza, y la presencia o actividad humana que

puede ser afectada por la erupción. Por lo que un mismo volcán representaría menor grado de riesgo si se encuentra en una zona lejana y despoblada que si se encuentra en medio de un área de gran densidad de población, mientras que la amenaza que presenta sería la misma en ambos casos(Keller, 1996).

Los Riesgos Volcánicos incluyen a los efectos primarios de la actividad volcánica, los cuales son resultados directos de la erupción y los efectos secundarios, que son causados por los efectos primarios. Los efectos primarios incluyen flujos de lava, flujos piroclásticos y liberación de gases(que generalmente es vapor, pero en algunas ocasiones son gases corrosivos o venenosos). Los efectos secundarios comprenden avalanchas de escombros o derrumbes volcánicos, lahares e incendios(OEP, 1972).

En el Estado de Colima, los riesgos volcánicos están representados principalmente por la actividad del Volcán de Fuego, que se ha considerado como el volcán más activo de México(Macías, 1998), con al menos 52 erupciones desde 1560 y uno de los más activos de Norteamérica, con al menos 29 erupciones explosivas en los últimos 450 años(Luhr y Carmichel, 1980; Medina, 1983), entre las que destacan las de 1585, 1606, 1611, 1622, 1818, 1869, 1890, 1903 y 1913; así como por la actividad de los volcanes Everman y Bárcena.

El Volcán Everman se localiza en la Isla Socorro(18°45`N; 110° 59` O; 1050 msnm), la más grande de las islas Revillagigedo(Ver Figura VI.1). El volcán tiene un radio de 3.5 km, se ubica en el centro de la isla y constituye la parte más alta del relieve insular. En sus flancos existen 12 volcanes adventicios, algunos con cráteres bien conservados. Sus erupciones han tenido lugar en los años de 1846, 1848, 1905 y recientemente en 1993, cuando se observaron varias fumarolas y zonas de alteración termal a lo largo de la zona de contacto entre un domo de lava viscosa y el resto del edificio(Espíndola, 1999). La población vulnerable a la actividad del volcán, de acuerdo con el censo de 1990 es de 166 habitantes(Redescolar, 2000).

El Volcán Bárcena se encuentra en la Isla San Benedicto, en las islas Revillagigedo. Se localiza a los 19°16` latitud Norte y 110° 48` de longitud Oeste, a una altura de 375 msnm(Ver Figura VI.1). El volcán tiene forma cónica regular con un cráter circular de 700 m de diámetro; su cima está

truncada por la abertura del cráter con sus laderas muy inclinadas y abruptas (Maldonado, 1958).

La última etapa eruptiva del Volcán Bárcena comenzó el 1° de agosto de 1952 y fue de tipo vulcaniana, durante ésta etapa se formó un cono de pómez que creció rápidamente y en sólo 10 días alcanzó la mayor parte de la altura que tiene actualmente. El 12 de agosto alcanzó su máximo crecimiento que oscilaba entre 330 y 360 m. A finales del mismo año tuvo emisión de lava por una fisura y se formó un delta de lava.

En septiembre se formó un domo de lava dentro del cráter y el 8 de diciembre se formó una fisura radial en los flancos del cono. Su actividad se prolongó hasta principios de 1953, y posteriormente continuó sólo con emisiones de vapor y otros gases. Durante sus fases eruptivas emitió grandes cantidades de cenizas y bombas que alcanzaron alturas de hasta 3 km. En el año 1955 la lava formó un domo en su cráter, por lo que los gases sulfurosos salían por sus ladeas. Posteriormente presentó otras erupciones moderadas de gases, cenizas y continua actividad fumarólica que subsistió hasta 1958. Los productos eruptivos se extendieron hasta 200 m de la línea de costa de la isla San Benedito (Espíndola, 1999).

La población vulnerable a la actividad del volcán, de acuerdo al censo de 1990 es de 150 habitantes (Redescolar, 2000).

Como el Archipiélago Revillagigedo se encuentra prácticamente deshabitado, la actividad volcánica, no representa mayor riesgo puesto que la población vulnerable a sufrir éstos efectos es pequeña.

El Volcán de Colima se localiza en 19°31' de latitud N y 103° 37' de longitud O, en la parte occidental del Cinturón Volcánico Transmexicano, en los límites de los Estados de Jalisco (municipios de Tuxpan, Zapotitlán y Tonila) y Colima (municipios de Comala y Cuahutémoc). Su elevación es 3960 msnm. Se le conoce también como Volcán de Fuego y pertenece al Complejo Volcánico de Colima, del cual forma parte también el Volcán Nevado de Colima (Espíndola, 1999).

Es un estratovolcán con forma cónica y flancos escalonados, que refleja su gran actividad.

Hacia el NE presenta una boca que se formó en 1869 y se conoce como El Volcancito. Hacia el sur, tiene tres elevaciones que son pequeños domos que se han formado por antiguas corrientes de lava y se conocen como los Hijos del

Volcán. En el occidente se observa un flujo de lava que llega hasta la base (Yarza, 1948).

La actividad eruptiva del Volcán de Colima incluye fases de tipo explosivo, pero su actividad tiende a presentar el siguiente patrón aproximadamente cada 100 años: se producen erupciones explosivas con grandes cantidades de ceniza y flujos piroclásticos. En ocasiones expulsa el domo o tapón que obstruye el cráter y destruye la parte superior del cono, bajando de nivel de lava en el conducto volcánico a más de 300m. Después la lava sube paulatinamente hasta bloquear el cráter y producir derrames gruesos de lava. Posteriormente sobrevienen erupciones de material volcánico de caída libre (Enciclopedia de México, 2000).

De acuerdo con OEP (1972), Saucedo et al. (1997) y Díaz (2000), los riesgos volcánicos potenciales en el Estado de Colima están representados por el Volcán de Colima y son: primarios y secundarios.

EFFECTOS PRIMARIOS POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Flujos de lava. Se producen cuando el magma alcanza la superficie y fluye sobre el cráter a lo largo de los flancos del volcán (OEP, 1972).

Las lavas que ha emitido el volcán de Fuego son viscosas, por lo que al salir del cráter lo hacen en forma de bloques al rojo vivo que llegan a alcanzar varios metros de diámetro. Por lo tanto, su avance es más lento, pudiendo viajar solamente distancias cortas. Desde 1975 se ha observado que estos flujos han formado varias lenguas de bloques que no han alcanzado distancias superiores a los 5 km, por lo que nunca han llegado a grandes poblaciones (Figura VI.2) (Díaz, 2000 y Saucedo et al., 1997).

Los años en que el Volcán ha presentado éste tipo de manifestación son: 1749, 1795, 1806-1808, 1869, 1870-1871, 1872, 1873-1874, 1877-1879, 1880-1881, 1885-1886, 1889, 1896, 1897, 1898, 1903, 1904-1905, 1908-1909, 1957, 1962, 1975-1976 y 1981-1982 (Martín del Pozo, 1988) y en 1992 presentó flujo de bloques en su lado suroeste (Espíndola, 1999). En julio de 1994 se presentó un nuevo flujo de bloques en la parte suroeste del volcán (Espíndola, 1999).

En lugares como Islandia, para controlar este tipo de efectos se han sugerido varios métodos, como el enfriamiento por bombeo hidráulico y la construcción de muros para desviar

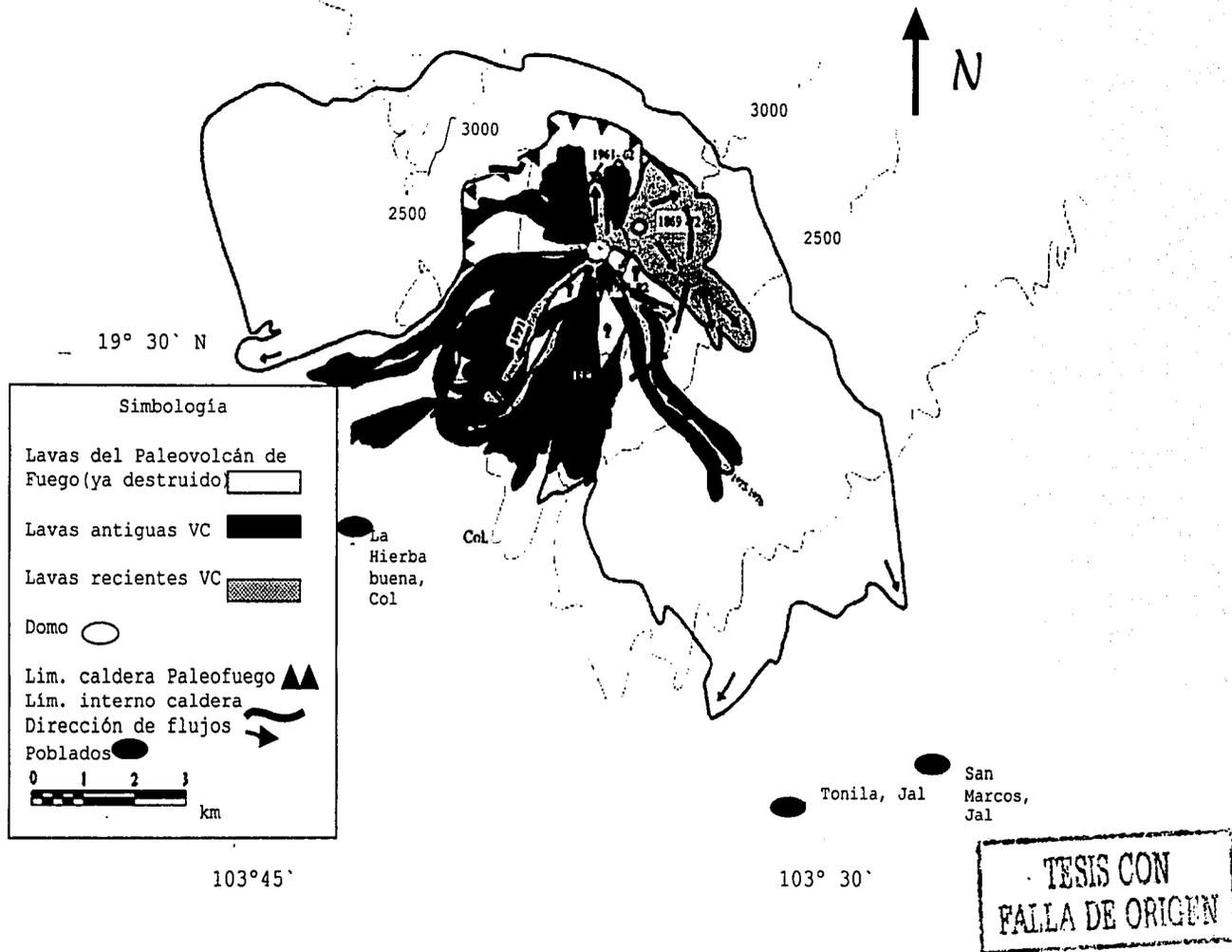


Figura VI.2.- Flujos de lava antiguos del Volcán de Colima (Modificado de Saucedo et al., 1997)

el flujo de lava de áreas pobladas (Mason y Foster, 1953). Sin embargo para el caso del Volcán de Colima, este tipo de medidas no se han adoptado puesto que la distancia que recorre el flujo de lava es corto.

Productos Piroclásticos. Materiales de Caída Aérea. Durante una erupción explosiva, el volcán expulsa fragmentos de roca sólida y derretida, así como gases volcánicos hacia la atmósfera con una gran fuerza.

Los fragmentos de roca más grandes son bombas y pueden caer a distancias de varios kilómetros del cráter o lugar de emisión. Algunas bombas con diámetro superior a los 5 cm pueden alcanzar de 4 a 7 km de distancia. Los fragmentos pequeños, es decir, menores a 5 cm constituyen la ceniza que mientras más fina sea, se deposita a mayor distancia del volcán (Crandell, 1969).

La erupción del 20 de enero de 1913 del Volcán Colima, se extendió sobre un área superior a los 141 mil km², llegando las partículas más finas hasta la Cd. de Saltillo, Coahuila (Figura VI.3). Ésta erupción causó una lluvia de ceniza de 15 cm de espesor sobre Ciudad Guzmán (a 26 km del Volcán), al igual que en Zapotiltic y El Rincón, Jal; en Los Mazos, Jal. (a 13 km del Volcán), cayeron alrededor de 25 cm de ceniza (Saucedo et al., 1997).

A una distancia entre 7.5 y 12.5 km del cráter cayeron aproximadamente de 30 a 45 cm de ceniza. Estas cantidades de ceniza cayeron porque los vientos dominantes iban en la misma dirección, transportando las cenizas hacia el noreste, que es hacia donde soplaban el viento cuando ocurrió la erupción. De ocurrir otra erupción de este tipo, la distribución y espesor de la ceniza sería semejante, aunque en la dirección de los vientos dominantes (Saucedo et al., 1997).

Los años en que el Volcán ha presentado éste tipo de manifestación son: 1576, 1585, 1590, 1606, 1611, 1612, 1680, 1690, 1770-1771, 1795, 1804, 1806-1808, 1818, 1869, 1870, 1871, 1872, 1873-1874, 1877-1879, 1880-1881, 1885-1886, 1889, 1890-1892, 1893, 1897, 1900-1902, 1903, 1908-1909, 1913, 1967 y 1977-1978 (Martín del Pozo, 1988). La actividad eruptiva del Volcán en 1991 provocó una lluvia de ceniza en su lado suroeste. En julio de 1994 se presentó una lluvia de ceniza que se depositó en la parte suroeste del volcán (Espindola, 1999).

Entre los desastres que ocasionan las lluvias de ceniza se pueden mencionar la destrucción de vegetación, la contaminación de agua superficial, el daño estructural a edificios causado por el incremento de carga en los techos y los daños en la salud tales como irritación del sistema respiratorio y ojos, entre otros (Crandell, 1969).

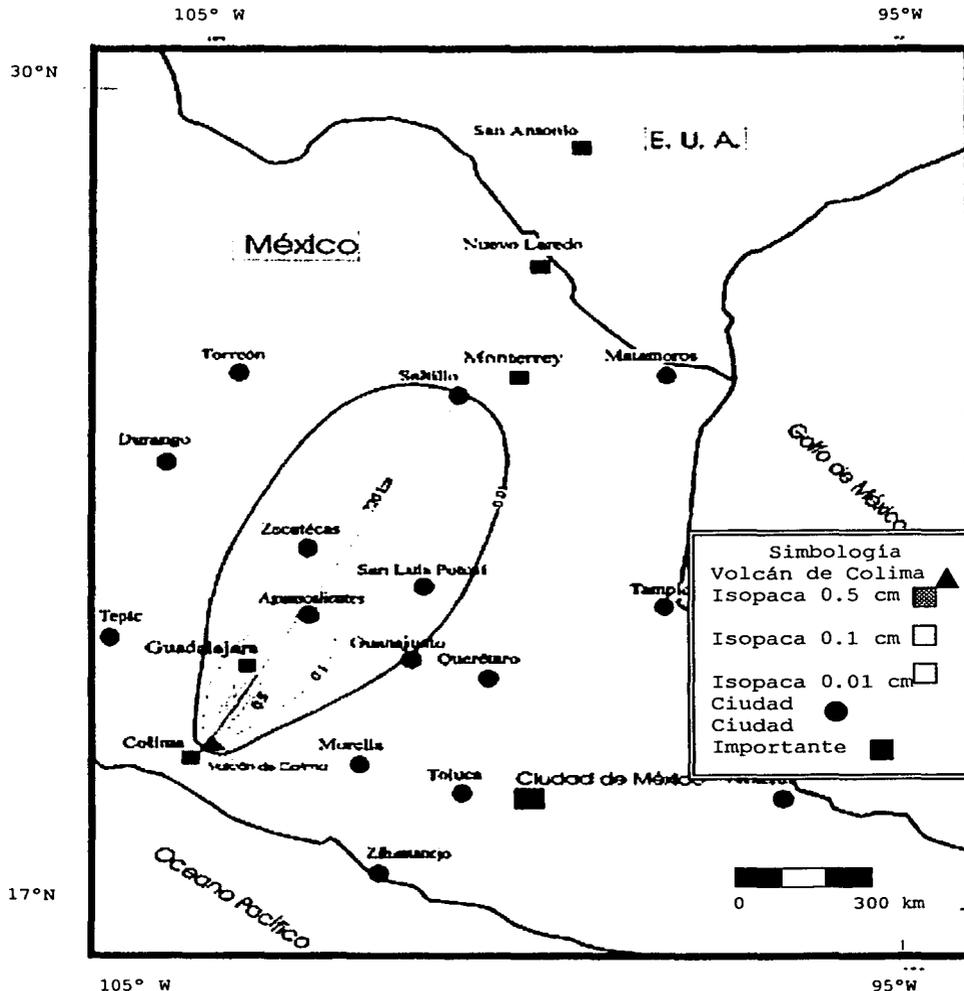


Figura VI.3.- Alcances distales de los depósitos de caída aérea producidos durante la erupción de 1913 (Modificado de Saucedo et al., 1997).

Flujos Piroclásticos. Son avalanchas calientes de ceniza, fragmentos de roca y gases que descienden del volcán a altas

velocidades, a lo largo de las cañadas y barrancas. Estos flujos pueden alcanzar temperaturas de 800°C y moverse a velocidades de 80 km/h a mayores que 300 km/h; tienden a encañonarse en las barrancas y son capaces de derribar, quemar y sepultar todo a su paso(Saucedo et al., 1997).

Durante la erupción de 1913 del Volcán de Fuego, descendieron de la cima flujos piroclásticos de alta velocidad y temperatura que alcanzaron distancias hasta de 15 km y se encauzaron por la mayoría de las barrancas que descienden hacia el sur, suroeste y sureste del volcán(Saucedo et al., 1997).

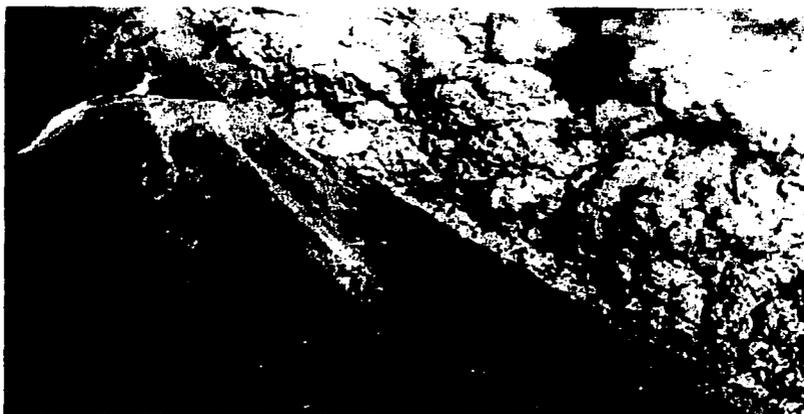


Figura VI. 4.- Fotografía de un flujo piroclástico descendiendo de la cima durante la erupción de 1991 del Volcán de Colima(Saucedo et al., 1997).

De acuerdo con Saucedo et al.(1997), si existiera una erupción como la de 1913, las comunidades siguientes estarían en mayor peligro de ser directamente afectados por flujos piroclásticos, en el Estado de Colima: La Yerbabuena(180 hab. INEGI, 1995), La Becerrera(302 hab. INEGI, 1995) y Quesería (7735 hab. INEGI, 1995); en el estado de Jalisco: El Durazno, Canutillo, Los Machos, Ojo de Agua, Causenta, un rancho ubicado a 2 km al noroeste de Causenta, Cofradía y San Marcos.

Las comunidades de Ex-hacienda San Antonio, Barranca del Agua, ranchos vecinos ubicados a unos metros de la carretera Quesería-Suchitlán, en la intersección con el camino de terracería que va al rancho La Joya, podrían ser afectados por el impacto indirecto de flujos piroclásticos.

Desde 1975, se han observado este tipo de flujos, que no ha tenido grandes efectos destructivos, salvo algunos incendios en pequeñas zonas boscosas en la zona del volcán(Díaz, 2000).

Estos flujos juegan un papel muy importante debido a la frecuencia con la que han sucedido, en comparación a otros peligros volcánicos, ya que en el siglo XX se presentaron en al menos 7 ocasiones, teniendo como alcance mínimo 3.6 km en 1994 y más de 15 km en 1913(Macías, 1998).

Los años en que el Volcán ha presentado éste tipo de manifestación son: 1611-1612, 1616(Espíndola, 1999), 1690, 1818 y 1913(Martín del Pozo, 1988), Noviembre-Diciembre de 1998(UCOL, 2002).

Este tipo de actividad es la que representa mayor peligro para los habitantes de Colima.

Liberación de Gases. Varios gases, incluyendo vapor de agua, CO₂, CO y H₂S se emiten durante una erupción. El 90% de los gases emitidos lo constituyen el vapor de agua y CO₂. Rara vez, los gases venenosos llegan a áreas pobladas en concentraciones tóxicas. Sin embargo, SO₂ puede entrar en la atmósfera y producir lluvia ácida lo que ocasionaría daños ecológicos, así como también la emisión de algunos químicos como gases durante la erupción, al alcanzar concentraciones tóxicas, pueden ser absorbidos por ceniza volcánica la cual al depositarse, se incorpora al suelo y dentro de plantas comestibles que son consumidas por el hombre y el ganado(IAVCEE, 1994).

EFFECTOS SECUNDARIOS POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Lahares. Los lahares son flujos de lodo o de escombros provenientes principalmente de los flancos de un volcán. Estos flujos de lodo, rocas y agua pueden descender por barrancas a velocidades de 30 a 60 km por hora. Cerca de su origen, estos flujos tienen el poder suficiente de derribar árboles y casas, así como transportar corriente abajo bloques de roca de varias toneladas(Figura VI.5).



Figura VI.5.- Bloque de roca transportado tres kilómetros río abajo en la barranca "El Cordován", por un lahar ocurrido el 6 de octubre de 1994 (UCOL, 2002).

Lejos de su fuente, estos flujos pueden inundar con lodo todo a su paso. Los lahares pueden ocurrir no solamente durante una erupción, sino también cuando el volcán está tranquilo. El agua que da origen a los lahares proviene principalmente de las lluvias intensas. Los flujos piroclásticos, al finalizar su descenso y detenerse, depositan sus materiales en las barrancas. Al presentarse lluvias intensas, estos depósitos fluyen hacia abajo, formando lahares (Saucedo et al., 1997).

La erupción del Volcán de Colima de 1913 tuvo una duración máxima de aproximadamente 6 días. Esta erupción ocurrió en enero, durante la temporada seca, y los flujos piroclásticos rellenaron muchas de las barrancas de la parte media del volcán. Estando ya tranquilo el volcán, meses después vinieron las lluvias y se produjeron lahares intensos que ocasionaron la muerte de por lo menos una persona cerca de San Marcos, Jal (Saucedo et al., 1997).

Ésta erupción expulsó tanto material (poco más de 1 kilómetro cúbico), que durante las temporadas de lluvias de los 3 años subsecuentes se estuvieron formando lahares voluminosos que descendieron por las barrancas jaliscienses Beltrán, La Arena, Santa Ana, La Tuna y El Muerto, vertiendo escombros volcánicos en el Río Tuxpan. Mientras, por el lado de Colima, los lahares o flujos de lodo y escombros descendieron por las barrancas San Antonio, Cordobán, Santa Cruz, El Zarco, La

Lumbre y Montegrande, vertiendo su material en el Río Armería(Saucedo et al., 1997).

Saucedo et al.(1997) sugieren que las siguientes comunidades y ranchos son las que se encuentran bajo mayor peligro de ser afectados por lahares. En el estado de Colima: la Yerbabuena, La Becerrera, El Jabalí, La Joya, Rancho de Pedro Virgen en La Lumbre, área recreativa de la laguna La María, Monte Alto, Ex hacienda San Antonio, El Remate, La Limonera y El Pedregal. En el estado de Jalisco: El Durazno, Canutillo, Los Machos, Ojo de Agua, Causenta, un rancho ubicado a 2 km al noroeste de Causenta, El Fresnal, Cofradía, San Marcos, La Albarrada, Tonilita, Villegas, La Higuera.

La lluvia registrada el 17 de Julio de 1999 generó un lahar de corto alcance(no mayor que 4 km desde la cima), que fue originado a partir del depósito de bloques y cenizas del derrumbe ocurrido esa mañana y que discurrió por las barrancas Montegrande, San Antonio y Cordobán(UCOL, 2002).

Derrumbes Volcánicos o Avalanchas de Escombros. Un derrumbe volcánico o avalancha de escombros es un rápido movimiento pendiente abajo de una parte o de todo el edificio volcánico. Los volcanes con pendientes pronunciadas son los más propensos a los derrumbes(Keller, 1996).

Algunas rocas de los volcanes han sido alteradas y convertidas en minerales suaves y poco compactos por la acción de gases ácidos y agua circulante. Los derrumbes o colapsos de las pendientes de los volcanes pueden ser disparados por erupciones, lluvias intensas o sismos grandes, los cuales provocan que estos materiales se desprendan y se muevan pendiente abajo(Saucedo et al., 1997).

Los flujos de lava de bloques pueden fragmentarse y generar derrumbes que al deshacerse pueden liberar cantidades considerables de polvo piroclástico, como fue el caso de la actividad del Volcán de Fuego de Colima el 16 y 18 de Abril de 1991(Díaz, 2000).

Durante los últimos 10,000 años, han descendido por lo menos dos grandes avalanchas de escombros provenientes de la ruptura y colapso de una buena parte del volcán que antes ocupaba el lugar del actual Volcán de Fuego, cubriendo con sus depósitos el área donde actualmente se encuentran las ciudades de Colima y Villa de Alvarez, así como la mayoría de las comunidades colimenses ubicadas al norte de estas

ciudades, incluyendo las áreas jaliscienses donde actualmente se ubican Tonila, San Marcos y las localidades que las rodean (Saucedo et al., 1997). Los años en que el Volcán a presentado éste tipo de manifestación son: 1991(Saucedo et al., 1997), Noviembre-Diciembre de 1998 y Julio de 1999(UCOL, 2002).

Incendios. Estos son provocados principalmente por flujos piroclásticos que arrasan e incendian todo a su paso. Afortunadamente, en el Estado de Colima, no han ocasionado severos daños(Saucedo et al., 1997).

ACTIVIDADES PARA MITIGAR DEL RIESGO VOLCÁNICO

Las actividades que permiten mitigar los riesgos señalados incluyen las siguientes tareas(IAVCEE, 1994):

- 1) Monitoreo de la Actividad Sísmica, ya que los sismos frecuentemente proporcionan la advertencia temprana que una erupción pueda ocurrir.
- 2) Monitoreo Geofísico. Este monitoreo se basa en el hecho de que antes de una erupción, un gran volumen de magma tiene movimiento en el interior del volcán. El material caliente cambia las condiciones magnéticas, térmicas, hidrológicas y geoquímicas locales(Francis, 1976). El monitoreo topográfico y sísmico de los volcanes, se han utilizado para predecir algunas erupciones volcánicas.
- 3) Monitoreo de emisiones de gases, cuyo objetivo principal es el reconocimiento de cambios en la geoquímica de los gases. En particular, los cambios en la composición del gas(cantidades relativas de diferentes gases tales como vapor, CO₂, SO₂, etc.) o cambios en la proporción de emisión de SO₂, se piensa que están relacionados a cambios en los procesos en el interior del volcán que pueden indicar movimiento de magma hacia la superficie.
- 4) Zonificación y elaboración de mapas de riesgo volcánico y uso de terreno en base a la geología histórica del volcán. Esta actividad incluye el estudio de los depósitos que dejaron las erupciones antiguas de un volcán para averiguar su edad y estilo de erupción. Con estos datos y otros conocimientos teóricos, los científicos pueden estimar los tiempos típicos de reposo de un volcán y el tipo de erupciones que puede tener.

Tomando como base las actividades anteriores, mediante una vigilancia razonable es posible obtener un pronóstico confiable con adecuado margen de advertencia y disminuir de ésta manera el riesgo que representa el Volcán de Colima (Espíndola, 1999).

El Volcán de Colima o de Fuego en la frontera de Jalisco y Colima posee una pequeña red de sismógrafos y se llevan a cabo algunas determinaciones periódicas de temperaturas en la cima y algunas otras variables físicas y químicas con frecuencia relativa (Espíndola, 1999). Estos datos son fundamentales para prevenir los riesgos de actividad volcánica que pueden afectar al Estado de Colima.

Capítulo VII.- NIVEL DEL MAR Y CAMBIO GLOBAL

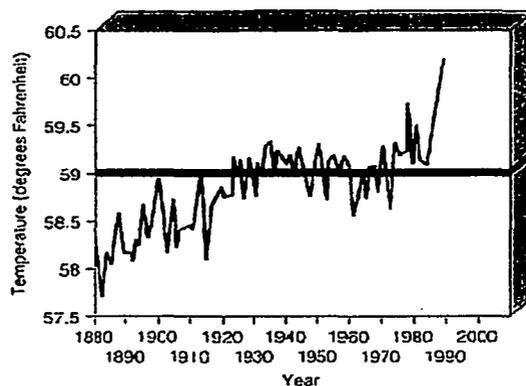
Del calentamiento global se empezó a hablar a fines del siglo pasado por Arrhenius, un químico sueco quien se dio cuenta de que el aumento del dióxido de carbono era inevitable debido a que las combustiones estaban en ascenso porque ya el hombre, en ese momento consumía carbón y petróleo, lo que tiene como efecto el cierre de la ventana de radiación y esto iba a producir un aumento en la temperatura(Canziani, 1999).

El Cambio Global se refiere a las modificaciones del medio ambiente mundial(incluyendo alteraciones del clima, la productividad de la tierra, los océanos u otros recursos hídricos, la química atmosférica y los sistemas ecológicos) que pueden alterar la capacidad de la tierra para sustentar la vida(IAI).

Para poder comprender el cambio climático global y el aumento de la temperatura global se debe primero comprender el clima global y cómo opera. El clima es consecuencia del vínculo que existe entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielos(criósfera), los organismos vivientes(biósfera) y los suelos, sedimentos y rocas(geósfera). Sólo si se considera al sistema climático bajo esta visión holística, es posible entender los flujos de materia y energía en la atmósfera y finalmente comprender las causas del cambio global(GCCIP, 1997).

El Cambio Global Climático, es un cambio que se ha atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica, agregada a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo(EEI, 1997).

GCCIP(1997), afirma que la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado aproximadamente 0.6°C en el último siglo(Fig. VII.1). Las emisiones de dióxido de carbono por quema de combustibles, han aumentado a 6.25 mil millones de toneladas en 1996, un nuevo récord. Por otro lado, 1996 fue uno de los cinco años más calurosos que existe en los registros(desde 1866).



TEJIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura VII.1.- Aumento de temperatura global (Tomado de Miller, 1991)

De acuerdo con IPCC(1995), la duplicación de los gases de invernadero incrementarían la temperatura terrestre entre 1 y 3.5°C . Por otro lado, el aumento de temperatura sería el más rápido en los últimos 100,000 años, haciendo muy difícil que los ecosistemas del mundo se adapten.

El principal cambio a la fecha ha sido en la atmósfera, el hombre ha modificado y continúa modificando el balance de gases que forman la atmósfera. Esto es notorio en gases invernadero claves como el CO₂, Metano(CH₄) y óxido nitroso(N₂O). Estos gases naturales son menos de una décima de un 1% del total de gases de la atmósfera, pero son vitales pues actúan como una "frazada" alrededor de la Tierra. Sin esta capa la temperatura mundial sería 30°C más baja.

El problema es que la "frazada" se está volviendo más gruesa, debido a la quema de carbón, petróleo y gas natural que liberan grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera. Al talar bosques y quemar madera se reduce la absorción de CO₂ realizado por los árboles y conjuntamente se libera el dióxido de carbono contenido en la madera. Si el crecimiento de la emisión de gases invernadero se mantiene en el ritmo actual los niveles en la atmósfera llegarán a duplicarse, comparados con la época preindustrial, durante el siglo XXI. Si no se toman medidas es posible hasta triplicar la cantidad antes del año 2100(GCCIP, 1997).

Los científicos sugieren que como resultado de esto, seguramente habrá un aumento global de la temperatura entre 1.5 y 4.5°C en los próximos 100 años. Esto agregado al ya

existente aumento de 0.5°C que ha experimentado la atmósfera desde la revolución industrial(WHO, 1986).

El aumento de temperatura tendrá efectos expansivos. Los patrones de lluvia y viento, que han prevalecido por cientos y miles de años, de las que dependen millones de humanos, podrían cambiar. El nivel del mar podría subir y amenazar islas y áreas costeras bajas. En un mundo crecientemente sobrepoblado y bajo estrés, con suficientes problemas de antemano, estas presiones causarán directamente mayor hambruna y otras catástrofes(Gallardo, 1997).

Según Gallardo(1997), aun un pequeño aumento de temperatura puede causar un aumento dramático de muertes debido a eventos de temperaturas extremas; el esparcimiento de enfermedades tales como la malaria, dengue y cólera; sequías, falta de agua y alimentos. GCCIP(1997) lo plantea así: "El cambio climático con certeza conllevará una significativa pérdida de vidas"(Dunn, 1997).

La cantidad de dióxido de carbono ha aumentado desde 295 ppm anterior a la época industrial, a una cifra actual de 359 ppm. Este aumento corresponde a un 50% de lo esperado, basado en la tasa de quema de combustibles fósiles. El calentamiento de la Tierra, además de descongelar las capas polares, puede causar un cambio en el sistema de circulación del aire, cambiando patrones de lluvia(GCCIP, 1997).

CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

La energía recibida por la Tierra desde el Sol, debe ser balanceada por la radiación emitida desde la superficie terrestre. En la ausencia de cualquier atmósfera, la temperatura superficial sería aproximadamente -18 °C . Esta es conocida como la *temperatura efectiva de radiación terrestre*. La temperatura superficial terrestre, es de aproximadamente 15°C(Gallardo, 1997).

El Efecto Invernadero. La razón de esta discrepancia de temperatura, es que la atmósfera es casi transparente a la radiación de onda corta, pero absorbe la mayor parte de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre. Varios componentes atmosféricos, tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono, tienen frecuencias moleculares vibratorias en el rango espectral de la radiación terrestre emitida. Estos gases de invernadero absorben y reemiten la radiación de onda larga, devolviéndola a la superficie

terrestre, causando el aumento de temperatura, fenómeno denominado Efecto Invernadero(GCCIP, 1997) (Fig. VII.2).

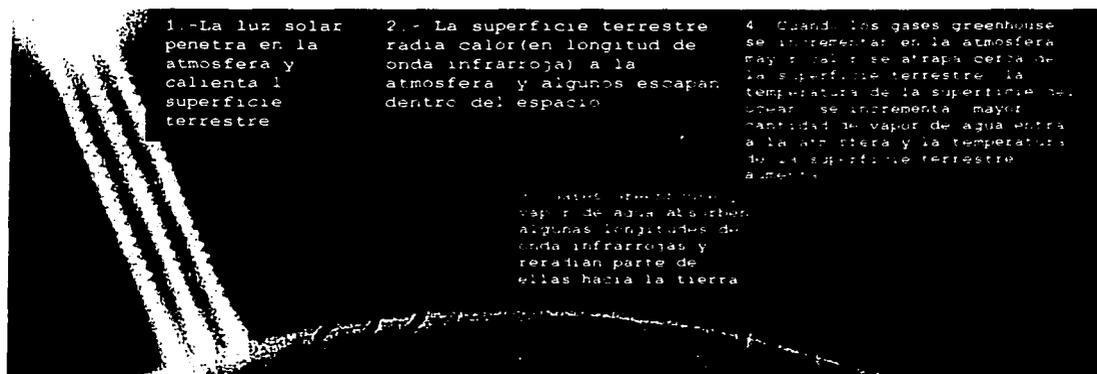


Figura VII. 2.- Efecto Invernadero(Modificado de Miller, 1991)

El vidrio de un invernadero similar a la atmósfera es transparente a la luz solar y opaca a la radiación terrestre, pero confina el aire a su interior, evitando que se pueda escapar el aire caliente(McIlveen, 1986; Anderson et al., 1987). Por ello, en realidad, el proceso involucrado es distinto y el nombre es bastante engañoso, el interior de un invernadero se mantiene tibio, ya que el vidrio inhibe la pérdida de calor a través de convección hacia el aire que lo rodea.

Una de las muchas amenazas a los sistemas de sostén de la vida, resulta directamente de un aumento en el uso de los recursos. La quema de combustibles fósiles y la tala y quema de bosques, liberan dióxido de carbono. La acumulación de este gas, junto con otros, atrapa la radiación solar cerca de la superficie terrestre, causando un calentamiento global. Esto podría en los próximos 45 años, aumentar el nivel del mar lo suficiente como para inundar ciudades costeras en zonas bajas y deltas de ríos. También alteraría drásticamente la producción agrícola internacional(WMO, 1986).

Uno de los resultados del Efecto Invernadero, es mantener una concentración de vapor de agua en la baja troposfera mucho más alta de la que sería posible en las bajas temperaturas que presentes, si no existiese el fenómeno(Anderson et al., 1987).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla VII.1.- Resumen sobre Gases Invernadero (Tomado de Gallardo, 1997)

Gas Invernadero	Concentración 1750	Concentración 1992	Fuerza Irradiativa (W/m ²)
Dióxido de Carbono	280 ppmv	355 ppmv	1,56
Metano	0,8 ppmv	1,72 ppmv	0,5
Oxido Nitroso	275 ppbv	310 ppbv	0,1
CFC-11	0	280 pptv	(siguiente)
CFC-12	0	484 pptv	0,3 (todos los CFCs)
HCFCs/HFCs	0	Sin datos	0,05
Ozono Troposférico	Sin datos	Variable	0,2 - 0,6
Ozono Estratosférico	Sin datos	300 unidad. dobson	-0,1

pmv: partes por millón volumen
 ppbv: partes por billón volumen
 pptv: partes por trillón volumen

Dióxido de Carbono (CO₂).

Es el más importante de los gases, involucrado en un complejo ciclo global. Se libera desde el interior de la Tierra a través de fenómenos tectónicos, de la respiración, procesos de suelos, combustión de compuestos con carbono y la evaporación oceánica. Es disuelto en los océanos y consumido en procesos fotosintéticos. En la actualidad su concentración ha llegado a 359 ppmv (partes por millón volumen), producto de la acción antropogénica debido a la quema de combustibles fósiles y materia orgánica en general (Post et al., 1990). Sus fuentes naturales son: respiración, descomposición de materia orgánica e incendios forestales naturales (Gallardo, 1997).

Metano (CH₄)

Es producido principalmente a través de procesos anaeróbios tales como los cultivos de arroz o la digestión animal. Es destruida en la baja atmósfera por reacción con radicales hidróxilo libres (-OH). Como el CO₂, sus concentraciones aumentan por acción antropogénica directa e indirectamente (CEQ, 1990). Su fuente natural es través de la

descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, también en los sistemas digestivos de termitas y rumiantes. Antropogénicamente, a través de cultivos de arroz, quema de biomasa, quema de combustibles fósiles, basureros y el aumento de rumiantes como fuente de carne (Gallardo, 1997).

Óxido Nitroso (N_2O)

Es producido por procesos biológicos en océanos y suelos, también por procesos antropogénicos que incluyen combustión industrial, gases de escape de vehículos de combustión interna, etc. Es destruido fotoquímicamente en la alta atmósfera (Rodhe, 1990).

Ozono (O_3)

El ozono (O_3) en la estratósfera filtra los UV dañinos para las estructuras biológicas, es también un gas invernadero que absorbe efectivamente la radiación infrarroja. La concentración de ozono en la atmósfera no es uniforme sino que varía según la altura. Se forma a través de reacciones fotoquímicas que involucran radiación solar, una molécula de O_2 y un átomo solitario de oxígeno. También puede ser generado por complejas reacciones fotoquímicas asociadas a emisiones antropogénicas y constituye un potente contaminante atmosférico en la tropósfera superficial. Es destruido por procesos fotoquímicos que involucran a radicales hidróxilos, NO_x y cloro (Cl , ClO). La concentración es determinada por un fino proceso de balance entre su creación y su destrucción. Se teme su eliminación por agentes que contienen cloro (CFCs), que en las alturas estratosféricas, donde está la capa de ozono, son transformadas en radicales que alteran el fino balance que mantiene esta capa protectora (GCCIP, 1997).

Halocarbonos.

Se dividen en: 1) clorofluorocarbonos (CFCs) y 2) hidroclofluorocarbonos (HCFCs) e hidrofliuorocarbonos (HFCs).

Los primeros son compuestos mayormente de origen antrópico, que contienen carbono y halógenos como cloro, bromo, flúor y a veces hidrógeno. Los clorofluorocarbonos (CFCs) comenzaron a producirse en los años 30 para refrigeración. Posteriormente se usaron como propulsores para aerosoles, en la fabricación de espuma, etc. Existen fuentes naturales en las que se producen compuestos relacionados, como los metilhaluros (Waters, 1993).

Los segundos, son compuestos de origen antrópico que están usándose como sustitutos de los CFCs, sólo considerados como

transicionales, pues también tienen efectos de gas invernadero. Estos se degradan en la troposfera por acción de fotodisociación. Por la larga vida que poseen son gases invernadero miles de veces más potentes que el CO₂ (Gallardo, 1997).

Agua (H₂O).

El vapor de agua es un constituyente vital de la atmósfera, en promedio 1% por volumen, aunque con variaciones significativas en las escalas temporales y espaciales. Por su abundancia es el gas de invernadero de mayor importancia, jugando un rol de vital importancia en el balance global energético de la atmósfera (Gallardo, 1997).

Aerosoles.

La variación en la cantidad de aerosoles afecta también el clima. Incluye polvo, cenizas, cristales de sal oceánica, esporas, bacterias, etc. Sus efectos sobre la turbidez atmosférica pueden variar en cortos periodos de tiempo. Las fuentes naturales se calculan que son 4 a 5 veces mayores que las antropogénicas. Tienen el potencial de influenciar fuertemente la cantidad de radiación de onda corta que llega a la superficie terrestre (Gallardo, 1997).

Como conclusión, la atmósfera esta principalmente constituida por nitrógeno, oxígeno y algunos otros gases traza y aerosoles que regulan el sistema climático, al regular el balance energético entre la radiación solar incidente y la radiación terrestre que se emite. La mayor parte de la atmósfera se encuentra por debajo de los 10 km., en la tropósfera, en la que el clima terrestre opera, y donde el efecto invernadero opera en forma más notoria. Por encima de ella se encuentran capas que son definidas por sus temperaturas.

Mecanismos de Forzamiento de Radiación. Un proceso que altera el balance energético del sistema climático global o parte de él, se denomina un mecanismo forzado de radiación. Estos están separados a su vez, en mecanismos forzados internos y externos. Los externos, operan desde fuera del sistema climático, incluyen variaciones de órbita y cambios en el flujo solar. Los mecanismos internos, operan desde dentro del sistema climático, como por ejemplo la actividad volcánica y cambios en la composición de la atmósfera (GCCIP, 1997).

Variaciones de Órbita.

Los cambios en el carácter de la órbita terrestre alrededor del Sol, se dan en escalas de tiempo de milenios o más largos. Pueden significativamente alterar la distribución estacional y latitudinal de la radiación recibida. Son conocidas como *Ciclos Milankovitch*. Son estos ciclos los que fuerzan cambios entre condiciones glaciales e interglaciales sobre la Tierra, con escalas de entre 10,000 y 100,000 años (Bryant, 1997).

Variabilidad Solar.

Otro de los mecanismos de fuerza externa, corresponde a cambios físicos en el mismo Sol, que pueden alterar la intensidad y el carácter del flujo de radiación solar. Es indudable que éstos ocurren en un rango variable de tiempo. Uno de los ciclos más conocidos es el de las manchas solares, cada 11 años. Otros parámetros, como el diámetro solar, también varían. Aún no existen datos suficientes para corroborar variaciones fuertes como para generar cambios climáticos (GCCIP, 1997).

Actividad Volcánica.

Es un ejemplo de un mecanismo de fuerza interno. Las erupciones volcánicas inyectan grandes cantidades de polvo y dióxido de azufre, en forma gaseosa a la atmósfera superior, la estratósfera, aquí son transformados en aerosoles de ácido sulfúrico. Se mantienen ahí por varios años, gradualmente esparciéndose por todo el globo. La contaminación volcánica resulta en reducciones de la iluminación solar directa (puede llegar a un 5 ó 10%) y generan bajas considerables de temperatura.

Composición Atmosférica.

Cambios naturales en el contenido de dióxido de carbono atmosférico, ocurrieron durante las transiciones glaciales - interglaciales, como respuesta a mecanismos de fuerzas orbitales. En la actualidad, la humanidad es el factor más sustancial de cambio (GCCIP, 1997).

Retroalimentación.

El sistema climático está en un balance dinámico. Por ello está continuamente ajustándose a perturbaciones forzadas, y como resultado, el clima se ve alterado. Un cambio en cualquier parte del sistema climático, iniciado por mecanismos forzados internos o externos, tendrán una consecuencia mucho más amplia, a medida que el efecto se propaga en cascada, a través de los componentes asociados en el sistema climático, se amplifica. Esto es conocido como

retroalimentación. A medida que un efecto es transferido, desde un subcomponente del sistema a otro, se verá modificado en carácter o en escala. En algunos casos el efecto inicial puede ser amplificado (retroalimentación positiva), mientras que en otros, puede verse reducido (retroalimentación negativa).

Un ejemplo de un mecanismo de retroalimentación positiva, involucra el vapor de agua. Una atmósfera más caliente potencialmente aumentará la cantidad de vapor de agua en ella. Ya que el vapor de agua es un gas invernadero, se atraparán más energía que aumentará la temperatura atmosférica más todavía. Esto a su vez, produce mayor vapor de agua, estableciéndose una retroalimentación positiva (GCCIP, 1997).

CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Si el aumento de emisiones sigue como hasta ahora, sin tomar ninguna medida, la temperatura media global en la superficie terrestre será de 1.2 a 3.5°C mayor que la actual hacia el año 2080. Los continentes se calentarán el doble de rápido que los océanos, y también se notará más el aumento de temperatura en los inviernos en latitudes altas. Lloverá más en algunas regiones pero menos en otras, y los trópicos, zona de gran riqueza ecológica, sufrirán notables alteraciones de su régimen de lluvias (Canziani, 1999).

Aumento del Nivel del Mar. El nivel del mar subirá lenta pero constantemente, y en el 2080 aumentará unos 40 cm de promedio global. En consecuencia se calcula que 81 millones de personas sufrirán inundaciones por esta causa. La gran mayoría de países del sudeste asiático, desde Pakistán hasta Vietnam, incluyendo Indonesia y Filipinas, y también los de África oriental y el Mediterráneo, los pequeños estados insulares del Caribe, del Océano Índico y del Pacífico corren el riesgo de desaparecer (Titus et al., 1985).

Este efecto puede disminuirse si se adoptan medidas para reducir las emisiones de CO₂ y se estabilizaran al 50% de las actuales, los cálculos científicos indican que se retardaría al ascenso del nivel del mar en unos 40 años, reduciendo el número de afectados por inundación en el 2080 en 75 millones de personas (Canziani, 1999).

Afortunadamente las costas de Colima no se encuentran potencialmente amenazadas por un aumento significativo del nivel del mar, puesto que la pendiente de su plataforma

continental es alta, lo que reduce la posibilidad de una rápida invasión de aguas marinas. No obstante en las partes bajas de la llanura costera, podría incrementarse el riesgo de salinización de los mantos acuíferos.

Disminución del Agua Disponible. El aumento de temperatura junto con la alteración del régimen de lluvias y la salinización de acuíferos costeros por intrusión salina, harán que en muchas zonas escasee el agua disponible, tanto para beber como para riego(Keller, 1996). Este efecto puede causar grandes daños en las costas colimenses, puesto que al disminuir la disponibilidad de agua potable y la salinización de los acuíferos, la única opción para obtener agua potable en las costas es la instalación de plantas desalinizadoras de agua, cuyo costo es muy elevado. Se estima que en el año 2080 unos 3000 millones de personas sufrirán escasez de agua, especialmente en zonas ya con graves problemas de abastecimiento: el norte de África, Oriente Medio y la India.

Se prevee también una disminución del caudal de los ríos en Australia, la India, el Sur de África, la mayor parte de Europa y Sudamérica y Oriente Medio. Si se redujesen los niveles de emisiones hasta estabilizarlos a un 50% por encima de la concentración actual estos impactos podrían mitigarse sustancialmente, retrasando más de un siglo el impacto sobre el caudal de los ríos y disminuyendo en 2000 millones la población afectada por la escasez de agua(Canziani, 1999).

Hambre y Enfermedades. Las cosechas se verán alteradas por dos factores principalmente: el calor, que induce mayor evapotranspiración de las plantas, que requieren por ello más agua, y la abundancia de CO₂, que tiene un efecto fertilizante. Las previsiones son de aumento de rendimiento en latitudes medias y altas, y menor producción en zonas subtropicales, como en la India, y especialmente en África, que se enfrentará a nuevas hambrunas(Keller, 1996).

El aumento global de temperatura dará lugar a una extensión del campo de acción de insectos portadores de enfermedades, como la falciparum malaria que se estima que en el 2080 afectará a 290 millones de personas más que hoy, la mayoría en China y Asia central. Pero también se ha calculado que un esfuerzo de reducción de emisiones disminuiría considerablemente este número(Canziani, 1999).

Al tener lugar un incremento en el nivel del mar en el litoral colimense, se perderían los cultivos de la zona

costera, por lo que además de existir cuantiosas pérdidas económicas, traería la aparición de hambrunas, aunado a la aparición de insectos portadores de enfermedades.

PREVISIÓN DEL IMPACTO POR CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.

La previsión de los impactos que el cambio climático podría causar y el propósito de evitarlos, llevaron a la ONU en 1992 a impulsar un acuerdo internacional: la Convención Marco sobre Cambio Climático. Este acuerdo tardó 5 años en concretarse en un compromiso de reducción de emisiones, el Protocolo de Kioto, y desde entonces han pasado otros 3 años sin que se hayan cerrado todos los términos del acuerdo y por tanto aun no ha entrado en vigor (Canziani, 1999).

En el Protocolo se establecen para los países desarrollados, unos límites concretos de reducción o limitación conjunta de emisiones de 6 tipos de gases (no solo de CO₂ que es con mucho el principal causante del problema) en relación al nivel de emisiones que tenían en 1990, y estas reducciones deben ser alcanzadas en el periodo 2008-2012.

La disminución global promedio es solo de un 5%, muy inferior a la aconsejada por los científicos, y para los principales emisores se reparte así:

Unión Europea	reducirá un	8%
EEUU	reducirá un	7%
Japón	reducirá un	6%

Para facilitar que la disminución de gases se haga en la zona del mundo donde resulte más barato, se introdujeron en el Protocolo una serie de procedimientos llamados Mecanismos de Flexibilidad (EAR, 1999). Los Mecanismos de Flexibilidad son tres:

1) Comercio de Emisiones: consiste en que un país pueda apuntarse como reductor de emisiones, que en realidad no han tenido lugar, por el simple método de comprarlas.

2) Mecanismos de Desarrollo Limpio: se puede hacer un acuerdo con un país que haya firmado el Protocolo de Kioto, para invertir en algún tipo de instalación o proceso en su territorio que dé lugar a que la producción de gases de invernadero por ese tercer país sean menores (Canziani, 1999).

3) Implementación Conjunta: Este se parece al anterior, pero los dos países implicados tienen compromiso de reducción o control de emisiones (Canziani, 1999).

No es de extrañar que hasta ahora el Protocolo de Kioto solo haya sido ratificado por países e islas directamente amenazados por un aumento en el nivel del mar, y que los demás estén esperando a que se formalicen estos mecanismos, puesto que el compromiso de reducción puede ser adoptado sin la responsabilidad suficiente, que les permita realizar ninguna acción efectiva respecto al Cambio Climático (Caziani, 1999).

MEDIDAS PARA MINIMIZAR EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La única vía para mitigar los impactos del cambio climático es disminuir las emisiones de CO₂ hasta niveles que retrasen estos impactos de modo que las poblaciones y los ecosistemas tengan tiempo suficiente para adaptarse. Este nivel se sitúa en 1.8 toneladas por habitante y año para el año 2030. Actualmente la media mundial es de 4.6 toneladas de CO₂ (Durán, 1999).

Es necesario destacar que cuanto más se tarde en iniciar las medidas de reducción de emisiones, mayores tendrán que ser éstas para contrarrestar el avance en el calentamiento del planeta. La realidad es que incluso los niveles de reducción del Protocolo de Kioto, que son realmente escasos para lo que requiere la situación, resultan excesivos para la voluntad de luchar contra el cambio climático que muestran los gobiernos de países desarrollados (EAR, 1999).

Son necesarias medidas de disminución de uso de la energía mediante la promoción del ahorro y la eficiencia. Las energías a apoyar son las renovables, nunca la energía nuclear, que causa muchos más daños de los que pueda solucionar, a causa de la producción de residuos radiactivos, los problemas de seguridad y los costos económicos entre otros muchos factores (Durán, 1999). Las medidas sugeridas son:

a) Transporte.- Es un sector muy dependiente de los combustibles fósiles, cuyas emisiones de CO₂ en 1990 alcanzaban el 28% de las emisiones de origen energético y continúan creciendo rápidamente. Hay que potenciar los medios de transporte más eficientes como el transporte público y el ferrocarril convencional para desplazamientos interurbanos.

También es necesario impulsar la fabricación de motores de tecnologías menos consumidoras de carburante(EAR, 1999).

b)Eficiencia energética.- Es la obtención de los mismos bienes o servicios con menor gasto de energía. Se trata de usar nuevas tecnologías como en el caso de las lámparas de bajo consumo en iluminación. Las inversiones en eficiencia además resultan rentables a corto o medio plazo(EAR, 1999).

c)Ahorro de energía.- El aumento en el consumo de energía que viene experimentando nuestro país no responde, en gran medida, a la satisfacción de necesidades básicas sino a la creación de nuevas necesidades típicas de países ricos: por ejemplo el incremento de instalaciones de aire acondicionado que han supuesto un notable crecimiento del consumo eléctrico en verano. Si se promocionaran medidas de aislamiento térmico de edificios, y de uso adecuado de la electricidad(no para calefacción ni para cocinar) se obtendrían ahorros considerables de emisiones(EAR, 1999).

d)Energías renovables.- La promoción de energías de bajo impacto ambiental como la eólica, la solar térmica y fotovoltaica, minihidráulica y biomasa, en un contexto de promoción del ahorro y la eficiencia llevan a la sustitución de las energía fósiles y por tanto a la reducción de emisiones de CO₂(Keller, 1996).

e)Medidas económicas.- Modificar la fiscalidad de los productos energéticos con la incorporación de impuestos ambientales que se inviertan luego en eficiencia y energías renovables(EAR, 1999).

f)Medidas Ecológicas.- Terminar la deforestación y estimular la reforestación(Glick, 1997), puesto que la deforestación es una fuente importante para la generación de CO₂.

El ascenso del nivel del mar es una amenaza a nivel mundial. En particular en las llanuras costeras de suave pendiente perderán más terreno que las de mayor pendiente, como sucede en el caso del Estado de Colima. No obstante, este incremento afectará a la infraestructura turística en los casos de construcciones en promontorios rocosos. Estas construcciones se verán afectadas por un incremento de la acción corrosiva del rocío por oleaje.

Capítulo VIII.-FUENTES ALTERNAS DE MINERALES Y ENERGÍA

El Estado de Colima presenta una gran diversidad de tipos de yacimientos minerales, tanto metálicos como no metálicos. Las rocas que encajonan a estos yacimientos también son muy variadas, comprendiendo formaciones de edades desde el Cretácico al Terciario(CRM, 1994).

El origen de la mineralización puede ser volcánico, de metasomatismo de contacto, segregación o inyección magmática y cuerpos en vetas para los yacimientos de hierro; de vetas, diseminado y tipo pórfido cuprífero, para los yacimientos de cobre; segregación magmática para cobalto y placeres de playa de titanio. Los yacimientos minerales no metálicos, son sedimentarios, hidrotermales, metamórficos y pegmatíticos. Además, existen también calizas marinas y otras rocas utilizadas en la industria de la construcción(CRM, 1994).

YACIMIENTOS MINERALES METÁLICOS

En Colima, los yacimientos minerales metálicos han sido los que mayor explotación han tenido; y después del hierro, le siguen en orden de importancia los yacimientos de cobre, oro, zinc, molibdeno, titanio y cobalto(Ayllón, 1992). Estos yacimientos se dividen en 6 diferentes tipos:

1)Yacimientos de metasomatismo de contacto, que son los más importantes del estado y se pueden clasificar en tres tipos: yacimientos de hierro, de cobre y plata; y de zinc y plomo. Los yacimientos de hierro más importantes de éste tipo son el de Peña Colorada y Cerro Náhuatl que son grandes cuerpos irregulares de mineral, siendo el primero el de mayor importancia a nivel nacional, ya que de él se extrae el 30% de la producción total del país(Mapes y Pérez, 1957 y Pineda, 1969).

2)Yacimientos de Hierro de Inyección Mágmatca, que se caracterizan por estar relacionados con emplazamientos profundos e intermedios de rocas ígneas; este tipo de yacimientos se encuentran cerca del área de Minatitlán(Pineda et al., 1973).

3)Yacimientos en vetas, que son originados por el relleno de fallas, fracturas y grietas; pueden ser vetas y mantos de oro y plata como el prospecto Arrayanal en el municipio de Minatitlán; así como vetas de cobre y plata(Munguía, 1987).

4)Yacimientos diseminados. Se han reconocido dos tipos de mineral diseminado, que son los tipo pórfido cuprífero de Las Truchas, situado al norte de Manzanillo y los yacimientos asociados a brechas hidrotermales de cobre, molibdeno y plata, como el prospecto Cedros, localizado al NE de Manzanillo(Ibarra y Munguía, 1984).

5)Yacimientos de segregación magmática. Son dos las localidades exploradas hasta la fecha, Judith localizada al NE de Manzanillo y Miramar al NW del mismo puerto; éstas localidades presentan mineralización de cobalto y níquel en forma de sulfuros(CRM, 1994).

6)Yacimientos de Placer(Arenas Titaníferas). Estos yacimientos son producto de la erosión de depósitos ferríferos y del granito costero alterado. Los sedimentos finos con mineral de titanio y hierro se acumulan en los ríos que drenan hacia las partes bajas y desembocan en el mar en donde forman extensas playas como las de Miramar, Cuyutlán y Playa de Oro. En éstas barreras se concentran minerales de hierro y titanio en horizontes negros paralelos que miden de milímetros hasta 2 cm de espesor(CRM, 1994).

Estudios efectuados por Lancín y Carranza(1979) apoyan también las ideas de altas concentraciones de minerales metálicos, favorecidas por la acción del oleaje, que es muy efectiva en el litoral colimense.

Para valuar posibles enriquecimientos de minerales pesados en la franja litoral del Estado de colima se realizó la descripción petrográfica de 38 muestras de arenas de 11 playas colimenses, contando 200 granos por muestra. En la Fig. VIII.1 aparecen las localidades estudiadas.

Las posibilidades de encontrar mineral de titanio están en las áreas de Cuyutlán, Miramar y Playa de Oro; ya que en estos lugares se tienen las mayores concentraciones de minerales pesados como magnetita e ilmenita; y dimensiones de las playas del litoral costero, como se observa en sedimentos litorales cuya descripción petrográfica se muestra en la tabla VIII.1.

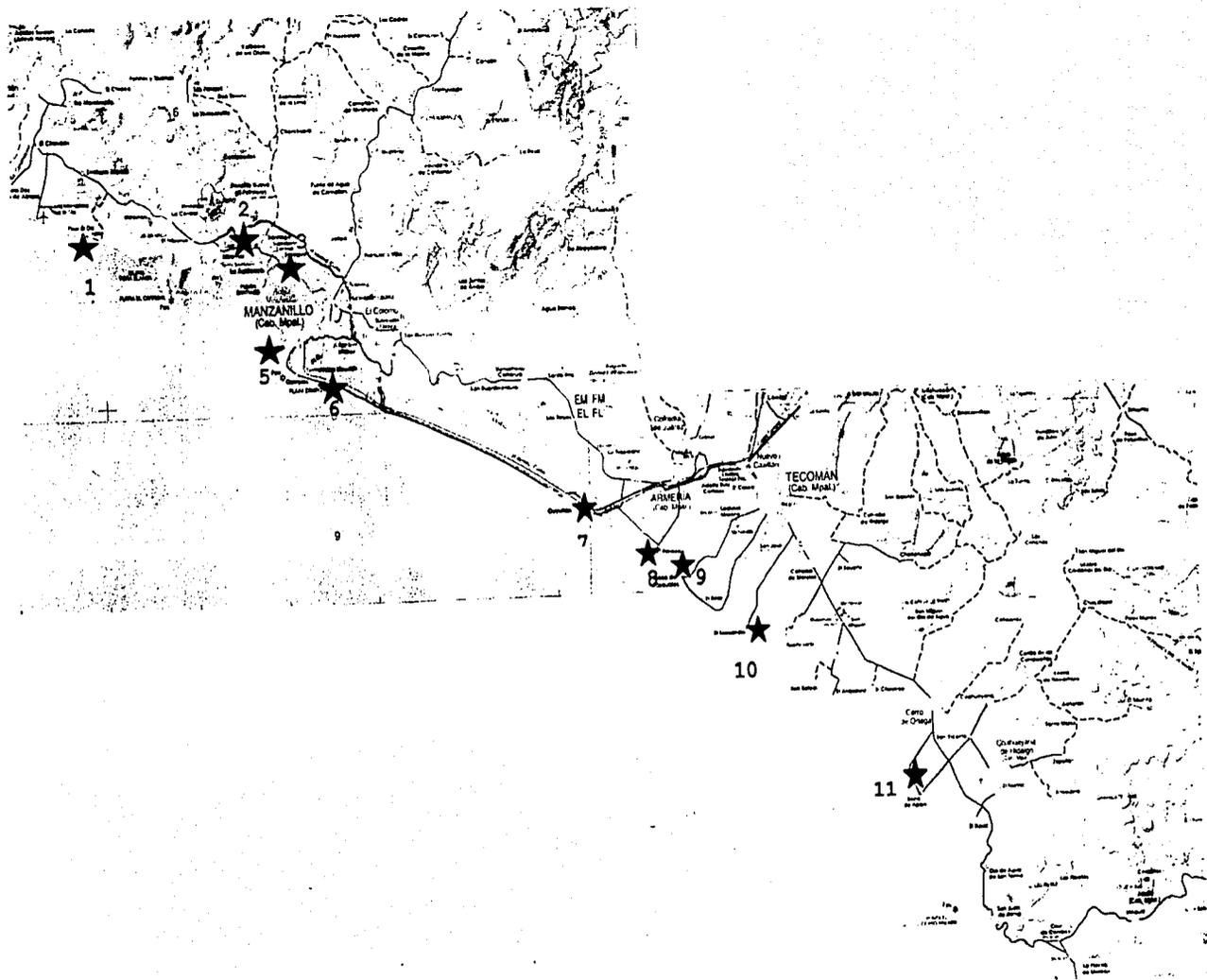


Figura VIII. I.- Ubicación de las muestras de arenas analizadas petrográficamente.

Tabla VIII.1.- Descripción Petrográfica de muestras de arena de playas de Colima(ver figura VIII.1).

Localidad	n	QT		FT		LV		LS		LM		LP		MP		NOTAS
		prom	σ	prom	σ											
1. Playa de Oro	4	47	27	21	13	20	32	1.25	2.5	0	0	41	32	70	69	1
2. Santiago	3	44	18	42	17	4	5	3	5	0	0	20	18	87	35	2
3. Manzanillo	4	43	20	35	10	32	17	6	7	3	5	42	28	39	33	3
4. Playa Ventanas	3	14	11	17	3	83	29	1	2	0	0	18	5	67	27	4
5. Punta Campos	3	9	7	13	5	86	26	0	0	0	0	24	5	68	36	5
6. Playa Campos	3	19	5	22	4	96	37	0	0	0	0	21	6	44	47	6
7. Cuyutlán	3	14	9	27	8	52	48	0	1	0	1	19	6	87	55	7
8. El Paraíso	3	9	5	29	17	64	28	2	1	1	2	15	12	79	20	8
9. Boca de Pascuales	3	8	2	23	16	28	11	0	1	0	0	31	6	112	25	9
10. Tecuanillo	3	11	10	14	5	39	28	4	3	0	0	25	4	107	39	10
11. Boca de Apiza	6	8	6	24	10	31	25	2	2	0	1	26	28	109	33	11

Nota.- Para cada lámina delgada, se realizó un conteo de 200 granos, clasificándolos dentro de los siguientes campos:

QT= Cuarzo Total, tanto policristalino como monocristalino,

FT= Feldespatos Totales,

LV= Líticos Volcánicos,

LS= Líticos Sedimentarios,

LM= Líticos Metamórficos,

LP= Líticos Plutónicos,

MP= Minerales Pesados,

N= número de muestras (infraplaya, mesoplaya y supraplaya)

Notas para la tabla VIII.1:

1. QT redondeados y subredondeados. FT son plag. LV ricos en plag. LS es un fragmento carbonatado. LP ricos en Qz, feld y Px. MP son Anf, Px y Ol.
2. QT subredondeados y angulosos, varios tamaños. FT son plag. principalmente. LP son de Qz y feld, con Px y Hb. MP principalmente Px, Hb, Ep y minerales opacos.

3. Qz anguloso. FT son plag. y feld k. LV ricos en plag. y minerales de Hierro. LS son fragmentos carbonatados. LM, micas alteradas. LP con Qz, feld y minerales pesados alterados. MP son Px, Ol, Ep y algunos minerales opacos.
4. Qz subangulosos. FT son plag. LV son líticos cristalinos y fragmentos tobáceos con grandes plag. LS fragmento carbonatado. LP, ricos en plag. y minerales pesados. MP principalmente Px, con algunos minerales opacos(hematita), así como Ol, Hb y Ep.
5. FT son plag. LV con abundantes plag. LS fragmento carbonatado. LP ricos en plag y Qz con Px. MP son Px, Hb y minerales opacos.
6. FT son plag. LV ricos en plag y minerales ferromagnesianos. LP con Qz, plag. y Px. MP son Px, Hb, Ol y minerales opacos.
7. QT subredondeado. FT del tipo plag. LV, del tipo cristalino ricos en plag., fragmentos escasos de tobas. LP ricos en Qz y minerales pesados. LM es una Bta alterada. MP principalmente minerales opacos como magnetita e ilmenita, Hb y Px.
8. FT son plag. LV, ricos en plag. LS son fragmentos terrigenos de feld y Qz. LM som Bta. LP ricos en feld con min ferromagnesianos. Mp, principalmente ilmenita y magnetita, además Hb y Px.
9. Qz redondeado. FT de ambos tipos. LV cristalinos con plag y fragmentos tobáceos. LS fragmento carbonatado. LP ricos en Qz y feldespatos potásico. MP son Px, Anf, Ep, Ol y minerales opacos. Px muy alterados.
10. FT de ambos tipos. LV, ricos en plag. LS, fragmentos carbonatados. LP ricos en Qz, feld y minereles pesados. MP son Px, Ep, Ol y minerales metálicos.
11. QT subredondeado. FT son plag. y feld k alterados. LV ricos en plag con cristales grandes de minerales pesados. LS fragmentos carbonatados. LP ricos en Qz, plag. y minerales pesados. MP abundan minerales opacos, se observan Px, augitas, Hb y Ep.

Abreviaciones

Qz = Cuarzo

plag. = Plagioclasa

feld K = Feldespato Potásico

Px = Piroxeno

Anf = anfíboles

Opx= Ortopiroxeno

Hb= Hornblenda

Bta = Biotita

Ol = Olivino

Ep = Epidota

YACIMIENTOS MINERALES NO METÁLICOS

En Colima, se encuentran grandes yacimientos minerales no metálicos, los cuales se han clasificado en cinco tipos:

a) Yacimientos sedimentarios, donde se encuentran las calizas, yesos, sal y dolomita que manifiestan su ocurrencia en rocas sedimentarias de edad Cretácico Medio.

Los principales bancos de calizas masivas que se pueden explotar son Cerro Grande localizado a 20 km al NO de Colima, Cerro Galindo y Cerro Alcomún ubicados a 22 km al S de Colima; Cerro Barrigón en el municipio de Coquimatlán, San Miguel en el municipio de Tecomán y Santa Rita de la Barranca en Manzanillo. La principal aplicación de éste tipo de depósitos es en la industria cementera como la Planta Tecomán del Grupo Apasco que inició sus operaciones en 1993 con una capacidad de 1 300 000 ton/ año, también este tipo de depósitos tiene utilidad para cal hidratada y ornamentación en la construcción (Grupo Apasco, 2002).

Los depósitos de yeso son el segundo mineral no metálico de mayor ocurrencia en la entidad, después de las calizas. Estos cuerpos se localizan en el área del rancho La Salada al S de Colima, en la zona del Rancho Agua Zarca al O de Colima y en el poblado la Estapilla, en el municipio de Colima (CRM, 1994).

Los depósitos de sal se ubican en la zona de Cuyutlán y se explotan en tiempo de estiaje.

El único depósito de dolomita que se está explotando en el estado es el de Laguna de Alcozahué (cerro Bola), localizado a 8 km al SE de Tecomán. Los depósitos de dolomita de interés económico son el cerro El Puro, cerro Bola y cerro La Calavera (CRM, 1994).

b) Yacimientos hidrotemales. Los yacimientos no metálicos de tipo hidrotermal que se localizan en la entidad son: caolín, barita, calcita y cuarzo (CRM, 1994).

Colima tiene dos depósitos de caolín de gran volumen, localizados en Minatitlán, que son Seca 1 y Seca 2; que entre los dos tienen un potencial aproximado de 125 millones de toneladas. Ambos son producto de alteración hidrotermal que actuó intensamente sobre el granito del que son derivados.

Los yacimientos de barita se presentan en Colima de dos formas, vetiforme como los prospectos cerro Bola, cerca de la mina Alcozahue, y la Guacamaya al SE de Tecomán; y en bolsadas como los yacimientos de Peñitas y Cerro Tepic, en el municipio de Minatitlán.

En el estado sólo se encuentra un yacimiento, que se localiza a 27 km al O de Colima.

Se conocen tres yacimientos de cuarzo lechoso en el estado, que se encuentran emplazados en el batolito de Tomatlán, son de origen pegmatítico y se encuentran dentro del municipio de Manzanillo(Ibarra y Munguía, 1984).

c)Yacimientos Metamórficos. Estos yacimientos fueron originados por las diferentes etapas que se registran en algunas rocas del estado, dando lugar a depósitos de mármol, granate, sericita y talco(CRM, 1994).

Los depósitos de mármol en la entidad son cinco y son los de Santa Rita, Venustiano Carranza(Blanca Nieves)(Munguía, 1989), Canoas y El Puertecito, que se localizan en el municipio de Manzanillo, siendo los dos primeros los más grandes, con un volumen aproximado entre ambos de 1 050 000 m³.

Los yacimientos de granate son dos, uno localizado al SE del rancho El Arrayanal, municipio de Minatitlán y otro en el poblado Veladero de Camotlán, en el municipio de Manzanillo; siendo el primero el más grande con un potencial de 50 000 toneladas(CRM, 1994).

Los depósitos de sericita y talco se encuentran solo como indicios en la mineralización en pequeñas concentraciones emplazadas dentro del batolito granítico y fuera de las rocas calcáreas; el prospecto de sericita La Sidra se localiza en el municipio de Coquimatlán y el prospecto de talco se localiza en el rancho Agua Blanca, municipio de Manzanillo(Munguía, 1987).

d)Materiales para la construcción. En el estado se conocen 5 localidades de bancos de granitos para cantera, distribuidos al N, E y O de Manzanillo. Los ríos que drenan el territorio de Colima, proporcionan cantidades suficientes de material para obtener gravas y arenas utilizables en la construcción; esos materiales son depositados en las planicies, los cuales forman grandes bancos de materiales. En la periferia del

Volcán de Colima existen grandes bancos de material pumicítico derivado de sus diversas erupciones, esta material se utiliza para ornamentación y construcción (CRM, 1994).

e) Depósitos de Azufre Nativo. En la isla Socorro del Archipiélago Revillagigedo, se localiza en la cima del Monte Everman un yacimiento de azufre de forma irregular, con un espesor de 0.15 m y una superficie de 5 hectáreas. El origen de éste depósito es de origen volcánico, a partir de condensaciones de los vapores sulfurosos emanados del volcán Everman (Bryan, 1967). Así también hay manifestaciones similares de azufre en el Volcán de Colima.

Algunos de los yacimientos previamente citados, principalmente los metálicos han sido y seguirán siendo explotados; sin embargo la extracción de minerales a nivel nacional se concentra en minerales metálicos; por lo que es importante considerar la posibilidad de una mayor explotación de los yacimientos no metálicos que se encuentran en el estado, la cual podría impulsar la actividad minera nacional.

Los depósitos que se han explotado, han ayudado a satisfacer las crecientes necesidades humanas; pero es importante tener en mente todos los recursos minerales con que cuenta el Estado de Colima, puesto que la actual explotación de varios depósitos descubiertos resulta incosteable y todavía no se tiene la necesidad de echar mano de éstos, pero tal vez en un futuro muy cercano sea inminente su explotación.

Es necesario continuar con la exploración geológica y geofísica para la búsqueda de nuevos depósitos minerales tanto continentales como marinos, siendo éstos últimos, lo que representan las principales fuentes alternas de minerales de la entidad colimense.

Recursos Minerales del Mar. En el Estado de Colima están representados principalmente por nódulos polimetálicos, costras de cobalto e hidratos de metano (Arellano y Nieto, 2002).

Nódulos polimetálicos. Se encuentran en las profundidades del fondo oceánico cubriendo grandes áreas. Contienen 24% de manganeso, 14% de hierro, 1% de cobre, 1% de níquel y 0.25% de cobalto (Rosales y Carranza, 1993). Las acumulaciones mayores se encuentran en el noreste, al centro y al sur en el Océano Pacífico, donde cubren del 20 al 50 % del fondo

oceánico (Van et al., 1973). Horn et al. (1972) reporta un área cercana a la Isla Clarión con alto contenido de nódulos. Ésta área se localiza en un plano abisal con pequeñas colinas. En una depresión situada a una profundidad de 3900-4000m se localizó un área con alta densidad de nódulos (10.6 kg/m²) (Carranza et al., 1988)

Aunque ocasionalmente se encuentran cubiertos por sedimentos, generalmente se encuentran superficialmente sobre el lecho marino (Márquez et al., 1988).

De acuerdo con Ramírez (1987) los sedimentos superficiales en el área están constituidos principalmente por 4 componentes: a) materiales de volcanismo submarino como vidrio volcánico, palagonita y cuarzo; b) materiales biogénicos como diatomeas y radiolarios; c) materiales autigénicos como minerales opacos, óxidos e hidróxidos y d) materiales arcillosos, los más abundantes en la facción arcillosa son montmorillonita, illita, caolinita y cuarzo. La proporción illita:montmorillonita aumenta cuando los sedimentos están más alejados del continente (Lozano et al., 1989).

Su tamaño varía de unos cuantos milímetros a decenas de centímetros de diámetro (varios son el tamaño de canicas y pelotas de béisbol). Se componen de capas concéntricas de óxidos de hierro y manganeso mezclados con varios elementos, cada nódulo ha sido formado alrededor de un núcleo, que puede ser un fragmento de un nódulo roto, un fragmento de roca volcánica o en algunas ocasiones un fósil (Rosales y Carranza, 1990). La razón de crecimiento de un nódulo es de 1 a 4 mm por millón de años. Son más abundantes en partes del océano donde la acumulación de sedimentos es mínima, generalmente a profundidades entre 5 y 7 km (Van et al, 1973 y NOAA, 1977).

El minado de los nódulos de manganeso se realiza a través del levantamiento mediante un equipo de succión o de excavación, de los nódulos del fondo oceánico a un barco minero. De acuerdo a los avances tecnológicos, el minado de éstos nódulos actualmente es posible, sin embargo los gastos de extracción son mayores comparados a los costos de minado de manganeso en tierra (Kesler, 1994).

En adición, muchas de las áreas donde se encuentran éstos nódulos se encuentran en áreas de aguas internacionales donde ninguna empresa o país tiene derechos sobre su exploración y explotación (Arellano y Nieto, 2002) pudiendo ocasionar ésta

última, daño significativo local en el fondo oceánico y en la calidad del agua (Kesler, 1994).

De acuerdo con las características tectónicas existentes en el Océano Pacífico, podrían existir nódulos polimetálicos pertenecientes a las aguas de la Zona Económica Exclusiva del Estado de Colima.

Costras de cobalto. Las costras oceánicas ricas en cobalto y manganeso se encuentran al centro y SO del Océano Pacífico, en los flancos de montes marinos, cordilleras volcánicas e islas. El contenido de cobalto varía con la profundidad, la máxima concentración es de 2.5% y se encuentra en profundidades de 1 a 2.5 km. El grosor de estas costras es de aproximadamente 2 cm. También contienen níquel, platino, cobre y molibdeno (Mc Gregor y Lockwood, 1980).

Hidratos de Metano. Son acumulaciones naturales de agua y gas metano, que forman sustancias sólidas, que se encuentran como cristales en los poros de los sedimentos arenosos bajo condiciones de presión y temperatura característicos del borde de plataforma y del talud continental. Bajo éstas condiciones, el agua y el gas metano reaccionan y se convierten en estado sólido cementando los granos de sedimentos presentes en estos ambientes. Los hidratos se encuentran principalmente asociados con zonas donde ocurrió gran actividad microbiana en sedimentos de grano fino con alto contenido de materia orgánica.

El potencial de reservas que representan los hidratos de metano, está calculada en 10 mil Gigatoneladas, por lo que se contempla que estos recursos cubrirán gran parte de la demanda futura de combustible del presente siglo. El inconveniente de la explotación de éste recurso, radica principalmente en dos factores, el primero es la falta de tecnología adecuada y el segundo es el impacto ambiental que ocasionaría la liberación de éste gas invernadero a la atmósfera; además de las variaciones en la estabilidad del talud y borde de la plataforma (Arellano y Nieto, 2002).

En las costas colimenses se tiene conocimiento de la presencia de éste recurso (Fig. VIII.2)

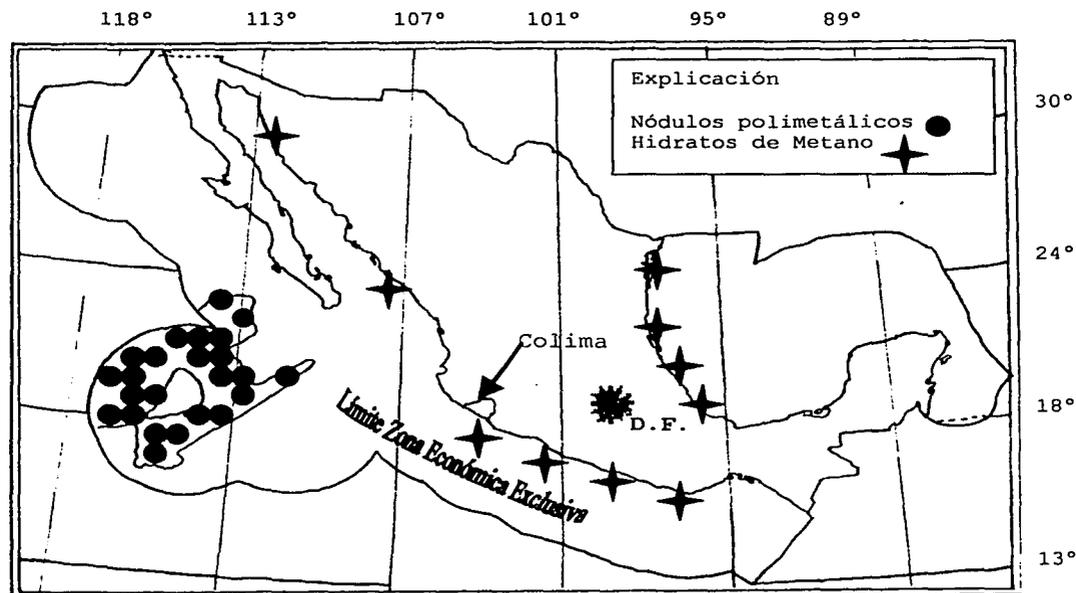


Figura VIII.2.- Localización de sitios potenciales con hidratos de metano y nódulos polimetálicos en el mar, en la República Mexicana (Elaborado con base en Carranza y Aguayo, 1990 y Arellano y Nieto, 2002).

Cualquier tipo de yacimiento mineral que se explote, inclusive desde la etapa de exploración para la búsqueda de yacimientos minerales, ocasiona un fuerte impacto ambiental. El impacto ambiental de la actividad minera depende de varios factores como: condiciones hidrológicas, clima, tipo de roca encajonante a la mineralización, tamaño de la operación, tipo de explotación y topografía, entre otros. En general, la etapa de exploración minera y de muestreo ocasionan un daño menor, mientras que durante la etapa de operación minera los efectos son mayores en el suelo, el agua, el aire, la flora y la fauna; además de tener un fuerte impacto social que se refleja en la demanda de hogar y servicios en la áreas mineras (Keller, 1996).

En base a que las sociedades modernas dependen de la disponibilidad de los recursos minerales y la demanda de éstos tiende a incrementarse, es necesario minimizar el impacto ambiental derivado de la actividad minera a través de mejoras en la tecnología utilizada, prácticas de conservación de recursos minerales, posibles fuentes de sustitución y fomentar la cultura del reciclaje (Keller, 1996).

Aunado a la creciente necesidad de búsqueda de nuevas fuentes minerales en el Estado de Colima, está la necesidad de utilizar fuentes de energía alterna para cubrir las necesidades de la población.

Energía Geotérmica. Actualmente, no se tiene conocimiento de actividad geotérmica en la región; sin embargo en cuanto a posibilidades de obtener energía geotérmica, la porción del Estado de Colima que pertenece al Eje Neovolcánico, es la región con mayor potencial por manifestaciones de éste tipo, dada su actividad ígnea contemporánea (Morán, 1984).

La forma más generalizada de explotar ésta energía, con excepción de fuentes y baños termales, consiste en perforar dos pozos, uno de extracción y otro de inyección. En el caso de que la zona esté atravesada por un acuífero se extrae el agua caliente o el vapor, este se utiliza en redes de calefacción y se vuelve a inyectar, en el otro caso se utiliza en turbinas de generación de electricidad.

En el caso de no disponer de un acuífero, se suele proceder a la fragmentación de las rocas calientes y a la inyección de algún fluido.

Es difícil el aprovechamiento de esta energía térmica, ocasionado por el bajo flujo de calor, debido a la baja conductividad de los materiales que la constituyen; pero existen puntos en el planeta donde se producen anomalías geotérmicas, dando lugar a gradientes de temperatura de entre 100 y 200°C por kilómetro, siendo estos puntos aptos para el aprovechamiento de esta energía (Martinetti, 1999).

Energía Eólica. La fuente de energía eólica es el viento, es decir, la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento. El viento es originado por el calentamiento desigual de la superficie del planeta, originando movimientos convectivos de la masa atmosférica. La Tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del Sol. Esta energía, en lugares favorables, puede ser del orden de 2.000 Kwh/m² anuales. El 2% de ella se transforma en energía eólica con un valor capaz de dar una potencia de 10¹¹ Gigavatios.

Las formas de mayor utilización son las de producir energía eléctrica y mecánica, bien sea para autoabastecimiento de electricidad o bombeo de agua. Siendo un aerogenerador los que accionan un generador eléctrico y un aeromotor los que

accionan dispositivos, para realizar un trabajo mecánico (Martinetti, 1999).

Los vientos de la costa colimense puede tener una orientación diferente a las olas, por lo que puede ejercer una influencia sobre éstas, ya sea frenándolas (vientos de tierra) o empujándolas hacia la ribera (vientos del mar). En Manzanillo, predominan los vientos en dirección O-NO y son más frecuentes los del continente. Con base Lancín y Carranza (1979), se concluye que a pesar de los fuertes vientos que se llegan a presentar en la zona costera, no es posible la utilización de ésta energía para la industria eléctrica; ya que no sería posible la instalación de una planta eolétrica debido a que no se observa una clara dominancia en los vientos, durante la estación seca (de noviembre a mayo) se observa que los vientos provienen del O-NO y del sector E, principalmente del SE y del SEE en la época de lluvias (de julio a septiembre). En los meses de junio y octubre los vientos son transicionales.

Energía del Mar. Los mares y los océanos son inmensos colectores solares, de los cuales se puede extraer energía de orígenes diversos (Martinetti, 1999), como:

- 1) La radiación solar incidente sobre los océanos, en determinadas condiciones atmosféricas, da lugar a los gradientes térmicos oceánicos (diferencia de temperaturas) a bajas latitudes en profundidades menores que 1000 metros.
- 2) La interacción de los vientos y las aguas son responsables del oleaje y de las corrientes marinas.
- 3) La influencia gravitacional de los cuerpos celestes sobre las masas oceánicas provoca mareas.

La energía del mar se divide en:

a) Energía de las mareas. El movimiento de ascenso y descenso de las aguas del mar se produce por las acciones atractivas del Sol y de la Luna. El ascenso de las aguas se denomina flujo, y el descenso reflujo, éste más breve en tiempo que el primero. Los momentos de máxima elevación del flujo se denomina pleamar y el de máximo reflujo bajamar.

La utilización de la energía de las mareas, o energía maremotriz, consiste simplemente en separar un estuario del mar libre mediante un dique y aprovechar la diferencia de nivel mar-estuario.

El sistema consiste en aprisionar el agua en el momento de la alta marea y liberarla, obligándola a pasar por las turbinas

durante la bajamar. Cuando la marea sube, el nivel del mar es superior al del agua del interior del estuario. Abriendo las compuertas, el agua pasa de un lado a otro del dique, y sus movimientos hacen que también se muevan las turbinas de unos generadores de corrientes situados junto a los conductos por los que circula el agua. Cuando por el contrario, la marea baja, el nivel del mar es inferior al del estuario, porque el movimiento del agua es en sentido contrario que el anterior, pero también se aprovecha para producir electricidad (Gallegos, 2002).

La energía estimada que se disipa por las mareas es del orden de 22000 TWh. De esta energía se considera recuperable una cantidad que es cercana a 200 TWh (Martinetti, 1999).

Las ventajas de su utilización es que es energía autorenovable, no contaminante, silenciosa, el costo de la materia prima es bajo, no concentra población y está disponible en cualquier clima y época del año. Sin embargo, también existen varias desventajas como el impacto estructural y visual sobre el paisaje costero, su localización puntual, depende de la amplitud de mareas, el traslado de energía es muy costoso y el efecto negativo sobre la flora y fauna (Gallegos, 2002)

El obstáculo principal para la explotación de esta fuente es el económico. Los costos de inversión tienden a ser altos con respecto al rendimiento, debido a las bajas y variadas cargas hidráulicas disponibles. Estas bajas cargas exigen la utilización de grandes equipos para manejar las enormes cantidades de agua puestas en movimiento. Por ello, esta fuente de energía es sólo aprovechable en caso de mareas altas y en lugares en los que el cierre no suponga construcciones demasiado costosas (Brown, 2000).

La limitación para la construcción de estas centrales en el Estado de Colima radica en el pequeño rango de marea en el Océano Pacífico (Scanavino, 2002), aunado al elevado costo de la energía producida y al impacto ambiental que generan.

b) Energía térmica oceánica. La explotación de las diferencias de temperatura de los océanos se ha propuesto numerosas veces, desde d'Arsonval en el año 1881, hasta el más reconocido pionero de esta técnica, el científico francés George Claudi, que invirtió toda su fortuna, obtenida por la

invención del tubo de neón, en una central de conversión térmica(Martinetti, 1999).

La conversión de energía térmica oceánica(CETO u OTEC) es un método de convertir en energía útil la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y el agua que se encuentra a 100 m de profundidad. En las zonas tropicales esta diferencia varía entre 20 y 24 °C. Para el aprovechamiento es suficiente una diferencia de 20°C(Scanavino, 2002).

Las ventajas de esta fuente de energía se asocian con un salto térmico permanente y benigno desde el punto de vista ambiental.

Las posibilidades de esta técnica se han incrementado debido a la tecnología asociada con la explotación petrolera mar afuera. El desarrollo tecnológico de la instalación de plataformas profundas, la utilización de materiales compuestos y nuevas técnicas de unión hacen posible el diseño de una plataforma, pero el máximo inconveniente es el económico(Gallegos, 2002).

Existen dos sistemas para el aprovechamiento de esta fuente de energía. El primero consiste en utilizar (Fig. VIII.3) directamente el agua de mar en un circuito abierto, evaporando el agua a baja presión y así mover una turbina(Martinetti, 1999).

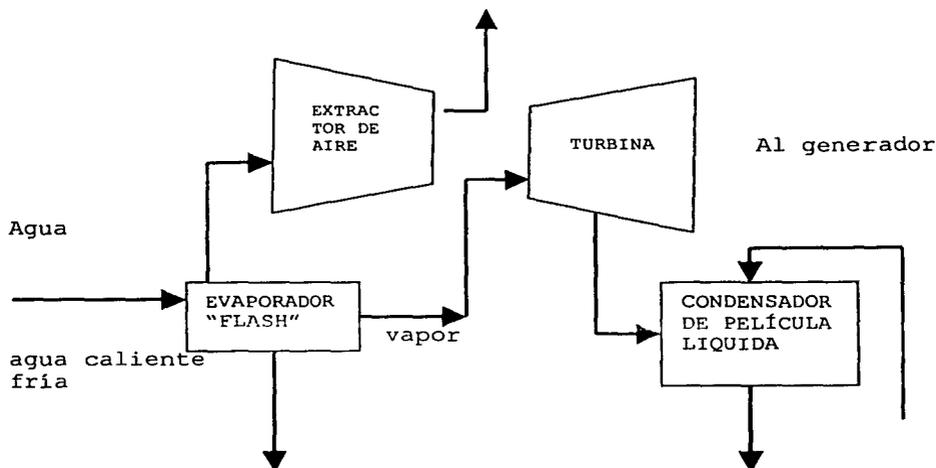


Figura VIII.3.- Conversión térmica marina en Ciclo Abierto (Basado en Gallegos, 2002).

El segundo consiste en emplear un circuito cerrado y un fluido de baja temperatura de ebullición (amoníaco, freón, propano) que se evaporan en contacto con el agua caliente de la superficie. Este vapor mueve un turbogenerador, que se condensa con agua fría profunda y el fluido queda dispuesto de nuevo para su evaporación (Martinetti, 1999).

Los componentes principales de una planta térmica marina serían los siguientes: evaporador, turbina, condensador, tuberías y bombas, estructura fija o flotante, sistema de anclaje y cable submarino (si la central es flotante).

Las plantas térmicas marinas, además de producir energía eléctrica, podrían integrarse en otras actividades, tales como: producción de agua potable en los sistemas de ciclo abierto; generación de hidrógeno aplicando la energía eléctrica producida, para facilitar el transporte a tierra de la energía; y en la acuicultura, utilizando el agua de las profundidades, más rica en nutrientes, para desarrollar diferentes especies marinas.

Todos estos usos, así como cualquier utilización de la energía eléctrica generada por el sistema en procesos químicos, pueden integrarse de forma realista en plantas de aprovechamiento del gradiente térmico oceánico (Gallegos, 2002).

El inconveniente de este sistema es su bajo rendimiento, sobre un 7%, debido a la baja temperatura del foco caliente y escasa diferencia de temperatura entre el foco frío y caliente. Además es preciso realizar un costo extra de energía, empleado para el bombeo de agua fría de las profundidades para el condensado de los fluidos (Martinetti, 1999).

Los programas de desarrollo de las centrales térmicas marinas se llevan a cabo en todo el mundo. En México, se propone instalar un convertidor de energía térmica oceánica en la isla de Cozumel, sin embargo no existen planes de desarrollar éstas en las costas del Pacífico mexicano.

De acuerdo con las características que prevalecen en la Isla de Clarión, resulta el lugar adecuado para la implantación de una planta de éste tipo. Sin embargo, es necesario considerar que ésta zona está frecuentemente afectada por huracanes.

c) Energía de las olas. Las olas del mar son un derivado terciario de la energía solar. El calentamiento de la

superficie terrestre genera viento, y el viento genera las olas. Únicamente el 0.01% del flujo de la energía solar se transforma en energía de las olas.

Una de las propiedades características de las olas es su capacidad de desplazarse a grandes distancias sin pérdida de energía. La energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental. De este modo la energía de las olas se concentra en las costas, que totalizan a nivel mundial 336000 km de longitud. La densidad media de energía es del orden de 8 kW/m de costa. En comparación, las densidades de la energía solar son del orden de 300 W/m².

Por tanto, la densidad de energía de las olas es, en un orden de magnitud, mayor que la que los procesos que la generan. Las distribuciones geográficas y temporales de los recursos energéticos de las olas están controladas por los sistemas de viento que las generan (tormentas, alisios, monzones) (Martinetti, 1999).

La densidad de energía disponible varía desde las más altas del mundo, entre 50-60 kW/m en Nueva Zelanda, hasta el valor medio de 8 kW/m. Los diseños actuales de mayor potencia se hallan a 1 Mwe de media, aunque en estado de desarrollo. La tecnología de conversión de movimiento oscilatorio de las olas en energía eléctrica se fundamenta en que la ola incidente crea un movimiento relativo entre un absorbedor y un punto de reacción que impulsa un fluido a través del generador. La potencia instalada en operación en el mundo apenas llega al Mwe.

La mayor parte de las instalaciones lo son de tierra. Los costos fuera de la costa son considerablemente mayores. Actualmente, la potencia instalada de los diseños más modernos varía entre 1 y 2 MW. Pero todos los diseños deben considerarse experimentales (Martinetti, 1999).

De los sistemas propuestos, para aprovechar la energía de las olas, se puede hacer una clasificación, los que se fijan a la plataforma continental y los flotantes, que se instalan en el mar (Scanavino, 2002).

Uno de los primeros fue el convertidor noruego Kvaerner, cuyo primer prototipo se construyó en Bergen en 1985. Esta central tiene una potencia de 500 kW y consiste en un tubo hueco de concreto de diez metros de largo, dispuesto verticalmente en el hueco de un acantilado. Las olas penetran por la parte

inferior del cilindro y desplazan hacia arriba la columna de aire, lo que impulsa una turbina instalada en el extremo superior del tubo(Martinetti, 1999).

La gran variación que se produce continuamente en el movimiento de las olas revela claramente los problemas que plantea el diseño de convertidores de olas. Estos sistemas deben captar energía mecánica de forma completamente aleatoria y convertirla eficientemente en otra forma de energía útil, generalmente energía eléctrica. Los sistemas que se están desarrollando, considerados bajo el punto de vista de su comportamiento dinámico, se pueden agrupar en dos categorías:

1)Activos: los elementos de la estructura se mueven como respuesta a la ola y se extrae la energía utilizando el movimiento relativo que se origina entre las partes fijas y móviles.

2)Pasivos: la estructura se fija al fondo del mar o en la costa y se extrae la energía directamente del movimiento de las partículas de agua(Gallegos, 2002).

Por otro lado, se pueden aprovechar tres fenómenos básicos que se producen en las olas: empuje de la ola, variación de la altura de la superficie de la ola y variación de la presión bajo la superficie de la ola(Gallegos, 2002).

La explicación del mecanismo por el cual un dispositivo capta la energía de la ola consiste en aprovechar el arribo de las olas a la estructura, donde sufren una modificación, mientras que a su vez, la estructura al moverse crea olas que se superponen a las anteriores; la resultante de esta composición de movimientos contiene la energía que no se ha podido captar.

Los absorbedores que han sido considerados como posibles y, por tanto, se les está dedicando una profunda atención, se clasifican en tres grandes grupos: totalizadores, atenuadores y absorbedores puntuales.

Los totalizadores se caracterizan por estar situados perpendicularmente a la dirección de la ola incidente, es decir, paralelos al frente de la ola, siendo su pretensión el captar la energía de una sola vez. Dentro de este grupo cabe destacar:

a)Rectificador Russell.- Está formado por módulos que se instalan en el fondo del mar, paralelos al avance de las olas(Fig. VIII.4). Cada módulo consta de dos cajas

rectangulares, una encima de la otra. El agua pasa de la superior a la inferior a través de una turbina (Martinetti, 1999).

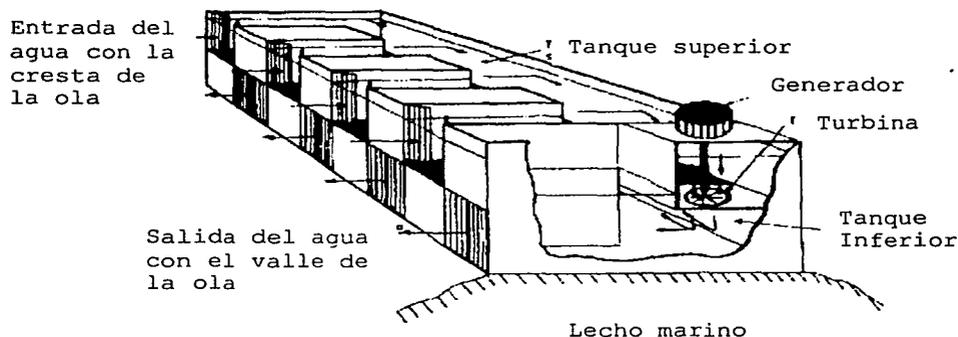


Figura VIII.4.- Rectificador Russell (Modificado de Gallegos, 2002).

b) El pato de Salter.- Consiste en un flotador alargado cuya sección tiene forma de pato. La parte más estrecha del flotador se enfrenta a la ola con el fin de absorber su movimiento lo mejor posible. Los flotadores giran bajo la acción de las olas alrededor de un eje cuyo movimiento de rotación acciona una bomba de aceite que se encarga de mover una turbina.

La dificultad que presenta este sistema es la generación de electricidad con los lentos movimientos que se producen (Scanavino, 2002). La ola presiona sobre su parte baja obligándole a levantarse (Fig. VIII.5), lo que origina un movimiento de semirrotación (Gallegos, 2002).

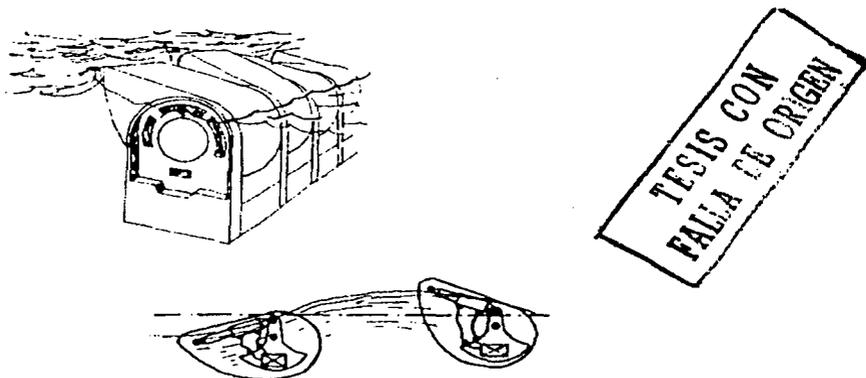


Figura VIII. 5.- Pato Salter (Tomado de Gallegos, 2002)

c) Balsa de Cockerell.- Consta de un conjunto de plataformas articuladas que reciben el impacto de las crestas de las olas. Las balsas ascienden y descienden impulsando un fluido hasta un motor que mueve un generador por medio de un sistema hidráulico (Fig. VIII.6) instalado en cada articulación. Consta de tres flotadores entre los cuales se instalan bombas de pistón que extraen la energía.

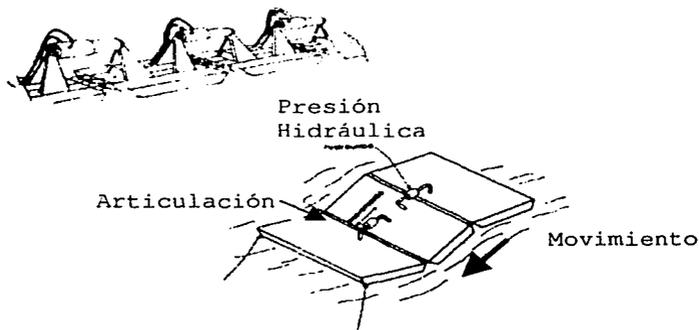


Figura VIII.6.- Balsa Cockerell (Modificada de Gallegos, 2002)

Los atenuadores están formados por largas estructuras colocadas con su eje mayor paralelo a la dirección de propagación de las olas, pretendiéndose así absorber la energía de la ola de un modo progresivo. Tienen la ventaja de poder captar la energía por dos lados, siendo los esfuerzos ejercidos sobre la estructura menores, lo que implica un anclaje más sencillo (Gallegos, 2002). Cabe mencionar como ejemplos característicos:

1) Buque Kaimei.- Es un barco equipado con columnas de agua oscilantes, que producen 2 MW (Fig. VIII.7).

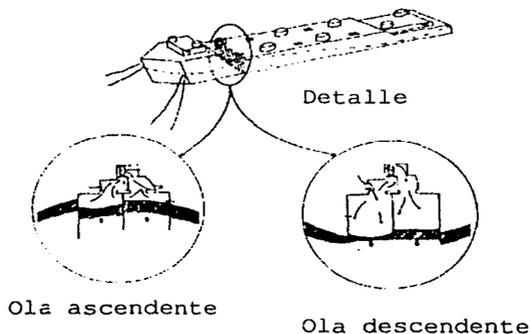


Figura VIII.7.- Buque Kaimei (Modificado de Gallegos, 2002)

2.-Bolsa de Lancaster. Es una estructura con bolsa flexibles(Fig. VIII.8) llenas de aire que se hace pasar por una turbina(Gallegos, 2002)

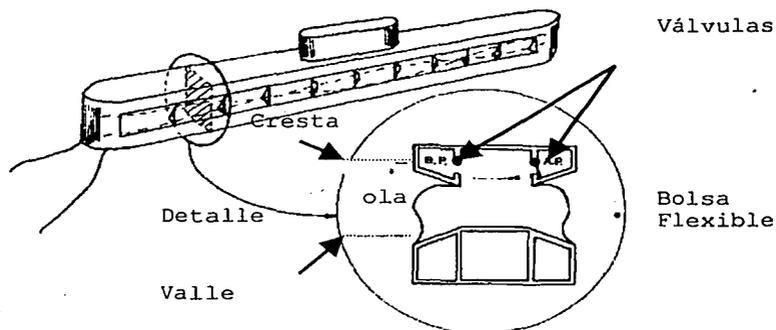


Figura VIII.8.- Bolsa de Lancaster(Modificada de Gallegos, 2002).

Los absorbedores puntuales(Gallegos, 2002) son dispositivos capaces de captar no sólo la energía de la porción de la ola directamente incidente, sino también la de un entorno más o menos amplio. Suelen ser cuerpos de revolución, por lo que son indiferentes a la dirección de propagación de la ola. Cabe citar dentro de este grupo:

I)Boya de Nasuda.- Consiste de un dispositivo flotante donde el movimiento de las olas se aprovecha para aspirar e impulsar aire a través de una turbina de baja presión que mueve un generador de electricidad(Martinetti, 1999).

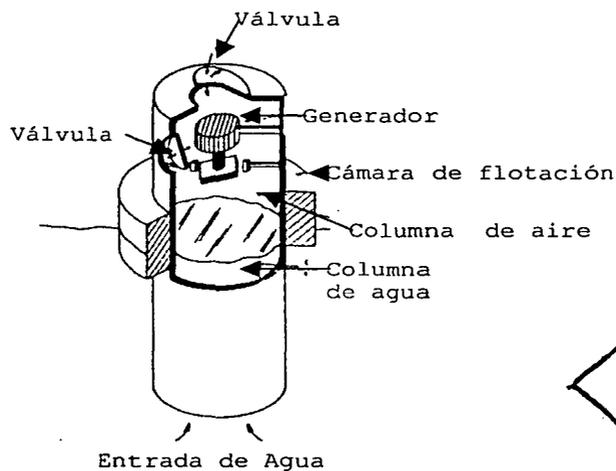


Figura VIII.9.- Boya de Nasuda(Modificada de Gallegos, 2002).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II) Convertidor de Belfast.- Es similar a la boya Nasuda, pero más avanzado.

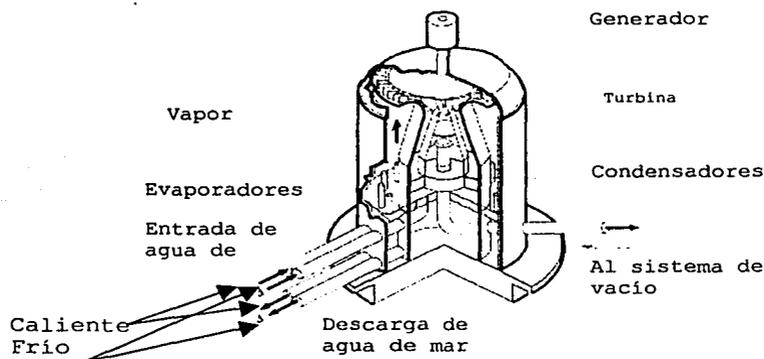


Figura VIII.10.- Convertidor de Belfast (Modificado de OTEC, 2002).

En resumen, no se pueden detallar aquí todos los sistemas convertidores de energía de las olas experimentales o en proyecto en la actualidad. No obstante, los que se han citado se consideran como los ejemplos más representativos.

Finalmente es necesario destacar que el valor comercial de la energía obtenida de las olas es fuertemente dependiente del costo de las fuentes energéticas a las que puede sustituir y de la flexibilidad o capacidad de almacenamiento del sistema. Por otra parte, un importante factor económico es la vida del sistema, que viene determinada por la resistencia de los materiales sometidos a condiciones de trabajo duras.

Se está destinando capital a esta fuente de energía en países como Gran Bretaña, EE.UU., Japón, Suecia, Finlandia y Holanda, así también otros países costeros estudian la posibilidad de incluir proyectos de investigación en este campo, capaces de resolver sus necesidades energéticas locales (Gallegos, 2002).

En la zona costera del Estado de Colima se encuentran diversos regímenes de oleajes que pueden ser aprovechados para obtener energía del mar. La región de Manzanillo tiene un régimen de olas largas y altas; lo que las hace poderosas y una posible fuente alternativa para producir electricidad; pero tienen una refracción en el fondo cuando la profundidad del agua es inferior a la mitad de su longitud de onda, por

lo que una ola larga se amortigua en agua más profunda que una ola corta. Debido a la localización de la zona costera del Estado de Colima, en la Bahía de Santiago las olas de mayor eficacia provienen del S; su frecuencia es de 17.9%. Las olas de NW a W son frecuentes en Manzanillo, sin embargo, debido a la orientación y configuración de la Bahía de Santiago, se encuentra protegida de éstas (Lancín y Carranza, 1979).

De las formas alternativas de energía antes citadas y a las características que prevalecen en el litoral de Colima y el Archipiélago Revillagigedo, resulta más atractiva la utilización de la energía eólica, térmica oceánica y del oleaje, sin descartar la geotérmica en las zonas aledañas a los bordes de placas; sin embargo es necesario atender a los fenómenos que constantemente ésta expuesta la región, siendo principalmente huracanes.

Capítulo IX. CONCLUSIONES

La vulnerabilidad de una región a sufrir algún fenómeno natural está en función del número de pobladores, de las características locales de la región y del fenómeno.

El territorio del Estado de Colima está sujeto a sufrir los efectos de diversos fenómenos naturales tales como huracanes, sismos, tsunamis y erupciones volcánicas; a pesar de ser fenómenos prácticamente impredecibles, con base a un continuo monitoreo, a la planificación de rutas adecuadas para la evacuación, al establecimiento de albergues para atender a la población, y a la difusión del desarrollo de éstos fenómenos, se considera factible la mitigación por desastres naturales.

Otro evento que afectará sin lugar a duda principalmente a las costas del territorio colimense, es el ascenso en el nivel del mar ocasionado por el cambio climático global, dañando algunos cultivos costeros, a las playas actuales, a la infraestructura turística e incrementando el riesgo de intrusiones salinas en los mantos freáticos.

Es necesario buscar fuentes alternativas de minerales y energía debido a la creciente necesidad de estos recursos, para cubrir las futuras demandas de la población; por lo que es necesario impulsar a nivel estatal, nacional y mundial, la investigación y la exploración para encontrar dichas fuentes alternas de recursos que habrán de sustituir a muchos de los actuales.

Las características locales de la costa de Colima, son de interés potencial para un aprovechamiento de fuentes de minerales tales como depósitos de placer, dadas las altas concentraciones de hierro y titanio depositados principalmente en las playas de Boca de Pascuales, Tecuanillo y Boca de Apiza.

Es importante estudiar a fondo la diferencia de temperatura en la columna del mar, así como las características del oleaje y viento que prevalecen en la zona costera para su futuro aprovechamiento como fuente alterna de energía mediante alguno de los mecanismos citados en el presente trabajo.

La exploración geológica desempeña un papel fundamental en la localización de nuevos depósitos minerales, cuyo descubrimiento y aprovechamiento es indispensable en la

actualidad, ya que los recursos minerales terrestres son cada vez más escasos.

Una explotación mayor en sus yacimientos no metálicos, impulsaría la minería estatal, repercutiendo ésta actividad en la economía local y nacional. Es importante recordar que mientras al aumentar la explotación y transformación de fuentes minerales, también se incrementa la posibilidad de contaminar suelos y aguas. Por ello, el monitoreo de suelos y aguas superficiales y subterráneas adquiere una gran relevancia para el Estado de Colima.

Capítulo X. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se hacen en base al desarrollo del presente trabajo son:

Continuar el estudio de las características geológicas del Estado de Colima para comprender mejor los fenómenos que tienen lugar en la franja costera especialmente explorando recursos minerales.

Como parte y contribución del conocimiento geológico, seguir con el monitoreo de la actividad sísmica y volcánica del estado.

Sustentándose en éstos conocimientos, desarrollar planes de mitigación contra huracanes, sismos, tsunamis y erupciones volcánicas; así como complementar los ya existentes, proponiendo la planificación adecuada de rutas de evacuación, localización y establecimientos de albergues, y muy especialmente darle la difusión necesaria para mantener informada a la población sobre estos planes, así como del desarrollo de los fenómenos que están aconteciendo habitualmente.

Realizar planes de desarrollo urbano adecuados para satisfacer, de manera sustentable, las necesidades de los habitantes de la región; así como reducir al mínimo los efectos que ocasionan los diversos fenómenos ambientales y los riesgos latentes, mediante la planeación de edificaciones en lugares que resistan los frecuentes sismos y huracanes que afectan la región.

Con respecto a los efectos del cambio climático global, se sugiere adoptar los acuerdos establecidos en el Protocolo de Kioto para la reducción de emisiones de los 6 gases que ocasionan principalmente este efecto hasta niveles que retrasen el impacto en el cambio climático, de tal forma que las poblaciones y los ecosistemas dispongan de tiempo suficiente para su adaptación.

Es necesario destacar que el cambio climático global tiene una fuerte componente antropogénica y por ende la puesta en marcha de éstas medidas debe realizarse a la brevedad posible, puesto que cuanto más se tarde, mayores tienen que ser para contrarrestar el progreso en el calentamiento del planeta. Las principales medidas consisten en la disminución

del uso de energía a través de la promoción del ahorro y la eficiencia; así como el uso de energías alternas.

Una explotación mayor en sus yacimientos no metálicos, podrían impulsar la actividad minera estatal, repercutiendo en la economía local y nacional. Esto implica una explotación de las salinas de Cuyutlán en su totalidad, es decir una extracción de toda la serie de sales presentes, no solo del cloruro de sodio.

Concientizar a la población sobre el cuidado del agua y de los mantos acuíferos de la región, hacer eficiente su uso, reciclando el agua negra e intercambiándola por volúmenes del sector agrícola; ya que el abatimiento por su sobreexplotación y el ascenso del nivel del mar por el cambio climático global podría ocasionar en los mantos cercanos a la zona costera la intrusión salina, por lo que la única forma de obtención de agua potable sería a través de la instalación de plantas desalinizadoras, cuyo costo se elevaría aproximadamente al 1000% del actual.

BIBLIOGRAFÍA

- Acharya, H. 1981. Volcanism and aseismic slip in subduction zones. *J. Geophys. Res.* 86. pp. 335-344.
- Acharya, H. 1982. Volcanic activity and large earthquakes. *J. Geotherm. Res.* 13. pp. 373-378.
- Allan, J. F. 1986. Geology of the Northern Colima and Zacoalco Grabens, southwest Mexico: Late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt. *Geological Society of America Bulletin*, Vol.97. p.473-485.
- Álvarez, J. R. 2000. Enciclopedia de México. Sobeca International Investment Corporation. V.3.
- Anderson, S. H.; Beiswenger, R. E. y P. Walton Purdom. 1987. *Environmental Science*. Merrill Publishing Co., USA. Tercera Edición. Pág. 505.
- API Manzanillo. 2002. Administración Portuaria Integral. <http://www.apimanzanillo.com.mx/index2.htm>
- Arellano G., J. y Nieto O., J. 2002. Los recursos minerales y petroleros del mar y su importancia. *Boletín Técnico COREMI*. Año VIII, Núm. 46; Enero- Febrero, 2002. pp. 15-18.
- Ayllón T., T. 1992. México, sus recursos naturales y su población. 2ª. Edición. México, D.F. Ed. Limusa. pp. 15-98.
- BBCMundo. 2002. Huracán Kenna causa estragos en México. http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/latin_america/newsid_2363000/2363193.stm
- Brown, L. 2000. Vital Signs 2000. <http://www.planeta.coppe.ufrj.br/noticias/noticia000137.html>
- Bryan, B.W. 1967. Geology and Petrology of Clarion Island, Mexico. *Bulletin the Geological Society of America*. V.78 No. 12. p. 1433-1460.
- Bryant, E. 1997. *Climate Process and Change. Causes of Climate Change*. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Canziani, O. F. 1999. Parte del informe: El Cambio en el Clima del Planeta. *Ecologistas en Acción de la Rioja*. <http://www.ecoportal.net/articulos/cambiocli.htm>

- Carta Tectónica de México 1: 2000000. 1984. UNAM-INEGI
- Carr, M. J. 1977. Volcanic activity and great earthquakes in convergent plate margins. *Science*, 197. pp. 655-657.
- Carranza E., A., Márquez G., A. Z., y Morales de la Garza, E. A. 1988. Distribución y características físicas externas de nódulos polimetálicos de un sector del Pacífico Mexicano. *Soc. Mex. Mineral.* 3: 78-94
- Carranza E., A y Aguayo C., J. E. 1990. Atlas Nacional de México. Geología Marina. Sedimentología Marina. Instituto de Geografía, UNAM.
- CENAPRED. 1994. Fascículo No. 5 Huracanes. México.
- CENAPRED. 1997. Fascículo No.2 Sismos. México. Secretaría de Gobernación. 3ra edición.
<http://www.prodigyweb.net.mx/pacapulco/sismos.htm>
- CEQ, 1990. Environmental trends 1989. Council of Environmental Quality.
- CNA, 2002. Comisión Nacional del Agua. <http://smn.cna.gob.mx/>
- Crandell, D. R., y Waldron, H. H. 1969. Volcanic hazards in the Cascade Range. In *Geologic hazards and public problems, conference proceedings*, eds. R. Olsen y M. Wallace, pp.5-18. Office of Emergency Preparedness Region 7.
- CRM, 1994. Monografía Geológico- Minera del Estado de Colima. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. Subsecretaría de Minas. Consejo de Recursos Minerales. pp.90.
- Demant, A. 1978. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus Problemas de interpretación. UNAM, Instituto de Geología, Revista No. 2: 172-186.
- DGPC. 1994. Atlas Nacional de Riesgos. Secretaría de Gobernación. México
- Díaz S., D. 2000. Volcanes. <http://www.monografias.com/trabajos/volcanes/volcanes.shtml>
- Dunn, S. 1997. Controlling the Climate experiment. *Earthtimes*.
<http://www.earthtimes.com/>

- Durán, D. 1999. Desastres Naturales, Imprevisión Humana y Educación Ambiental.
<http://www.ecoportel.net/articulos/eduamb.htm>
- EAR, 1999. Parte del Informe: El cambio en el clima del planeta. Ecologistas en Acción de la Rioja.
<http://www.ecoportel.net/articulos/cambiocli.htm>
- EEl. 1997. Environmental Issues. Canadian Environmental Agency.
<http://www.eei.org/>.
- El Universal, 2002. Huracán Kenna se cierne sobre el Pacífico mexicano.
<http://internacional.eluniversal.com/2002/10/25/25112DD.shtml>
- Encarta. 2000. Enciclopedia Microsoft Encarta, Microsoft Corporation, 1993-1999.
- Espíndola C., J. M. 1992. Las catástrofes geológicas. Cuadernos del Instituto de Geofísica No.3, UNAM. México. pp.72
- Espíndola C., J. M. y Jiménez J., Z. 1995. Terremotos y Ondas Sísmicas, una breve descripción. Cuadernos del Instituto de Geofísica No.1, UNAM. México. pp.51
- Espíndola C., J. M. 1999. La actividad volcánica. Cuadernos del Instituto de Geofísica No.12, UNAM. México. pp.52
- Francis, P. 1976. Volcanoes. England: Pelican Books
- Fries, C. Jr., Schmitter, E., Damon, P.E. y Livingston, D.E. 1962. Rocas precámbricas de edad grenvilliana, de la parte central de Oaxaca en el sur de México. Boletín del Instituto de Geología, UNAM, No. 64, parte 3, pp. 45-53.
- Gallardo, M. 1997. Cambio Climático Global.
<http://www.cambioclimaticoglobal.com/atmosfe2.html>
- Gallegos, M. 2002. Energías del mar. <http://www.lista-oannes.rcp.net.pe/emar.htm>
- Garnica A., P., 1998. Génesis, identificación y uso de los suelos en México: distribución, propiedades, clasificación y manejo de suelos residuales y transportados con aplicaciones a la ingeniería civil. Instituto Mexicano del Transporte. pp.26-29.

- GCCIP. 1997. Global Climate Change Information Programme.
<http://www.doc.mmu.au.uk/>
- GEOS Vol. 17, No. 1. Los peligros volcánicos y su mitigación.
<http://www.ugm.org.mx/geos-resumenes.html>
- Glick, P. 1997. Global Warming: The high costs of inaction.
Sierra Club Understanding green markets project.
<http://mitchell.sierraclub.org/>.
- Grajales, M. J. y López, M. 1983. Estudio Petrogenético de las Rocas Ígneas y Metamórficas en el Prospecto Tomatlán-Guerrero-Jalisco. Proyecto CC-1160, Instituto Mexicano del Petróleo. México.
- Grupo Apasco. Planta Tecomán. 2002. <http://www.apasco.com.mx/Apascol.nsf/B1-1-0?OpenPage>
- Guía Roji, 1996. Atlas Carretero. México.
- Horn, D. R., Ewing, M., Horn, B. M. y Delach, M. N. 1972. World wide distribution of ferromanganese deposits in the world ocean. In D. R. Horn(ed.), Ferromangeneses Deposits Ocean Floor, pp.9-17. Washington, D. C.: National Science Foundation
- IAI. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global.
- IAVCEE. 1994. Subcommittee on Decade Volcanoes. Research at decade volcanoes aimed at disaster prevention. EOS. Transactions, American Geophysical Union 75(30):340, 350.
- Ibarra R., J. y Munguía R., P. 1984. Informe Geológico del área Cuprífera de Cedros, Municipio de Manzanillo, Estado de Colima. México. Archivo Técnico. CRM. P.55.
- INEGI. 1997. Carta Topográfica, 1:250000. Lázaro Cárdenas E13-6-9.
- INEGI. 1997. Carta Topográfica, 1:250000. Manzanillo E13-2-5.
- INEGI. 2002. Agricultura y Vegetación.
http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/agr_veg.htm
- INEGI. 2002. Climas.
<http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/climas2.htm>

- INEGI. 2002. División Municipal
<http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/divismpal.htm>
- INEGI. 2002. Elevaciones Principales.
<http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/elevaciones.htm>
- INEGI. 2002. Fisiografía.
<http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/fisiograf2.htm>
- INEGI. 2002. Ubicación Geográfica.
http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/ubic_geo.htm.
- INEGI. 2002. Regiones y Cuencas Hidrológicas.
http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/cuencas_hidr2.htm
- INEGI. 2002. Mapa de Agricultura y Vegetación.
<http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/agri.html>
- INEGI. 2002. Mapa de Climas.
<http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/clim.html>
- INEGI. 2002. Mapa División Geoestadística Municipal.
<http://antares.inegi.gob.mx/cgi-bin/map3.3/mapserv?map=/home/web/htdocs/map/estados/col/Scol.map>
- INEGI. 2002. Mapa de Fisiografía.
<http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/fisio.html>
- INEGI. 2002. Mapa de Regiones Hidrológicas.
<http://col.inegi.gob.mx/territorio/espanol/rh.html>
- Instituto de Geofísica e Instituto de Ingeniería. 1985. El sismo del 19 de septiembre de 1985. Informe y evaluación preliminar elaborado por el Instituto de Geofísica con la colaboración del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 25 de septiembre de 1985.
- IPCC. 1995. Technical Guidelines for Assesing Climate Change Impacts and Adaptations. Intergovernmental Panel of Climatic Change.
- Keller, E. A. 1996. Environmental Geology. Prentice Hall. Nueva Jersey. pp.560.
- Kesler, S. F. 1994. Mineral Resources, economics and the environment. New York. Mc Millan.

- Kimura, M. 1978. Significant eruptive activities related to large interplate earthquakes in the northwestern Pacific Margin. *J. Phys. Earth.* 26. pp. 557-570.
- Komorowski, J.C.; Navarro, C.; Cortés, A.; Saucedo, R.; Gavilanes, J. V.; Siebe, C.; Espíndola, J. M. y Rodríguez E., S. R. 1997. The Volcanic Complex. Field Guide# 3. IAVCEI, General Assembly, Puerto Vallarta, México.
- Kostoglodov, V. y Pacheco, J. F. 1999. Cien Años de sismicidad en México. Instituto de Geofísica, UNAM. México.
- Lancín, M. y Carranza E., A. 1979. Estudio Geomorfológico de la Bahía y de la Playa de Santiago en Manzanillo, Colima. *Revista del Instituto de Geología, UNAM.* México. pp.43-65.
- López M., H.; Peña B., A. y Martínez B., J. J. 1973. Estudio Geológico Magnetométrico de los Yacimientos Ferríferos de Peña Colorada, Municipio de Minatitlán, Colima, México. *CRNNR.* Vol 77. No. 44. p.12-44
- López, L. H. y Gutiérrez, C. 1978. Pseudosecciones Geoeléctricas e Implicaciones Geohidrológicas en el Valle de Colima. México. *Geofísica Internacional.* No. 17, Vol.2. p. 127-150.
- López R., E. 1979. Geología de México. 2ª. Edición. México, D.F. Edición Escolar, 3 volúmenes.
- Lozano S., R.; Altuzar C., P.; Carranza E., A. y Rosales H., L. 1990. Distribución de minerales en la fracción arcillosa de sedimentos del Pacífico Central Mexicano. *An. Inst. Cienc. Del Mar Limnol.* UNAM.
- Luhr, J. F. y Carmichael, J.E. 1980. The Colima Volcanic Complex, Mexico. *Contrib. Mineral Petrol.* 71. pp. 343-372.
- Luhr, J. F. y Prestegard, K. 1985. Caldera formation at Volcan Colima, Mexico: a large Mount St Helens-type avalanche event 4300 years ago. *EOS, AGU, Transactions,* 66, 18, 411.
- Macías, J. M. 1998. Riesgo Volcánico y Evacuación como Respuesta Social en el Volcán de Fuego de Colima. Noviembre de 1998. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores de Antropología Social. <http://www.ucol.mx/vulcano/reporte.html>.

- Maldonado y M., Koerdell. 1958. El Volcán Bárcena en la Isla de San Benedicto, Archipiélago de las Revillagigedo (México). *Ciencia* 18. pp. 114-123.
- Mapes V., E. y Pérez M., J. J. 1957. Informe sobre la Exploración del Yacimiento Ferrífero La Peña Colorada, Municipio de Minatitlán, Col. México. Archivo Técnico. CRNNR.
- Márquez G., A. Z., Carranza E., A. y Morales de la Garza, E. A. Características sedimentológicas de playas de la Isla Clarión, Colima, México. *An Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 15(2):39-48.
- Martín del Pozo, A. R. 1988. El Volcán de Colima: Un estudio sobre el Riesgo. *Litósfera*, 2. pp. 43-56.
- Martinetti, M. F. 1999. Cuáles son las Fuentes de Energía?.
<http://www.monografias.com/trabajos/fuentesener/fuentesener.shtml>
- Mason, A. C., y Foster, H. L. 1953. Diversion of lava flows at Oshima, Japan. *American Journal of Science* 251: 249-58.
- Mc Gregor, B.A. y Lockwood, M. 1980. Mapping and Research in the Exclusive Economic Zone. U. S. Geological Survey and NOAA.
- McIlveen, J. R. 1986. *Basic Meteorology*. Van Nostrand Reinhold, UK. Pág. 457.
- Medina M., F. y Mena, M. 1981. Historia Eruptiva del Volcán de Colima y análisis preliminar de la gravimetría del graben y la zona volcánica de Colima, México. *Memorias Simposio Riesgo Sísmico y Volcánico. Inst. Ital. Latin. Am., Roma*.
- Medina M., F. 1983. Analysis of the Eruptive History of the Volcan de Colima, México (1560-1980). *Geofísica Internacional*. Vol. 22-2. pp. 157-178.
- Medina M., F., 1985. On the Volcanic Activity and Large Earthquakes in Colima Area, Mexico. *Geofísica Internacional*. Vol.24-4. p. 701-708.
- Miller, G. T. 1991. *Environmental Science, Sustaining the Earth*. Wadsworth Publishing Company, USA. Tercera Edición. Pág. 465.
- Morán Z., D. 1984. *Geología de la República Mexicana*. INEGI. México.

- Mosser, F., y Reyes, A. 1961. Fenómenos Geológicos de algunos volcanes, los Volcanes de Colima. UNAM, Instituto de Geología, Bol. 61: 49-71
- Munguía R., P. 1987. Reconocimiento Geológico del Prospecto Minero El Arrayanal, Municipio de Minatitlán, Estado de Colima. México. Archivo Técnico. CRM.
- Munguía R., P. 1989. Visita de Reconocimiento al Fundo Minero Blanca Nieves, ejido Nuevo Cuyutlán, Municipio de Manzanillo, Colima. México. Archivo Técnico. CRM. Subgerencia Regional Zona Centro.
- NOAA, 1977. Earth's crustal plate boundaries : Energy and mineral resources. National Oceanic and Atmospheric Administration. California Geology 30(5). pp. 108-109.
- NOAA, 2002. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Hurricane Center. Hurricane Season Tropical Cyclone Reports. Eastern Pacific.
<http://www.nhc.noaa.gov/pastall.shtml>
ftp://ftp.nhc.noaa.gov/pub/storm_archives/pacific/prelimep/ep1992/virgil/prelim06.gif
ftp://ftp.nhc.noaa.gov/pub/storm_archives/pacific/prelimep/ep1992/winfred/prelim05.gif
ftp://ftp.nhc.noaa.gov/pub/storm_archives/pacific/prelimep/ep1993/calvin/prelim07.gif
<http://www.nhc.noaa.gov/prelims/1996alma03.gif>
ftp://ftp.nhc.noaa.gov/pub/storm_archives/pacific/prelimep/ep1996/fausto/prelim04.gif
ftp://ftp.nhc.noaa.gov/pub/storm_archives/pacific/prelimep/ep1996/hernan/prelim06.gif
<http://www.nhc.noaa.gov/prelims/1997olaf1.gif>
<http://www.nhc.noaa.gov/1999greg.html>
<http://www.nhc.noaa.gov/2000norman.html>
- OEP, 1972. Disaster preparedness 1,3. Office of Emergency Preparedness.
- Ortega G., F. y Sánchez R., G. 1985. Xenólitos Plutónicos de la Isla Socorro, Archipiélago Revillagigedo. UNAM. México. Revista del Instituto de Geología. V.6. No.1. pp. 37-47.
- OTEC, 2002. Ocean Thermal Energy Conversion.
<http://www.nrel.gov/otec/what.html>

- Pantoja A., J. y Estrada B., S. 1986. Estratigrafía de los Alrededores de la Mina de Fierro El Encino, Jalisco. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo XLVII. No.1, 15p.
- Pendick, D. 1994. Under the volcano. Earth 3(3):34-39.
- Pineda R., A. 1969. Estudio Geológico y Geofísico de la Porción Oriental de la Zona Ferrífera de Minatitlán, Colima. México. Archivo Técnico. CRNNR.
- Pineda R., A.; López, M. H. y Martínez B., J. J. 1973. Estudio Geológico Magnetométrico de los Yacimientos Ferríferos de Peña Colorada, Municipio de Minatitlán, Colima. México. CRNNR. P(77) 44 (12).
- Post, W. M.; Peng, T.; Emanuel, W. R.; King, A. W.; Dale, V. H. y De Angelis, D. L. 1990. The Global Carbon cycle. American Scientist 78(4). pp. 310-326
- Protección Civil, 1999. Fenómenos Geológicos, tsunamis. <http://www.prodigyweb.net.mx/pacapulco/tsunamis.htm>
- Ramírez A., G. 1987. Estudio de Sedimentos del Piso Oceánico en un Sector del Pacífico Oriental. Tesis. Fac. Ingeniería. UNAM.
- Redescolar, 2000.
Volcán Everman.
http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_volcanes/everman.htm
Volcán Bárcena
http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_volcanes/barcena.htm
- Rodhe, H. H. 1990. A Comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. Science 248 (6). pp. 1217-1219.
- Rosales H., L. y Carranza E., A. 1990. Polymetallic nodule study from the oceanic area near to Clarion Island, México. Marine Mining, 9: 355-364.
- Rosales H., L. y Carranza E., A. 1993. Geochemistry of deep-sea surface sediments from the Pacific manganese nodule province near Clarion Island, México. Marine Georesources & Geotechnology, 11: 201-211.

- Saucedo G., R.; Gavilanes R., J.C.; Cuevas M., A.; Cevallos M., G.E.; Medina V., A. y Cortés C., A. 1997. ¿Cuáles son los peligros del Volcán de Colima?
<http://www.ucol.mx/volcano/textoportada.html>
- Scanavino, B. J. 2002. Energía Mareomotriz.
<http://www.monografias.com/trabajos6/enma/enma.shtml>
- SCT, 1997. Informe Técnico de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Diciembre.
- SEMARNAP, 2002. Archipiélago de Revillagigedo.
<http://sepultura.semarnat.gob.mx/ucanp/data/consultaFicha.php?anp=2>
- Semarnat, 2002. Huracanes.
<http://www.semarnat.gob.mx/huracanes/index.shtml>
- SMN, 2002. Ciclones que han impactado en México de 1980 a 2001. Servicio Meteorológico Nacional.
<http://smn.cna.gob.mx/ciclones/historia/historia.html>
- SS, OPS y OMS. 1987. Memorias de Atención a la Salud en Casos de Desastres Hidrometeorológicos. Secretaría de Salud, Organización Panamericana de Salud y Organización Mundial de la Salud. México.
- Suárez R., G. y Jiménez J., Z. 1987. Sismo en la Ciudad de México y el Terremoto del 19 de Septiembre de 1985. Cuadernos del Instituto de Geofísica. Instituto de Geofísica, UNAM. México, D.F. <http://www.ssn.unam.mx/SSN/Doc/Sismo85/sismo85-idx.htm>
- SVM, 1996. Servicio Vasco de Meteorología.
<http://vppx134.vp.ehu.es/met/html/diccio/ciclón.html>
- Tamayo, J. L., 1990. Geografía Moderna de México. 10ª. Edición. México, D.F. Ed. Trillas. pp.22-115.
- Titus, J. G.; Leatherman, S. P.; Everts, C. H.; Moffatt and Nicol Engineers; Kriebel, D.L. y Dean, R.G. 1985. Potential impacts of sea level rise on the beach at Ocean City, Maryland. U.S. Environmental Protection Agency.
- UCOL, 2002. Resumen de la Actividad Eruptiva 1998- 2002. Universidad de Colima. http://www.ucol.mx/volcan/resumen_98_2000.html

- Van, N.; Dorr, J.; Crittenden, M. D. y Worl, R. G. 1973. Manganese. In United States mineral resources, eds. D. A. Brobst and W. P. Pratt, pp. 385- 399. U. S. Geological Survey Professional Paper 820.
- Villavicencio, A. 2002. Terremotos y otros desastres naturales. <http://www.angelfire.com/nt/terremotos/>
- Waters, J. W. 1993. The chlorine threat to stratospheric ozone. Engineering and Science LVI (4). pp. 1-13.
- WMO, 1986. A report of the International Conference on the Assessment of Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts. World Meteorological Organization N° 661.
- Yarza, L. E. 1948. Los volcanes de México. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México. pp. 187.
- Youd, T. L.; Nichols, D. R.; Helley, E. J. y Lajoie, K. R. 1975. Liquefaction potential in Studies for seismic zonation of the San Francisco Bay region, ed. R. D. Borcherdt. U. S. Geological Survey Professional Paper 941 A:68-74.