



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

*Atlas de Peligro Geológico del Municipio de Santa María Huatulco
Oaxaca*

INFORME ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

“INGENIERO GEÓLOGO”

PRESENTA

FELIPE SALVADOR GARCÉS ARGUMEDO



ASESOR DR. RICARDO JOSÉ PADILLA Y SÁNCHEZ

MÉXICO 2013



ÍNDICE GENERAL

I. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y ASPECTOS GEOGRÁFICOS	1
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
ALCANCES	2
LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	2
AEROPUERTOS.....	4
PUERTOS MARÍTIMOS	4
II. MARCO GEOLÓGICO.....	4
FISIOGRAFÍA	4
GEOMORFOLOGÍA.....	6
ESTRATIGRAFÍA	8
PRECÁMBRICO.....	8
MESOZOICO	9
CRETÁCICO	10
CENOZOICO	10
CUATERNARIO.....	10
GEOLOGÍA.....	11
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	13
ESTRUCTURAS	13
FOLIACIONES.....	13
MORFOESTRUCTURA DEL TERRENO XOLAPA	13
FALLA CHACALAPA	13
FALLAS CONJUGADAS NNW-SSE Y NE-SW	15
III. MARCO TECTÓNICO DEL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA HUATULCO PERTENECIENTE A LA SIERRA MADRE DEL SUR.....	15
ENTORNO TECTÓNICO.....	15
SISMICIDAD	18
SISMOS TECTÓNICOS.....	18
SISMOS PROVOCADOS POR ACTIVIDAD HUMANA	19
SISMICIDAD HISTÓRICA EN LA COSTA DEL ESTADO DE OAXACA	19
ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA HUATULCO	20
PERIODOS DE RETORNO	22
PERIODO DE RETORNO A 10 AÑOS EN SANTA MARÍA HUATULCO	23
PERIODO DE RETORNO A 100 AÑOS EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA HUATULCO	25
PERIODO DE RETORNO A 500 AÑOS DEL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA HUATULCO	27
VULCANISMO	31



TSUNAMIS O MAREMOTOS.....	32
IV. PELIGROS GEOLÓGICOS	36
PELIGRO POR FALLAS.....	37
FALLAS LATERALES	37
FALLAS CONJUGADAS ENTRE SANTAMARÍA HUATULCO Y BENITO JUÁREZ	38
FALLAS NORMALES.....	38
LINEAMIENTOS.....	39
PELIGRO POR DERRUMBES.....	41
ZONAS DE DERRUMBES.....	41
PELIGRO POR DESLIZAMIENTOS	46
ZONAS DE DESLIZAMIENTO	47
PELIGRO POR FLUJOS.....	50
ZONAS DE FLUJOS.....	51
PELIGRO POR HUNDIMIENTOS	54
PELIGRO POR EROSIÓN	55
ZONAS DE EROSIÓN.....	57
V. RECOMENDACIONES	59
RECOMENDACIONES EN LA COLONIA H3 SANTA MARÍA HUATULCO.....	59
SUGERENCIAS DE OBRA	62
CONCLUSIONES.....	70
REFERENCIAS	72
ANEXOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.



ÍNDICE DE FIGURAS

N° de Figura	Descripción	Página
1	Vías de comunicación y aspectos geográficos.....	3
2	Provincias Fisiográficas de Santa María Huatulco.....	5
3	Geomorfología de Santa María Huatulco.....	7
4	Columna Estratigráfica Municipio de Santa María Huatulco.....	9
5	Geología local Santa María Huatulco.....	12
6	Mapa general del sur de México donde se muestra la distribución de rocas metamórficas y las principales fallas regionales que han sido documentadas (modificado de Sánchez-Zavala,2005).....	14
7	Principales rasgos tectónicos del entorno oceánico actual del sur de México. También se muestra la distribución de los terrenos tectonoestratigráficos pre-cenozoicos (modificado de Campa y Coney, 1983). SMO, Sierra Madre Occidental; FVTM, Faja Volcánica Transmexicana; G, terreno Guerrero; Mi, terreno Mixteca; O, terreno Oaxaca; J, terreno Juárez; X, terreno Xolapa; M, terreno Maya. ZF, zona de fractura.....	16
8	Mapa geológico del área de estudio. La porción nororiental está modificada del mapa de Carfantan (1986). El recuadro muestra la ubicación del área en el marco tectónico (modificado de Morán Zenteno et al., 1996) FC se refiere a la fosa Caimán y ZFMP se refiere a la zona de fallas Motagua –Polochic.....	17
9	Tectónica de la República Mexicana.....	18
10	Zonificación Sísmica en México (modificado de CFE, 1981).....	21
11	Mapa de zonificación de aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 10 años	23
12	Curva de tasa de excedencia de la aceleración máxima del suelo para 10 años en el MSMH.....	24
13	Espectro de peligro uniforme asociado a 10 años de periodo de retorno, para el MSMH....	24
14	Mapa de zonificación de aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 100 años.....	25
15	Curva de tasa de excedencia de la aceleración máxima del suelo para 100 años en el MSMH.....	26
16	Espectro de peligro uniforme asociado a 100 años de periodo de retorno, para el MSMH.....	26
17	Mapa de zonificación de aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 500 años.....	27
18	Curva de tasa de excedencia de la aceleración máxima del suelo para 500 años en el MSM.....	28
19	<i>Espectro de peligro uniforme asociado a 100 años de periodo de retorno, para el MSMH.....</i>	28



20	Distribución de ondas sísmicas según la geología.....	30
	Mapa tectónico generalizado del sistema de subducción mexicano (modificado de Pardo y Suárez, 1995). Los números separados por comas indican la edad de la corteza oceánica (en Ma) y la velocidad de convergencia (en cm/a), respectivamente. Las curvas de nivel representan la profundidad de la placa oceánica (la curva segmentada es una inferencia).	
21	Una sección representativa de la corteza oceánica fue muestreada por el Deep Sea Drilling Project en el sitio 487 (DSDP sitio 487). Se incluyen también como referencia algunos campos volcánicos importantes: Campo volcánico de Los Tuxtlas (Tuxtlas), volcán Pico de Orizaba (Pico), volcán Popocatepetl (Popo), campo volcánico de Chichinautzin (Chichi), campo volcánico de Michoacán-Guanajuato (CVMG), volcán de Colima (Colima), campo volcánico de Mascota (Mascota), y volcán San Juan (S. Juan).....	31
22	Actividad volcánica activa en México.....	32
23	Zonas de origen y arribo de tsunamis locales (en rojo) y lejanos (en azul) Modificada de CENAPRED, 2001.....	33
24	Posible arribo de una ola en caso de Tsunamis.....	34
25	Fallas en el Municipio de Santa María Huatulco.....	38
26	Derrumbes en el Municipio de Santa María Huatulco.....	42
27	Deslizamientos en el Municipio de Santa María Huatulco.....	46
28	Flujos en el Municipio de Santa María Huatulco.....	51
29	Erosión en el Municipio de Santa María Huatulco.....	56



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

N° de Fotografía	Descripción	Página
1	Falla rumbo al Cerro Chino.....	40
2	Plano de Falla.....	40
3	Plano de falla en la comunidad el Jardín.....	40
4	Zona de Cizalla - falla Chacalapa.....	40
5	Derrumbe Puente de Coyula.....	45
6	Derrumbe rumbo a la comunidad Benito Juárez.....	45
7	Derrumbe Falla Chacalapa (Chacalmata).....	46
8	Derrumbe en la comunidad del Jardín.....	46
9	Deslizamiento Bajos del Arenal.....	49
10	Deslizamiento cerca de escuela (El Faisán).....	49
11	Posible deslizamiento Escuela, Las Pozas.....	49
12	Deslizamiento localidad (El Parajito).....	49
13	Posible deslizamiento (Las Amapolas).....	50
14	Ladera peligrosa (Bajos de Coyula).....	50
15	Flujos de Arena en el Rio Coyula.....	53
16	Flujos de Arena Comunidad El Faisán.....	53
17	Erosión producto del hombre El parajito.....	54
18	Erosión en Colonia Tejal Santa María Huatulco.....	54
19	<i>Gruta en el Cerro Huatulco</i>	55
20	Erosión en las laderas del Rio Coyula.....	58
21	Erosión por lluvia El parajito.....	58
22	Erosión fuerte Las Amapolas.....	58
23	Erosión por lluvia Bajos del Arenal.....	58
24	Kinder ubicado en una ladera peligrosa colonia H3.....	59
25	Casas a la orilla de un talud con posibilidad de derrumbe colonia H3.....	60
26	Escuela con probabilidad de deslizamiento col. H3.....	61
27	Centro de Salud (ladera con inestabilidad.....	61
28	Obra humana propensa a un deslizamiento.....	62
29	Asentamiento de casas afectadas por erosión.....	62



ÍNDICE DE TABLAS

N° de Tablas	Descripción	Página
1	Principales sismos desde 1998-2012 en la periferia del Municipio de Santa María Huatulco.....	20
2	Espectro de peligro uniforme calculado con PSM.....	25
3	Espectro de peligro uniforme calculado con PSM.....	27
4	Espectro de peligro uniforme calculado con PSM.....	29
5	Tsunamis de origen local observados o registrados en México.....	36
6	Identificación de Fallas en el municipio.....	39
7	Derrumbes en el Municipio de Santa María Huatulco.....	43
8	Identificación de Deslizamientos en el municipio.....	48
9	Flujos en el Municipio de Santa María Huatulco.....	52
10	Sitios de Erosión del Municipio de Santa María Huatulco.....	57
11	Recomendaciones de Obra.....	62



“ATLAS DE PELIGRO GEOLÓGICO DEL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA HUATULCO OAXACA”

I. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y ASPECTOS GEOGRÁFICOS

INTRODUCCIÓN

Este documento denominado Atlas de Peligro Geológico del Municipio de Santa María Huatulco, es un informe escrito y de campo geológico, que realicé en contratación laboral con la empresa Estrategias Gis S.C. ubicada en la Av. Morelos 1521 Oaxaca de Juárez, Oaxaca, siguiendo los estatutos del Programa de Prevención de riesgos en los Asentamientos Humanos (PRAH) de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), con base a los términos de referencia del programa y a los lineamientos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

La empresa Estrategias GIS S.C. es un organismo dedicado a realizar estudios enfocados a la Protección Civil, especializado en estudiar y cartografiar zonas que están susceptibles a riesgos geológicos y meteorológicos.

Actualmente existe el reclamo en México de aplicar programas ambientales, que garanticen un alto grado de seguridad ante fenómenos de carácter geológico y permitan desarrollar de manera óptima las actividades productivas en ciudades y municipios del país. Es por ello que tanto, el Municipio de Santa María Huatulco, SEDESOL y Estrategias GIS S.C. se dieron a la tarea de elaborar un documento (Atlas de Peligro Geológico de Santa María Huatulco), que permita identificar, establecer las características de los fenómenos geológicos y sus niveles de impacto en la población.

El Municipio de Santa María Huatulco (MSMH) se ubica en la Región Costa del estado de Oaxaca. Dada su ubicación cercana a la zona de subducción de la Placa de Cocos y la Placa de Norteamérica, está expuesto a sismos de magnitud considerable y a una alta ocurrencia de fenómenos geológicos. Los peligros a los cuales está expuesto el MSMH, se encuentran condicionados en gran medida por la topografía, geología, clima y su ubicación geográfica, etc.

El objetivo general del “Atlas de Peligro Geológico del Municipio de (MSMH) Oaxaca” es que sirva como un documento de referencia que permita conocer el entorno y los fenómenos geológicos y naturales que rodean a la población de Huatulco. Con este documento se podrán emprender acciones, cambios y toma de decisiones en forma conjunta y coordinada,



para alcanzar condiciones de seguridad, protección y servicios estratégicos de las comunidades.

OBJETIVOS

Elaborar un atlas documental, mediante el cual se permita visualizar desde un marco municipal, el grado de vulnerabilidad de peligros geológicos, que puede estar sometida la población e infraestructura del MSMH.

Contribuir a la prevención y mitigación de procesos geológicos que puedan afectar a la infraestructura y población de Huatulco. En este sentido se podrán establecer o celebrar acuerdos de ayuda mutua y de primera respuesta, entre el municipio y la población.

Desarrollar mapas que permitan a la población, visualizar zonas de alto, medio y bajo peligro geológico, con el fin de concientizar a la población de estos fenómenos perturbadores, evitando daños en las comunidades.

ALCANCES

Este documento debe considerarse como una primera etapa, la cual nos permitió conocer e identificar zonas susceptibles a fenómenos geológicos destructivos, que están afectando directamente a las personas y a la infraestructura de la entidad.

En etapas posteriores, los nuevos documentos que se realicen deberán seguir con las mismas normas establecidas por SEDESOL y el MSMH, realizando levantamientos de campo, investigando y actualizado nueva información de peligros geológicos que se manifiesten en la zona. La aplicación de Métodos Geofísicos, como la Zonificación Sísmica o el Monitoreo Sísmico, jugara un papel preponderante, ya que permitirá conocer con más detalle, la caracterización dinámica del entorno geológico del MSMH y la toma de decisiones para el crecimiento adecuado de nuevas zonas turísticas y urbanas.

LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

El municipio de Santa María Huatulco, se ubica en la región de la Costa del estado de Oaxaca, tiene una extensión territorial de 579.22 kilómetros cuadrados de superficie, lo que corresponde a un 0.615% de la superficie total del estado de Oaxaca, geográficamente se encuentra entre las coordenadas: 15° 50' y 96° 19' de latitud Norte; de longitud Oeste, a una altitud de 220 msnm.



Carreteras

La carretera federal núm. 200, cruza el estado por el sur, así como al municipio de Huatulco. Bordea la costa oaxaqueña, ingresa por el oeste, comunica las localidades de Pinotepa Nacional, Santiago Jamiltepec, Río Grande, Puerto Escondido, Santa María Huatulco, El Coyul, Morro Mazatán, Salina Cruz, en esta comunidad y hacia Santo Domingo Tehuantepec la carretera 200 se transforma a la núm. 185.

La carretera federal núm. 175 entra al norte por Tuxtepec, enlaza hacia el sur las localidades de San José Chiltepec, Guelatao de Juárez, El Punto, Oaxaca, San Bartolo Coyotepec, Ocotlán de Morelos, Ejutla de Crespo, Miahuatlán de Porfirio Díaz, San Pedro Pochutla y termina en Puerto Ángel; la carretera núm. 175 une las carreteras federales 190 y 200, que comunica al Municipio de Huatulco.

Aeropuertos

Existe un aeropuerto que ofrece servicio nacional e internacional ubicado a 15 Km de la zona turística de Bahías de Huatulco, las vías de comunicación aéreas del municipio se complementan por este medio, además que se cuenta con algunos aeródromos distribuidos en el municipio (Figura-1).

Puertos marítimos

Existe un puerto marítimo local en Huatulco, que su principal servicio es la actividad turística y pesquera, gran parte de la economía de la localidad se origina por este medio.

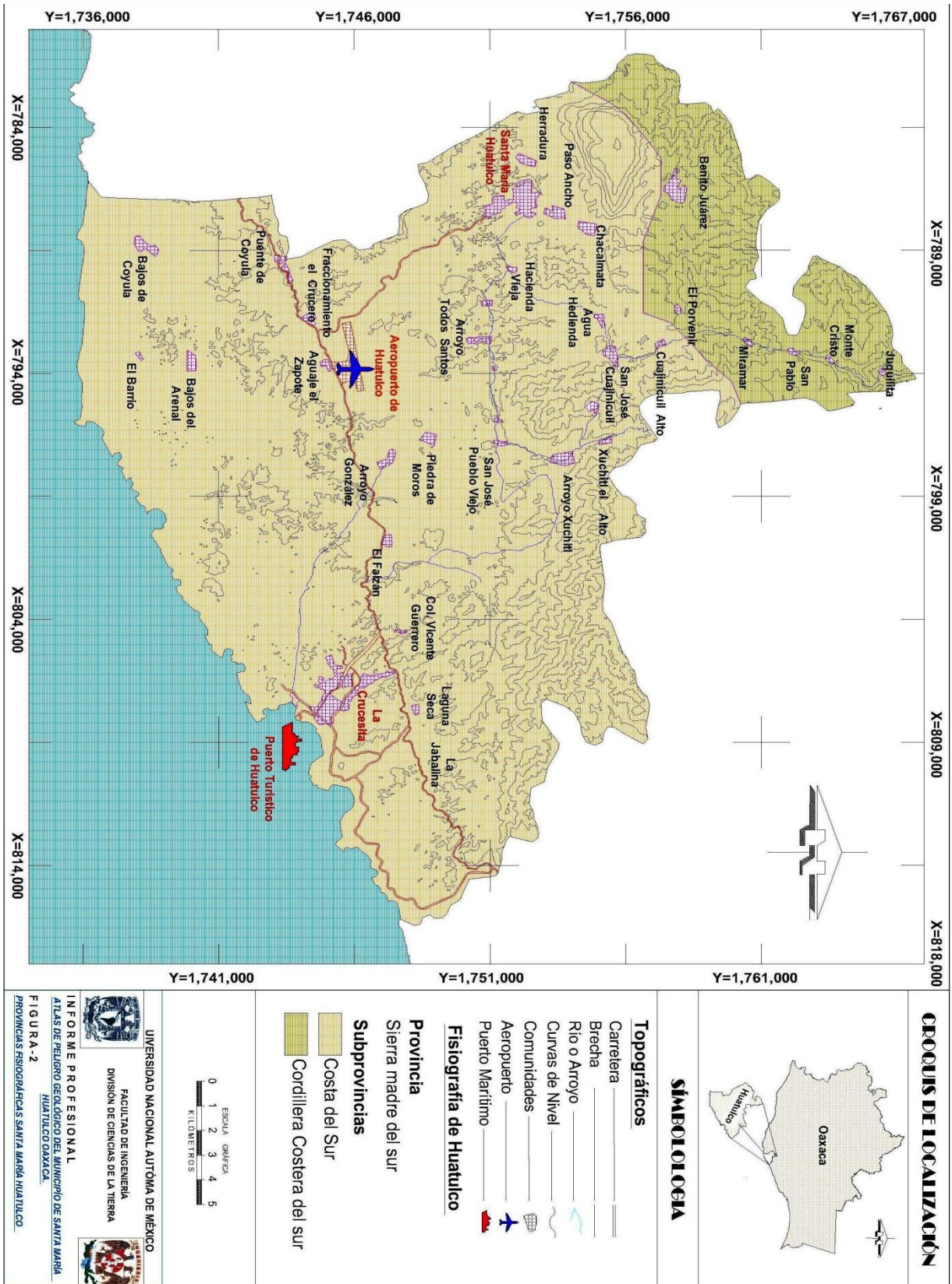
II. MARCO GEOLÓGICO

FISIOGRAFÍA

El Municipio de MSMH pertenece a la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, con subprovincias *Cordillera Costera del Sur*, que se extiende de noroeste a sur en forma paralela a la subprovincia *Costas del Sur* ubicada en la línea de costa.

Dentro de estos sistemas de topofomas se destacan asociaciones rocosas de origen y edades diferentes, que conforman la textura de los terrenos de Huatulco.

La fisiografía y geomorfología del municipio (Figura-2), se encuentran definidas por las estribaciones de la Sierra Madre del Sur, mismas que en la región llegan al mar y forman las





Bahías, acantilados y escarpes rocosos que caracterizan a esta porción del Pacífico en Oaxaca. De acuerdo con González et al., (1996) ésta conformación orográfica y de paisaje, promueve un aislamiento con respecto a los sistemas de redes o corredores que bajan desde las montañas altas (Sierra Madre del Sur), constituyendo una entidad paisajística muy particular en donde es posible encontrar una gran riqueza y diversidad de especies.

Como se puede observar el territorio del MSMH, se conforma por lomeríos (49.5%) y sierra (50.5%) que va desde la Sierra Alta compleja a la Sierra Baja.

GEOMORFOLOGÍA

La descripción del sitio de estudio en general se divide en tres geformas principales.

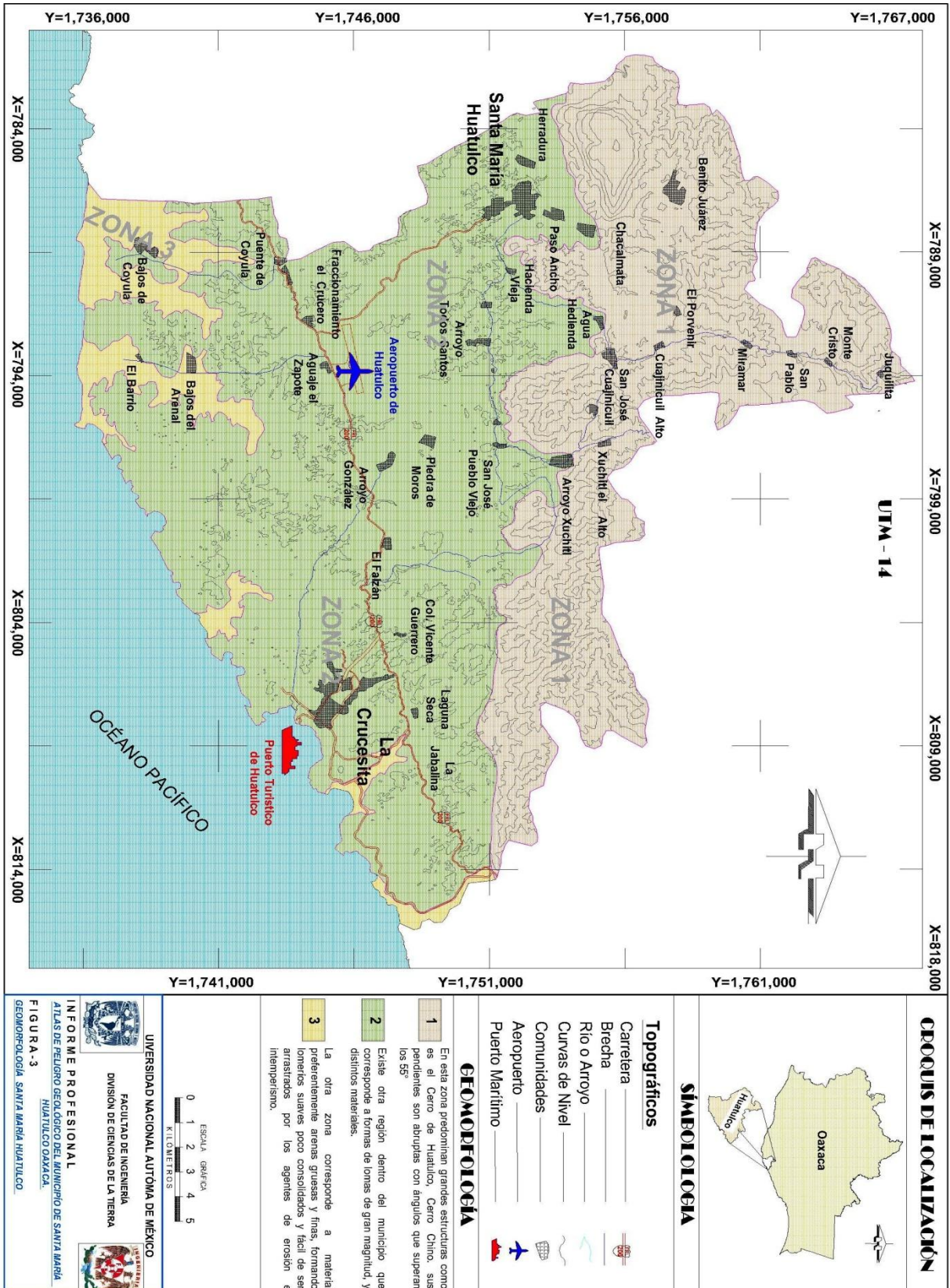
Un paisaje con altitud que llega de los 700 los 1000 msnmm en el que predominan grandes estructuras como es el Cerro de Huatulco, Cerro Chino, El Encinal, entre otros; sus pendientes son abruptas con ángulos que superan los 55°, lo cual permite que sus drenajes también se observen con profundidades de gran magnitud.

Existe otra región dentro del municipio que corresponde a formas de lomas de gran magnitud y distintos materiales. Uno de ellos es la zona milonítica de la Falla Chacalapa, la cual dejó una cizalla de material quebradizo que al mezclarse con arenas originadas por el desgaste del complejo Xolapa, forman una geomorfología de estructura poco consolidadas, dejando drenajes de tamaño considerable. Algunas localidades establecidas en estos lugares son: Todos Santos, Las Pozas, Arroyo Limón, Hacienda Vieja.

La otra zona corresponde a material preferentemente arenas gruesas y finas, formando lomeríos suaves poco consolidados y fácil de ser arrastrados por los agentes de erosión e intemperismo. Aquí los drenajes son frágiles, las corrientes de aguas arriba suelen erosionar la roca y causar accidentes. Entre algunas localidades mencionamos las siguientes; Las Amapolas, Fraccionamiento El Crucero, Arroyo González, El Faisán, Colonia Vicente Guerrero, etc.

La geomorfología del municipio de MSMH tiene que contar prioritariamente con el factor geológico, (Figura-3) que explica la disposición de los materiales. Las estructuras derivadas de la tectónica y de la litología, configuran frecuentemente los volúmenes del relieve de un modo más o menos directo.

Algunas condiciones climáticas del lugar se consideran extremas, la lluvia es uno de los factores que cambian la morfología natural del lugar, ya que crecen los caudales de ríos,





arroyos y secuencias que transportan corrientes fluviales. Es importante mencionar que estas corrientes son de gran volumen por lo que en pocos días las formas observadas pueden cambiar drásticamente, esto es el caso de algunas localidades como son “Puente de Coyula, Bajos de Coyula, El Arenal, Bajos del Arenal, y Barra de Copalita.

Otra de las condiciones que alteran el panorama de la región es el viento provocando erosión en lomeríos existentes, desde la localidad de La Jabalina hasta llegar a Bajos de Coyula siguiendo la línea de costa. Cuando estos vientos pegan en las crestas o en el pie de las lomas desgastan de manera considerable estas geoformas.

La temperatura forma parte del modelado de laderas, litología y estructuras que se muestran en el sitio de interés. Los rayos del sol, provocan de una forma directa alteración en los minerales haciendo más fácil su desgaste, las rocas preexistentes modifican su panorama original.

La deforestación es otro de los casos de modificación de la forma o estructura de la tierra, en el caso de Huatulco existen localidades con deforestaciones que provocan cambios en los terrenos. Algunas localidades por mencionar son: Santa María Huatulco, San José Pueblo Viejo, Paso Limón, etc.

ESTRATIGRAFÍA

El área del MSMH Oaxaca, está constituido principalmente de rocas intrusivas, metamórficas y sedimentarias. De tal manera, que en la región afloran rocas que cronológicamente comprenden desde el Precámbrico hasta el Cenozoico.

El área estudiada está comprendida dentro de los terrenos tectonoestratigráficos Oaxaca y Xolapa.

Precámbrico

Complejo Oaxaqueño (Ptm CM)

Consiste de ortogneis cuarzofeldespático, de textura granoblástica, con un alto contenido de cuarzo y plagioclasas sódicas, paragneis bandeado de biotita y metasedimentos de rocas calcáreas pelíticas y arcósicas transformadas en mármol.

En general el grado de metamorfismo del Complejo Oaxaqueño corresponde a facies de granulita y anfibolita. El contacto superior del Complejo Oaxaqueño es discordante y la base de dicha unidad no aflora, por lo que se desconoce el espesor de este paquete litológico.

Mesozoico Complejo Xolapa (Tm)

El Complejo Metamórfico Xolapa está compuesto por una asociación heterogénea de rocas de facies de anfibolita e intrusivos pre-y sincinemáticos. El complejo incluye migmatitas, anfibolitas, gneis, esquistos de biotita, cuarcita y mármol cipolino. En general toda la secuencia está cortada por numerosas bandas de pegmatitas, diques de composición diabásica e intrusivos de composición granítica.

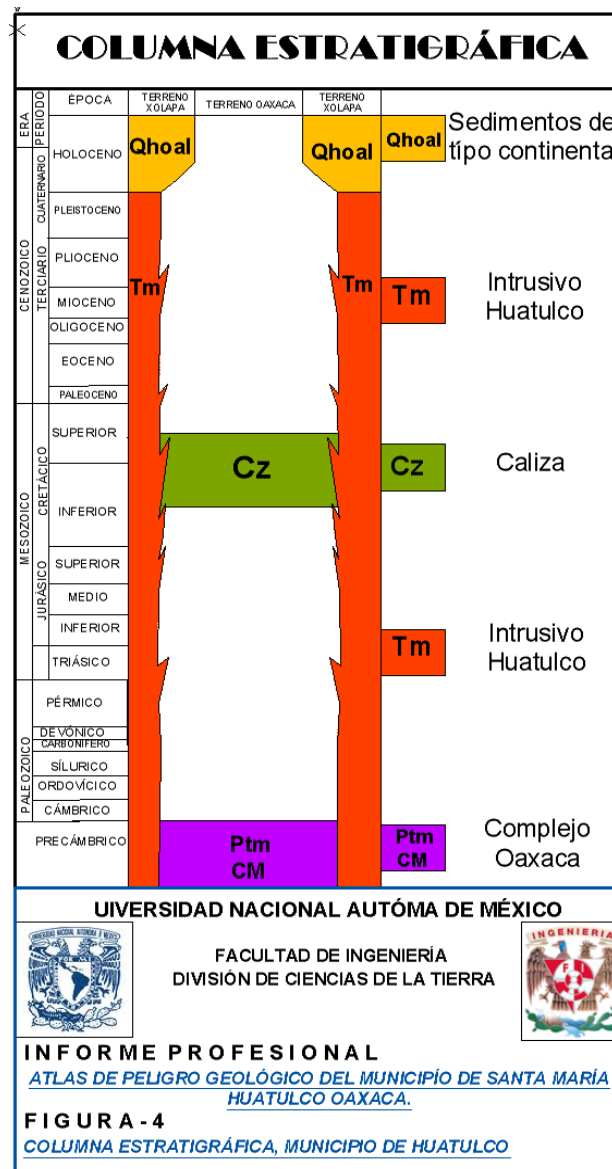


Figura 4. Columna Estratigráfica Municipio de Santa María Huatulco



Estas rocas constituyen un afloramiento muy extenso del basamento a lo largo de la costa del Pacífico, con longitud aproximada de 600 km y amplitud de 50 a 80 km, en toda la costa del estado de Oaxaca aflora este complejo.

Cretácico

Formación Teposcolula (Cz)

La Formación Teposcolula está constituida por calizas de plataforma marina carbonatada (*wackestone-packstone* y *mudstone*, con foraminíferos bentónicos y rudistas) (Ortega-González y Lambarria-Silva, 1991) y con intercalaciones de dolomías y calizas arcillosas. En la zona de estudio, la Formación Teposcolula está compuesta por un paquete potente de calizas delgadas a masivas de color gris claro de edad albiana-cenomaniana (Ortega-González y Lambarria-Silva, 1991; Ferrusquía-Villafranca, 1976).

Cenozoico

Mioceno

El tronco Huatulco (Tm GD)

El Tronco Huatulco de composición predominante granodiorítica muestra zonas foliadas y bandeadas, así como milonitas en las partes más cercanas a la Falla Chacalapa, este intrusivo ha sido fechado por diferentes métodos que permiten ubicarlo en el Mioceno.

Este cuerpo intrusivo forma parte de un cinturón plutónico que aflora a lo largo de la costa del Pacífico desde Manzanillo hasta el Istmo de Tehuantepec (Figura-4).

Cuaternario

Sedimentos de Suelo Residual (Qhoal)

En la superficie, las rocas se descomponen a suelos arenosos-limosos principalmente y ocasionalmente arcillosos, de color pardo, a partir de la alteración supergénica. También hay material que se deriva de rocas fragmentadas, constituidos por limos, arenas y gravas a bloques, el cual descansa en cuestas suaves, denominados depósitos de talud. Por lo general tienen espesores de escala de centímetros a pocos metros, en zonas de pendiente suave.



GEOLOGÍA

El basamento es el más antiguo del Sur de México, denominado Complejo Oaxaqueño (Ptm CM) y está representado por una variedad de rocas metamórficas como paragneises, ortogneises, anortosita, cuerpos dioríticos y gabroicos, así como cuerpos calcosilicatados y pegmatíticos.

Las dataciones realizadas lo ubican en el Proterozoico medio con edades que varían de 900 a 1,100 Ma. Se ha correlacionado con la Provincia Grenvilliana de América del Norte basándose en una cronología y litología. Dentro del MSMH, la parte que mas aflora del Complejo Oaxaqueño está constituida por grandes cuerpos anortosíticos y de otras rocas intrusivas ácidas y básicas metamorfoseadas a facies de granulita.

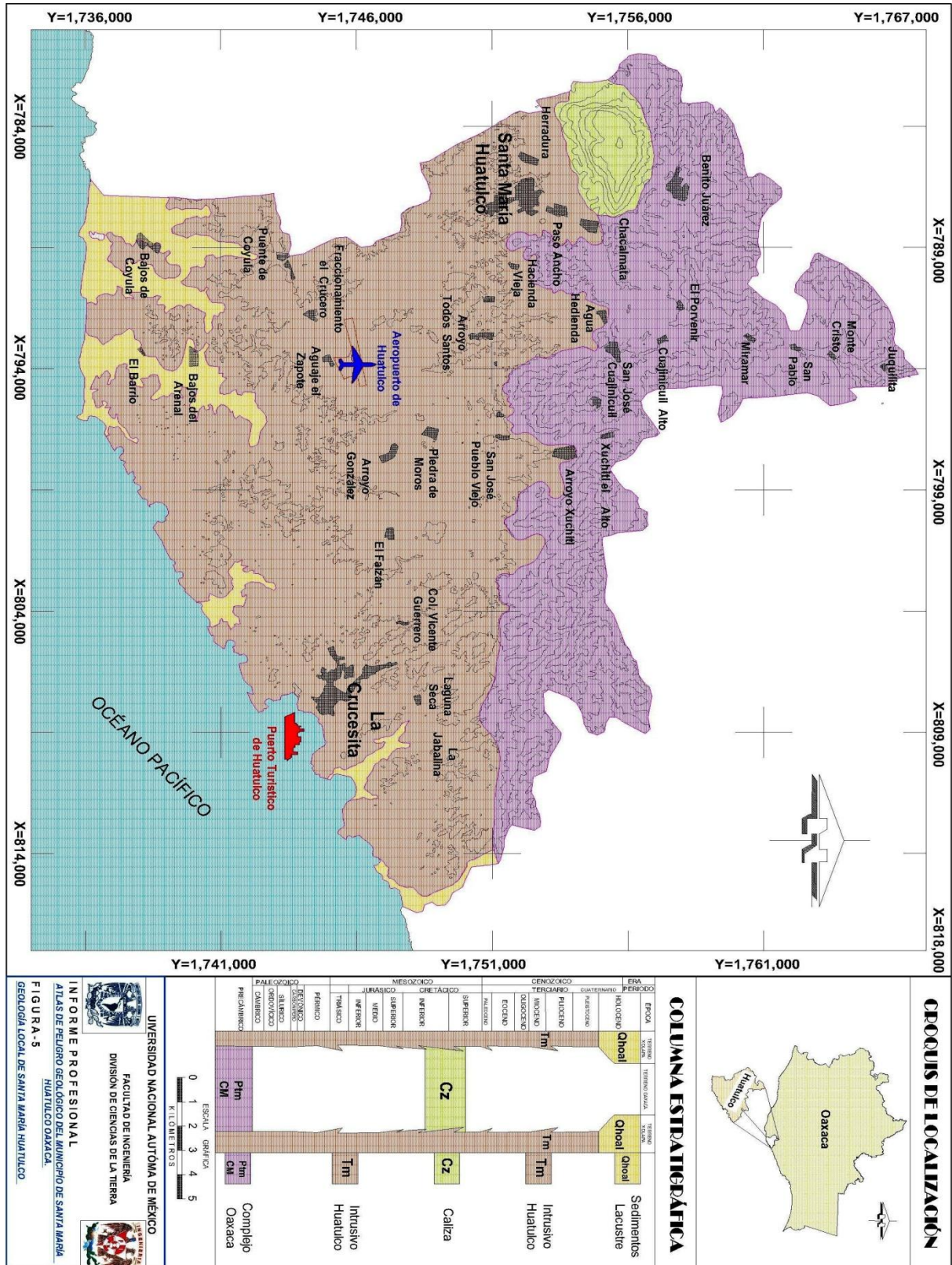
Las edades asignadas al Complejo Xolapa presentan muchas interrogantes en cuanto a su posible edad, en este trabajo se consideraron edades mesezoicas, precámbricas y paleozoicas que pueden ser las edades de los protolitos en los paragneises y las terciarias por reactivación de los relojes isotópicos debido al plutonismo terciario.

Las rocas metamórficas del Complejo Xolapa se encuentran afectadas por cuerpos intrusivos terciarios, estos cuerpos forman parte de un cinturón plutónico que aflora a lo largo de la costa del Pacífico. La zona de Huatulco esta efectada por un cuerpo intrusivo denominado Intrusivo Huatulco o Tronco Huatulco (Tm).

La superficie cretácica compuesta de rocas Calizas (Cz) conforma una de las estructuras de mayor altitud del municipio: un ejemplo del lugar es el Cerro Huatulco, (originada por el levantamiento de las placas continentales y depósitos marinos respectivamente).

Existen depósitos palustres cuaternarios que cubren al intrusivo, formando las zonas bajas y de sedimento poco consolidado que se observa en casi toda la línea de costa del MSMH.

La zona cuaternaria que se componen de Sedimentos y franjas litorales (Qhoal) estimada en 35 km de longitud municipal), que en algunas porciones se acercan al mar y facilitan la conformación de escarpes rocosos, mismos que constituyen el paisaje de lo que se conoce como Bahías de Huatulco. Asimismo, las planicies municipales que corresponden a estrechas franjas aluviales ubicadas en las desembocaduras de los ríos y arroyos principales: Coyula, Arenal, Cacaluta y Copalita, principalmente (Figura-5)





GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La geología estructural del área es compleja, ya que incluye una falla de escala regional que pone en contacto dos paquetes metamórficos que a su vez se caracterizan por una historia de múltiples eventos de deformación. Los distintos episodios de deformación se manifiestan mediante estructuras del régimen cristal-plástico, transicional y frágil con relaciones de corte que permiten establecer su cronología relativa.

Estructuras Complejo Oaxaqueño

Estructuralmente ha sufrido una intensa y continua deformación que impide reconocer las características originales de las rocas, también se caracteriza por desarrollar estructuras planares de foliación penetrativa, así como, indicadores cinemáticos, (budinage) y alargamiento de minerales.

Foliaciones

La proyección de polos de foliación del dominio Oaxaqueño muestra que la foliación tiene una orientación preferencial con rumbo E-W e inclinación moderada a fuerte al sur. Los polos de planos de estratificación de las rocas de la cobertura del Complejo Oaxaqueño son subparalelos a los de la foliación gnéissica.

Morfoestructura del Terreno Xolapa

Este estilo representa una de las principales características tectónicas regionales y está constituido en gran parte por una serie de mega estructuras de cizalla de mecanismo dúctil-frágil (Corona Ch.P., 1996). Las rocas del Complejo Xolapa, comprenden diferentes episodios de formación que se manifiestan por la presencia de foliación penetrativa con rumbos E-W y con echados al sur, pliegues itrafoliales, isoclinales, disarmónicos, zonas anastomasadas, budinage, bandamientos, lineación y otros indicadores cinemáticos que definen la dirección del movimiento.

Falla Chacalapa

Esta estructura regional tiene rumbo general E-W que yuxtapone las rocas del Complejo Oaxaqueño (y su cobertura) con las del Complejo Xolapa. Ésta discontinuidad tectónica se extiende más de 50 km a rumbo. Es una estructura con cinemática lateral izquierda que se desarrolló durante el Oligoceno (Tolson, 2005).

Tiene características de deformación en el régimen dúctil, con desarrollo de milonitas con texturas de recristalización dinámica en estado sólido y de deformación en el régimen quebradizo con desarrollo de pseudotaquilitas, cataclasitas y salbandas.



Figura 6. Mapa general del sur de México donde se muestra la distribución de rocas metamórficas y las principales fallas regionales que han sido documentadas (modificado de Sánchez-Zavala, 2005).

La zona de cizalla es continua a rumbo desde el occidente del poblado de Chacalapa (Lazos- Ramírez y Rodríguez-Rivera, 1995) hasta el oriente de Santa María Xadani, pero en las cercanías del poblado de Xuchilt, adquiere un carácter trenzado o anastomosado, bifurcándose alrededor de bloques de los complejos Oaxaqueño y Xolapa no milonitizados (Figura-6).

El espesor de las zonas miloníticas de la Falla Chacalapa varía desde cientos de metros donde se encuentra trenzada, hasta 2 km en las cercanías del pueblo de Santa María Huatulco. Esta zona milonítica es posterior a una serie de zonas de cizalla que se encuentran en rocas del Complejo Xolapa con espesores de decenas de metros y extensiones de 1 a 2 km con texturas de carácter netamente dúctil; la traza en planta de estas estructuras es más compleja que la de la falla Chacalapa, ya que sus inclinaciones son moderadas a bajas. Para el caso de las fallas Pochutla y Figueroa son muy semejantes en sus características a la Chacalapa, por lo que se consideran del mismo sistema.



Fallas Conjugadas NNW-SSE y NE-SW

La sección mejor expuesta de milonita es la que aflora a lo largo del cauce del río Huatulco entre Santa María Huatulco y Benito Juárez. En esta sección se observa claramente la transición de rocas graníticas sin deformar del intrusivo Huatulco, hasta ultramilonitas con lineación de extensión mineral penetrativa en escala milimétrica. Esta transición es gradual y compleja: el granito fresco empieza a ser afectado por pares de fallas conjugadas con distancias aproximadas entre los pares de 20 m y orientaciones NNW-SSE y NE-SW. La densidad de las fallas aumenta paulatinamente, así como su espesor, conforme desarrollan una zona de salbanda y brechas con una distintiva coloración azul-gris. Los planos de falla no exhiben lineaciones que indiquen el movimiento relativo entre los bloques, pero las relaciones de corte entre fallas sugieren que son pares izquierdos-derechos. La separación entre fallas continúa disminuyendo hasta que llega a ser de centímetros.

III. MARCO TECTÓNICO DEL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA HUATULCO PERTENECIENTE A LA SIERRA MADRE DEL SUR.

ENTORNO TECTÓNICO

A continuación se presenta una revisión sobre el estado actual del conocimiento acerca de la evolución geológica cenozoica del sur de México y se plantean las principales interrogantes respecto a los diferentes episodios tectónicos y magmáticos que se han reconocido en la región. La revisión se enfoca principalmente en la Sierra Madre del Sur que, para los objetivos de este trabajo, se asume como la región montañosa limitada por la FVTM al norte, el Istmo de Tehuantepec y la Sierra de Juárez (terreno Juárez) al este, y la margen continental del Pacífico, al sur.

Con base en los contrastes petrológicos, tectónicos y geocronológicos de los segmentos de basamento premesozoico aflorantes, tomando en cuenta los cambios en la naturaleza petrotectónica de las rocas mesozoicas que cubren y bordean el basamento antiguo, la corteza superior del sur de México ha sido subdividida en cinco terrenos tectonoestratigráficos: Oaxaca, Mixteca, Guerrero, Xolapa y Juárez (Campa y Coney, 1983) (Figura 7).

La evolución tectónica del sur de México desde el Cretácico Tardío se caracteriza primero, por un evento orogénico de acortamiento con vergencia predominante hacia el oriente, el cual está relacionado en tiempo y estilo de deformación con la orogenia Laramide. Una de las hipótesis más aceptadas menciona, que fue el acoplamiento mecánico y la tracción que

resultaron de la subducción de la placa de Farallón en una posición subhorizontal bajo la corteza de la placa de Norteamérica.

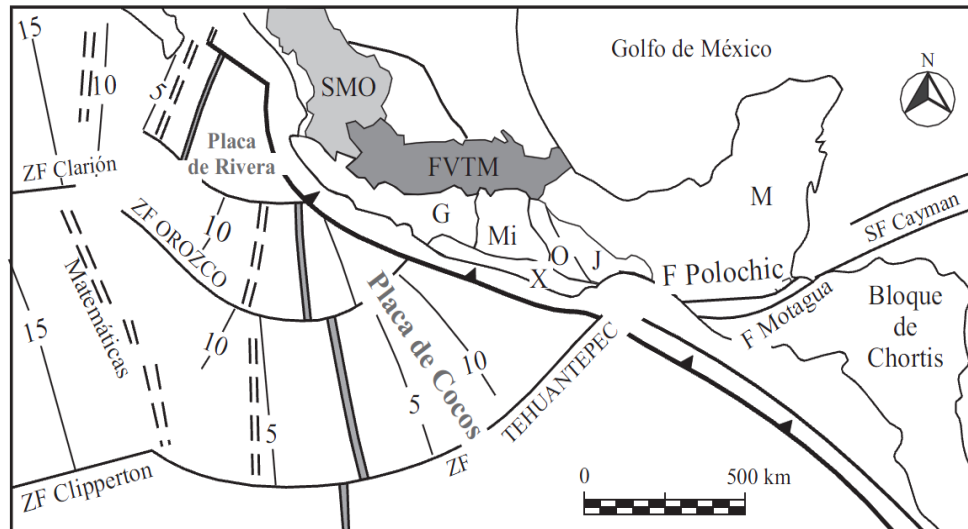


Figura 7. Principales rasgos tectónicos del entorno oceánico actual del sur de México. También se muestra la distribución de los terrenos tectonoestratigráficos pre-cenozoicos (modificado de Campa y Coney, 1983). SMO, Sierra Madre Occidental; FVTM, Faja Volcánica Transmexicana; G, terreno Guerrero; Mi, terreno Mixteca; O, terreno Oaxaca; J, terreno Juárez; X, terreno Xolapa; M, terreno Maya. ZF, zona de fractura.

Posteriormente, a partir del Eoceno, se desarrolló de un régimen tectónico caracterizado por fallas laterales cuyas direcciones preferenciales tanto de las trazas principales como del acortamiento y extensión asociados variaron en el tiempo, pero también en espacio.

No se sabe con certeza cuándo terminó la deformación Laramide y cuándo comenzó el régimen lateral generalizado que predominó durante el Cenozoico, pero en el Eoceno tardío se registra una actividad tectónica expresada principalmente en fallas laterales izquierdas de orientación NW-SE y E-W. Ésta se reconoce principalmente en la parte norte-central de la Sierra Madre del Sur y a lo largo de la margen continental actual, entre Zihuatanejo y Puerto Escondido, (Ratschbacher *et al.*, 1991; Morán-Zenteno, *et al.*, 1999; Alaniz-Álvarez, 2002). Hacia el inicio del Oligoceno el fallamiento lateral izquierdo, expresado por la presencia de fallas E-W, prevalecía en la región de Huatulco (Tolson *et al.*, 1993).

En efecto, uno de los detalles más sobresalientes de la corteza del sur de México es el carácter truncado y exhumado de la margen continental del Pacífico (Bellon, *et al.*, 1982; Morán Zenteno *et al.*, 1996). La presencia abundante de rocas plutónicas del Cenozoico a lo largo de la margen, desde Manzanillo al Istmo de Tehuantepec y del batolito del Cretácico Tardío de Puerto Vallarta, en la región de Jalisco, revela el levantamiento diferencial que ha

tenido la margen continental con respecto a la zona interior, en donde se encuentran expuestas principalmente secuencias sedimentarias y volcánicas del Cretácico y Cenozoico.

La distribución de rocas plutónicas de arco en la zona litoral y aún en la zona marina cercana a la trinchera (Bellon *et al.*, 1982), ponen de manifiesto, además de la exhumación de la margen continental, el avance que ha tenido la trinchera hacia el continente.

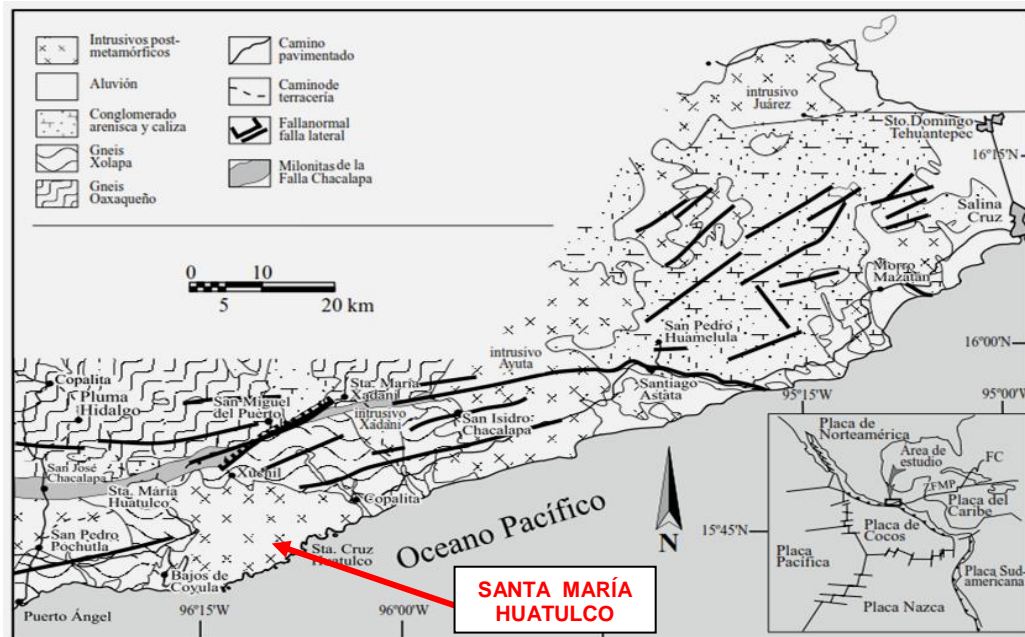


Figura 8. Mapa geológico del área de estudio. La porción nororiental está modificada del mapa de Carfentan (1986). El recuadro muestra la ubicación del área en el marco tectónico (modificado de Morán Zenteno *et al.*, 1996) FC se refiere a la fosa Caymán y ZFMP se refiere a la zona de fallas Motagua –Polochic.

El truncamiento de la margen continental del Pacífico en el sur de México ha sido asociado de manera reiterada a la remoción del bloque de Chortis de la margen continental del sur de México (Malfait y Dinkelman, 1972; Ross y Scotese, 1988; Pindell *et al.*, 1988, Schaaf *et al.*, 1995). La migración del magmatismo de la Sierra Madre del Sur hacia el sureste y la presencia de zonas de cizalla con componente lateral izquierda han sido relacionadas con esta hipótesis (Herrmann *et al.*, 1994; Schaaf *et al.*, 1995; Morán- Zenteno *et al.*, 1996).

De acuerdo con los modelos basados en perfiles sísmicos a lo largo de la zona costera del oriente de Guerrero y Oaxaca, la corteza continental tiene entre 15 y 20 km de espesor (Nava *et al.*, 1988). Los modelos sobre la geometría de la zona de subducción indican una amplia zona de contacto de la base de la corteza con el segmento subducido de la placa de Cocos por lo menos hasta distancias de 100 km de la costa (Valdés, *et al.*, 1986; GEOLIMEX working group, 1994; Pardo y Suárez, 1995). Figura - 8

SISMICIDAD

Actualmente la margen pacífica es una zona sísmicamente activa donde además de registrarse epicentros y focos sísmicos coincidentes con los límites tectónicos aquí expuestos, también se ha documentado la presencia de movimientos de bloques, evidenciado por el desplazamiento de fallas normales, inversas y laterales las cuales han sido reconocidas.

Un sismo o terremoto es un temblor producido en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la tierra. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas direcciones. El punto en que se origina el terremoto se llama foco o hipocentro y se puede situar a un máximo de unos 700 km hacia el interior terrestre. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto. De acuerdo a su origen, los sismos se clasifican en: tectónicos, volcánicos y los provocados por actividades humanas.

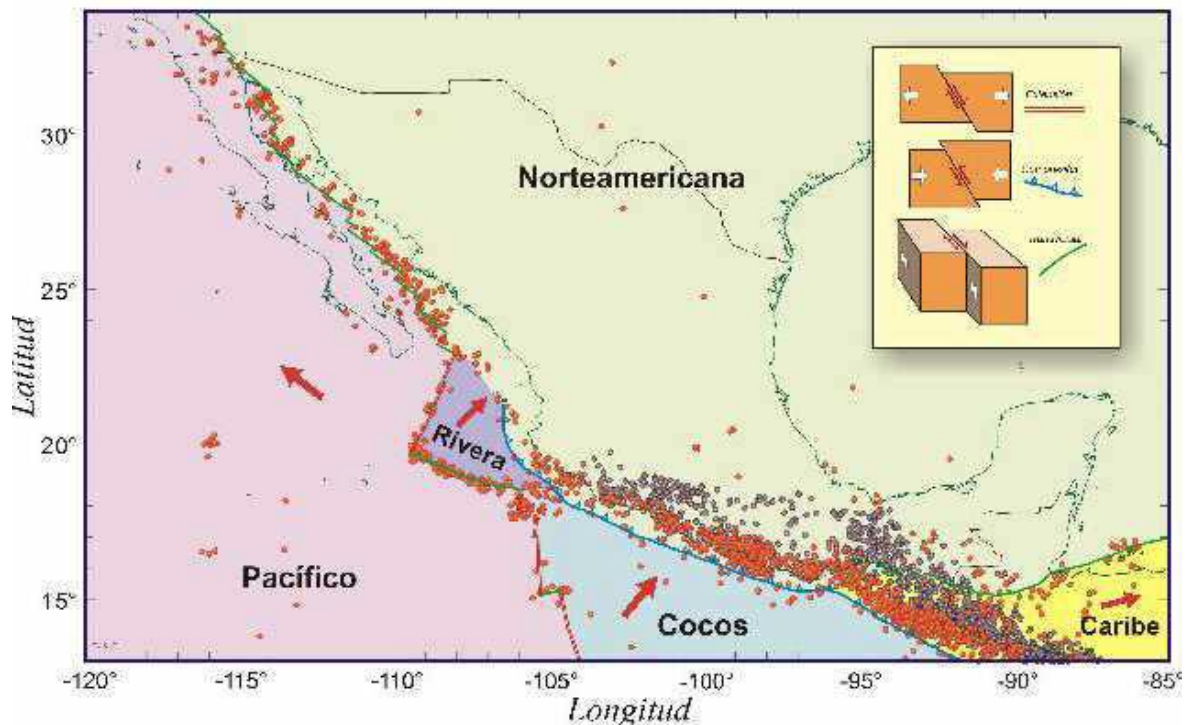


Figura. 9.- Tectónica de la República Mexicana

Sismos Tectónicos

Estos sismos son los más devastadores, de acuerdo con la teoría de la Tectónica de Placas, el origen de los sismos tectónicos está en las presiones generadas por el movimiento de las placas que conforman la corteza terrestre. La mayoría de estos sismos se originan y



registran en los bordes de estas placas, en áreas donde existe una frontera entre ellas. En estas zonas, se generan fuerzas de fricción que impiden el desplazamiento continuo de las placas, esto hace que se acumule energía, que al ser mayor que la resistencia de la roca, ésta se rompa, liberando esa energía en forma de ondas sísmicas.

México se encuentra en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de 5 placas tectónicas: la placa de Norteamérica, placa de Cocos, placa del Pacífico, la placa de Rivera y la placa del Caribe (Figura-9). Por esta razón no es rara la ocurrencia de sismos. El Servicio Sismológico Nacional reporta en promedio la ocurrencia de 8 sismos por día de magnitud $M > 3$.

Sismos provocados por actividad humana

Asimismo, los seres humanos pueden causar o incrementar la aparición de terremotos mediante ciertas actividades, como el llenado con agua de un embalse, realizar pruebas nucleares subterráneas o el enterramiento de desechos líquidos en pozos profundos.

Sismicidad histórica en la costa del estado de Oaxaca

Oaxaca es uno de los estados con mayor sismicidad en la República Mexicana, registra aproximadamente el 25% de los sismos del país. El origen de esta sismicidad se debe al contacto convergente entre dos importantes placas tectónicas en donde la placa de Cocos subduce bajo la placa de Norteamérica. La interacción entre estas dos placas tiene lugar en la costa del Pacífico desde Chiapas hasta Jalisco.

Algunos de los temblores importantes en el estado de Oaxaca, son el del 15 de enero de 1931 de magnitud 7.4, el del 2 de agosto de 1968 de magnitud 7.3 y el del 30 de septiembre de 1999 de magnitud 7.4, los cuales se originaron en el interior de la placa Norteamericana, otros sismos importantes que han ocurrido en la región de Oaxaca son: el sismo del 23 de agosto de 1965 de magnitud 7.5 y el sismo del 29 de noviembre de 1978 de magnitud 7.6. Ambos sismos fueron provocados por el proceso de subducción, causaron daños importantes en las regiones cercanas al epicentro y varias muertes.

Los sismos son un fenómeno recurrente, cuando se ha acumulado suficiente energía en la frontera entre las placas, ésta tendrá que liberarse mediante la ocurrencia de un nuevo sismo. Los eventos sísmicos ocurren periódicamente en las mismas regiones geográficas, a medida que pasa el tiempo en una región donde no ha ocurrido un temblor fuerte, mayor es la probabilidad de que ahí ocurra uno. Es de esperarse que en las regiones donde ya se han presentado sismos fuertes, vuelvan a presentarse en el futuro.



Para advertir las implicaciones de la ocurrencia de un sismo similar a los mencionados arriba, para la zona de Oaxaca, es importante conocer los daños que ocasionaron estos eventos en el pasado. El sismo del 15 de enero de 1931, con magnitud 7.4, dañó edificios públicos, así como templos y ex conventos en poblaciones del Valle de Oaxaca.

El último sismo que provocó daños graves en la zona fue el temblor del 30 de septiembre de 1999 de magnitud Mw=7.5, el cual causó varios muertos en el estado de Oaxaca y daños importantes a infraestructura en viviendas, escuelas, hospitales, puentes y carreteras.

Las localidades que históricamente han sido más afectadas por sismos son Puerto Escondido, Pochutla, Puerto Ángel, Huatulco, Loxitla, Cacahua, Jamiltepec, Pinotepa Nacional, Ometepec y Miahuatlán. Es importante reconocer el riesgo de un sismo en esa región y tomar las medidas adecuadas para la mitigación de sus daños.

Actividad sísmica en el Municipio de Santa María Huatulco

Cabe mencionar y resaltar que aunque el estado de Oaxaca es uno de los sitios con mayor frecuencia sísmica de México, en el municipio de Santa María Huatulco aparentemente no resalta daños considerables en su infraestructura ni en los habitantes que habitan la región (Tabla 1).

Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Prof.(km)	Mag.	Zona
17/02/2012	19:37:58	15.25	-95.64	14	5.2	78 km al SURESTE de CRUCECITA, OAX
17/02/2012	19:34:19	15.26	-95.67	16	5.3	76 km al SURESTE de CRUCECITA, OAX
18/08/2012	07:38:33	15.4	-94.73	16	5	100 km al SURESTE de SALINA CRUZ, OAX
04/08/2002	20:25:19	15.61	-96.07	10	5.3	COSTA DE OAXACA
21/09/2010	09:42:09	15.73	-95.19	17	5	50 km al SUR de SALINA CRUZ, OAX
02/02/1998	21:02:01	15.74	-96.44	23	6.4	COSTA DE OAXACA
03/03/1998	01:38:25	15.8	-96.62	36	5.6	COSTA DE OAXACA
09/07/2011	07:42:29	15.87	-96.42	22	5.3	15 km al NORESTE de S PEDRO POCHUTLA, OAX
30/09/1999	11:31:14	15.89	-97.07	12	7.4	COSTA DE OAXACA
13/01/2004	15:28:56	15.9	-97.03	16	5.5	COSTA DE OAXACA
08/02/2010	18:47:40	15.9	-96.86	37	5.8	23 km al ESTE de PUERTO ESCONDIDO, OAX
07/06/2002	12:00:51	15.92	-96.96	8	5.6	COSTA DE OAXACA

Tabla 1.- Principales sismos desde 1998-2012 en la periferia del Municipio de Santa María Huatulco

Como ya se mencionó, el estado de Oaxaca en específico el municipio de MSMH se encuentra bajo la influencia de la interacción de éstos proceso de subducción, por lo que se ha propuesto la Regionalización Sísmica de México.

Con base en la “Regionalización Sísmica” de México realizada por especialistas de la Comisión Federal de Electricidad se observa que el Municipio de Santa María Huatulco se encuentra involucrado en la zona D, esto significa sismicidad intensa.

Zona D se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

La **Zona C**, también se caracteriza por una actividad sísmica esporádica pero la actividad de baja intensidad es más común y la aceleración del suelo no sobrepasa el 70% de la gravedad.

En la **Zona B** se considera que eventualmente se registran temblores importantes con altas aceleraciones del terreno pero que no sobrepasan el 10% de la gravedad (Figura-10).

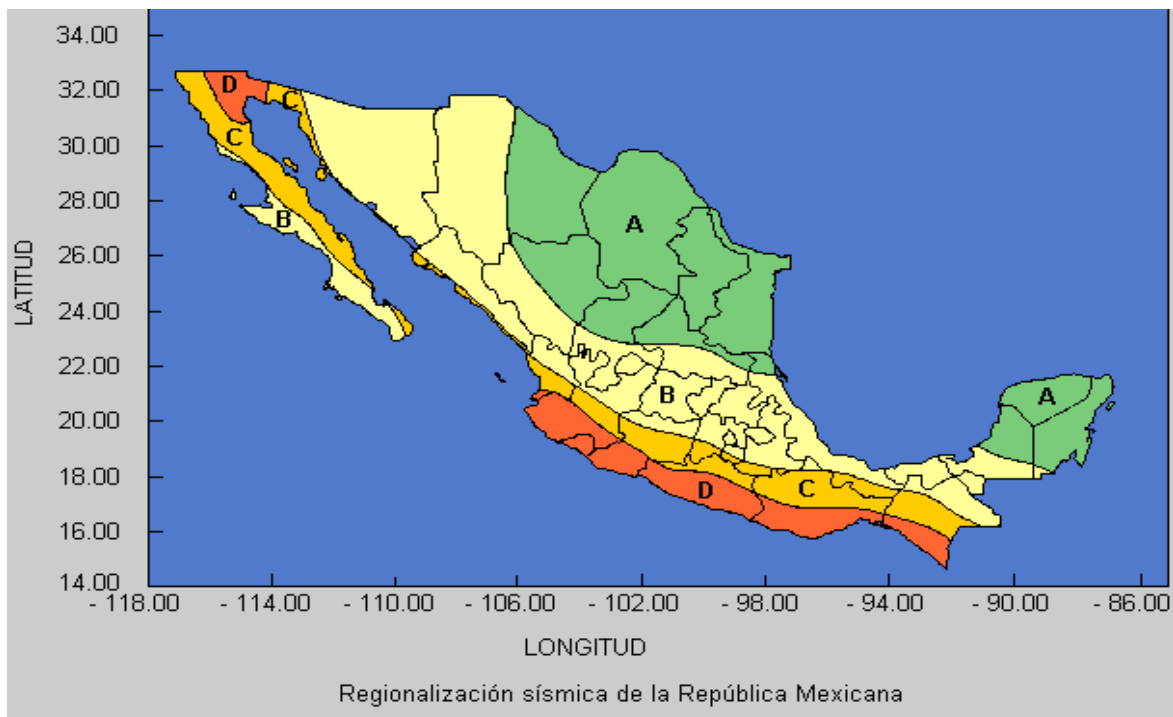


Figura.- 10 Zonificación Sísmica en México (modificado de CFE, 1981)



PERIODOS DE RETORNO

Entre 1990 y 1992, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) colaboró con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el desarrollo del Manual de Obras Civiles de la CFE. Por lo que respecta al capítulo de diseño por sismo, el II-UNAM desarrolló, entre otras cosas, mapas de peligro sísmico de la República Mexicana que quedaron parcialmente plasmados en el Manual de Obras Civiles y que, además, dieron origen al sistema de cómputo PSM, que incluye los resultados completos del estudio realizado por el II-UNAM en esta materia.

En los últimos diez años se han llevado a cabo estudios sismológicos e ingenieriles que permiten obtener mejores descripciones del peligro sísmico en México que las que se tenían a principios de los años noventa. El IIE requería de mapas actualizados de peligro sísmico que se utilizarán para elaborar las recomendaciones para la especificación de criterios sísmicos de aceptación para la adquisición de equipos de subestaciones eléctricas de transmisión. El propósito de este estudio fue elaborar estos mapas, para cuyo desarrollo se incluyeron resultados recientes obtenidos principalmente en los siguientes aspectos:

- 1) Geometría de la placa de Cocos, en su porción subducida bajo la placa continental de Norteamérica. Esta geometría, más precisa, permite definir mejor, especialmente en lo referente a profundidad focal, la localización de los sismos de profundidad intermedia y fallamiento normal que se presentan en esta región.
- 2) Leyes de atenuación para los sismos de profundidad intermedia. En los últimos años se ha presentado una actividad inusualmente grande de sismos de este tipo, con lo cual las redes acelerográficas han registrado un considerable número de acelerogramas producidos por estos eventos. Esto ha abierto la posibilidad de tener mejores leyes de atenuación que las que se tenían anteriormente. Los análisis preliminares indicaban que podrían esperarse cambios importantes en las estimaciones de peligro sísmico, en algunos lugares del país, como consecuencia de los nuevos datos obtenidos
- 3) Leyes de atenuación para sismos corticales. Recientemente se han desarrollado en los Estados Unidos de América nuevas leyes de atenuación para sismos corticales que incluyen datos de numerosos sismos registrados en diversas partes de ese país, especialmente el estado de California. Estas leyes de atenuación parecen adecuadas para algunos de los sismos que se producen en México, por lo que se ha revaluado el peligro sísmico en nuestro país utilizando estas nuevas leyes de atenuación.

Se presenta el mapa de aceleraciones máximas del suelo asociadas a un periodo de retorno de 10, 100, y 500 años. Con este SIG es posible obtener mapas de aceleraciones espectrales asociadas a prácticamente cualquier periodo de retorno de interés, correspondientes.

Periodo de retorno a 10 años en Santa María Huatulco

Mapa de aceleraciones máximas del suelo del Municipio de Santa María Huatulco asociadas a un periodo de retorno de 10 años (Fig. 11).

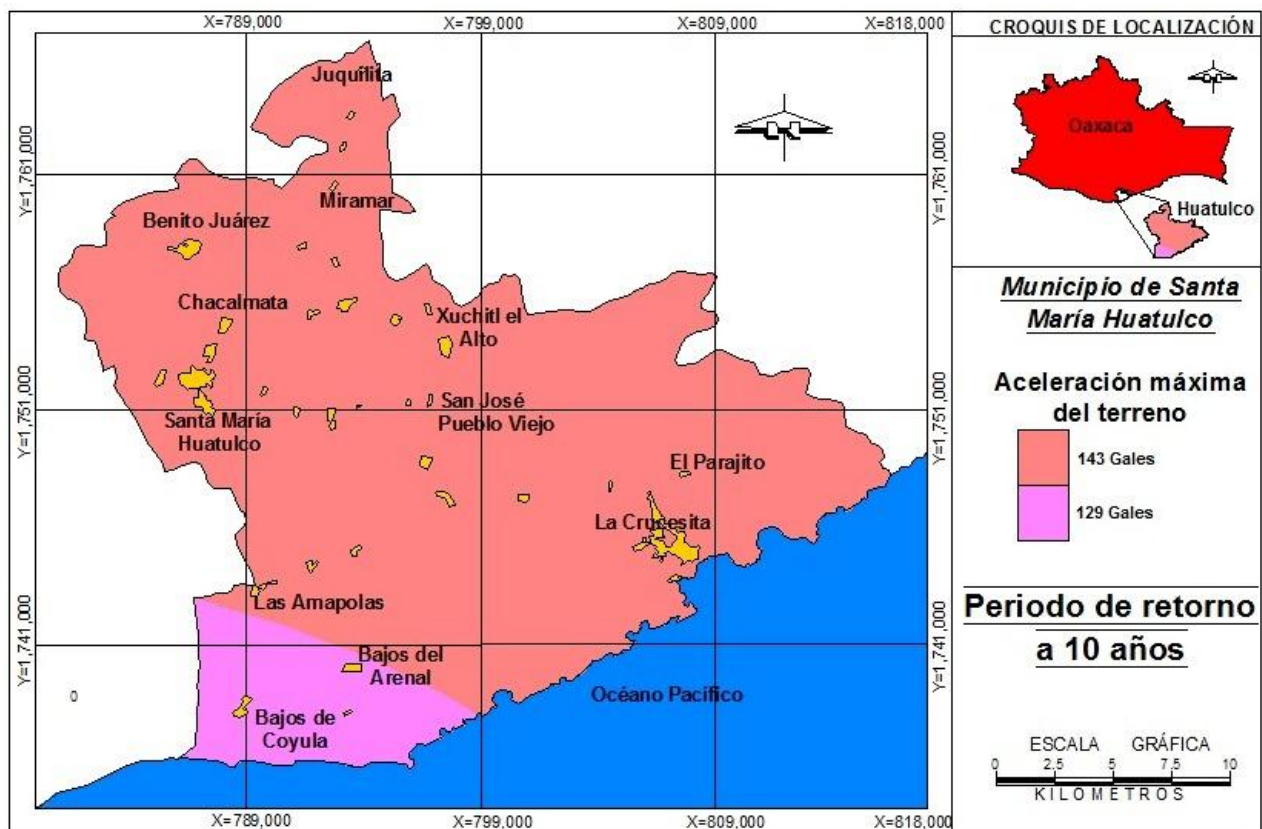


Figura. 11.- Mapa de zonificación de aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 10 años

Se ejemplifica y se observa algunos de los resultados, la curva de tasa de excedencia de la aceleración máxima del suelo (A_{max}) para periodos de retorno de 10 años para el Municipio de Santa María Huatulco Oaxaca (Figura-12).

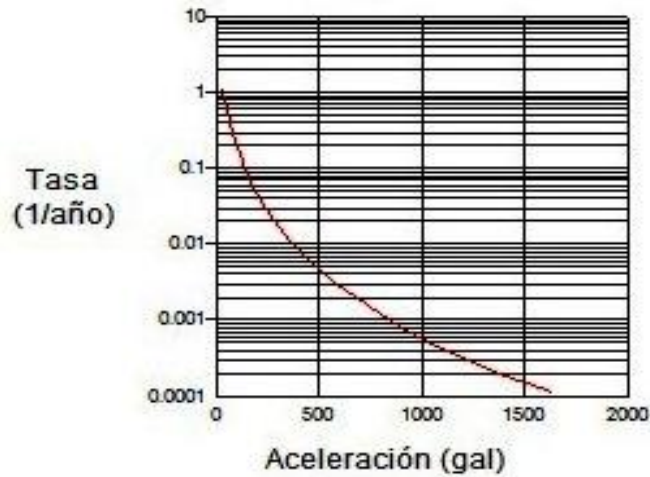


Figura. 12.- Curva de tasa de excedencia de la aceleración máxima del suelo para 10 años en el MSMH

El espectro de peligro uniforme es aquel cuyas ordenadas están todas asociadas al mismo periodo de retorno. Como con las curvas anteriores, es posible determinar con el SIG estos espectros para cualquier periodo de retorno y cualquier punto de la República Mexicana (Figura-13 y Tabla- 2).

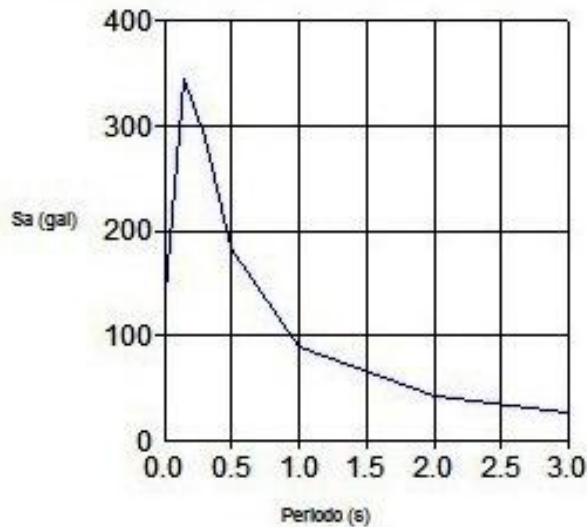


Figura. 13.- Espectro de peligro uniforme asociado a 10 años de periodo de retorno, para el MSMH

X=-96.149; Y=15.790 HUATULCO; Tr=10	
Periodo (s)	Aceleración (gal)
0.00E+00	1.39E+02
1.50E-01	3.45E+02
3.00E-01	2.89E+02
5.00E-01	1.84E+02
1.00E+00	9.00E+01
2.00E+00	4.32E+01
3.00E+00	2.78E+01

Tabla 2.- Espectro de peligro uniforme calculado con PSM

Periodo de retorno a 100 años en el Municipio de Santa María Huatulco

Mapa de aceleraciones máximas del suelo del Municipio de Santa María Huatulco asociadas a un periodo de retorno de 100 años (Fig. 14).

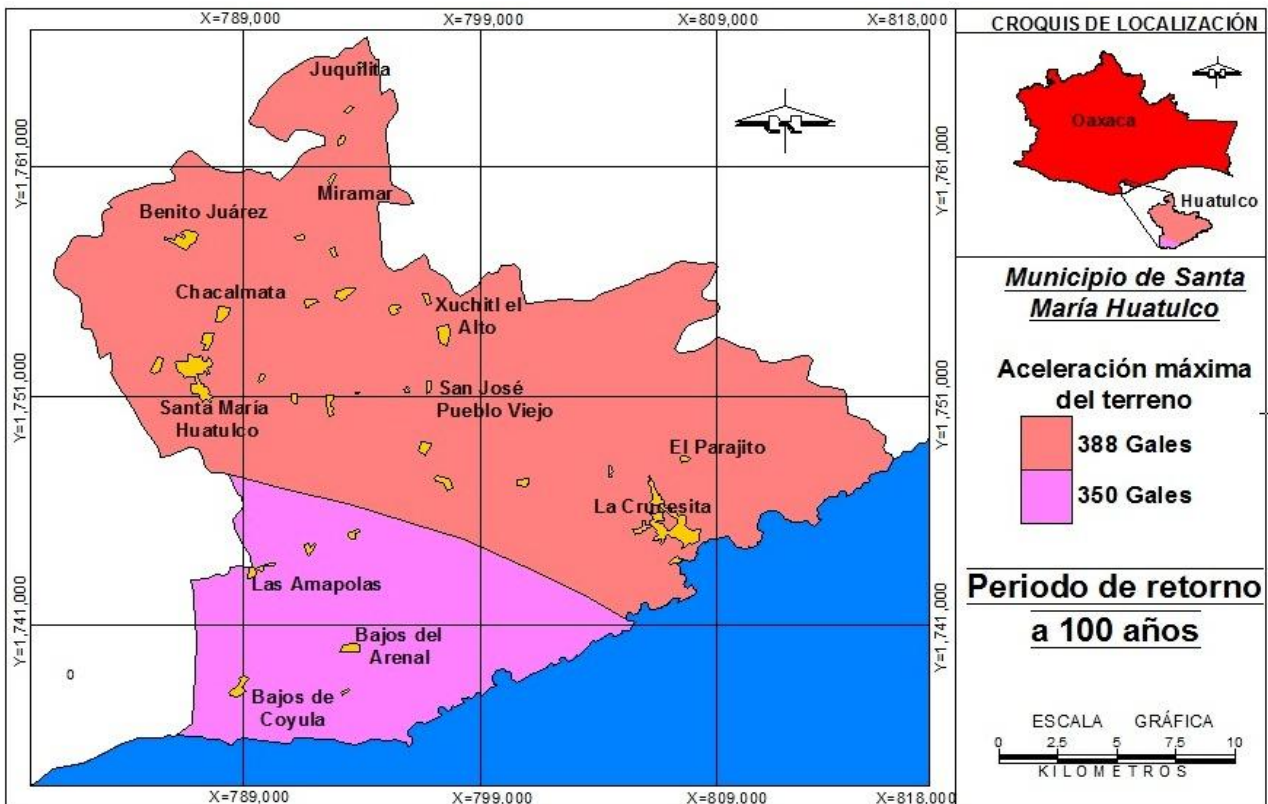


Figura. 14.- Mapa de zonificación de aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 100 años

Curva de tasa de excedencia de la aceleración máxima del suelo (A_{max}) para periodos de retorno de 100 años para el MSMH Oaxaca (Fig. 15 y 16) (Tabla 3).

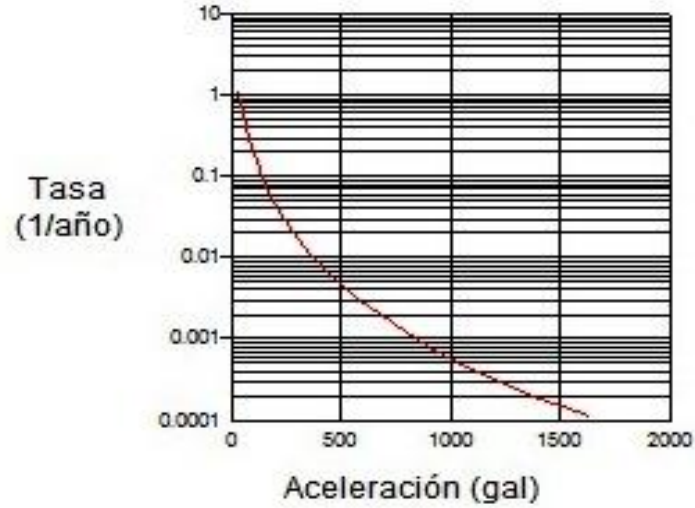


Figura. 15.- Curva de tasa de excedencia de la aceleración máxima del suelo para 100 años en el MSMH

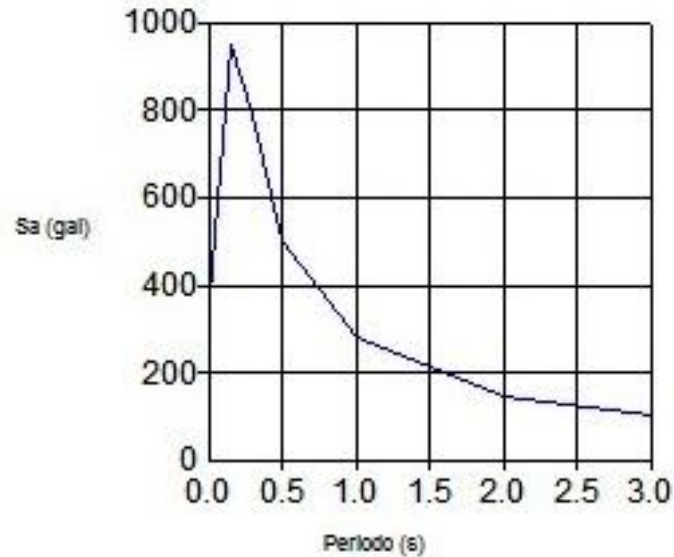


Figura. 16.- Espectro de peligro uniforme asociado a 100 años de periodo de retorno, para el MSMH

X=-96.159; Y=15.752 OAXACA; Tr=100.	
Periodo (s)	Aceleración (gal)
0.00E+00	3.70E+02
1.50E-01	9.40E+02
3.00E-01	7.82E+02
5.00E-01	5.01E+02
1.00E+00	2.77E+02
2.00E+00	1.48E+02
3.00E+00	1.03E+02

Tabla 3.- Espectro de peligro uniforme calculado con PSM

Periodo de retorno a 500 años del Municipio de santa María Huatulco

Mapa de aceleraciones máximas del suelo del Municipio de Santa María Huatulco asociadas a un periodo de retorno de 500 años (Fig. 17).

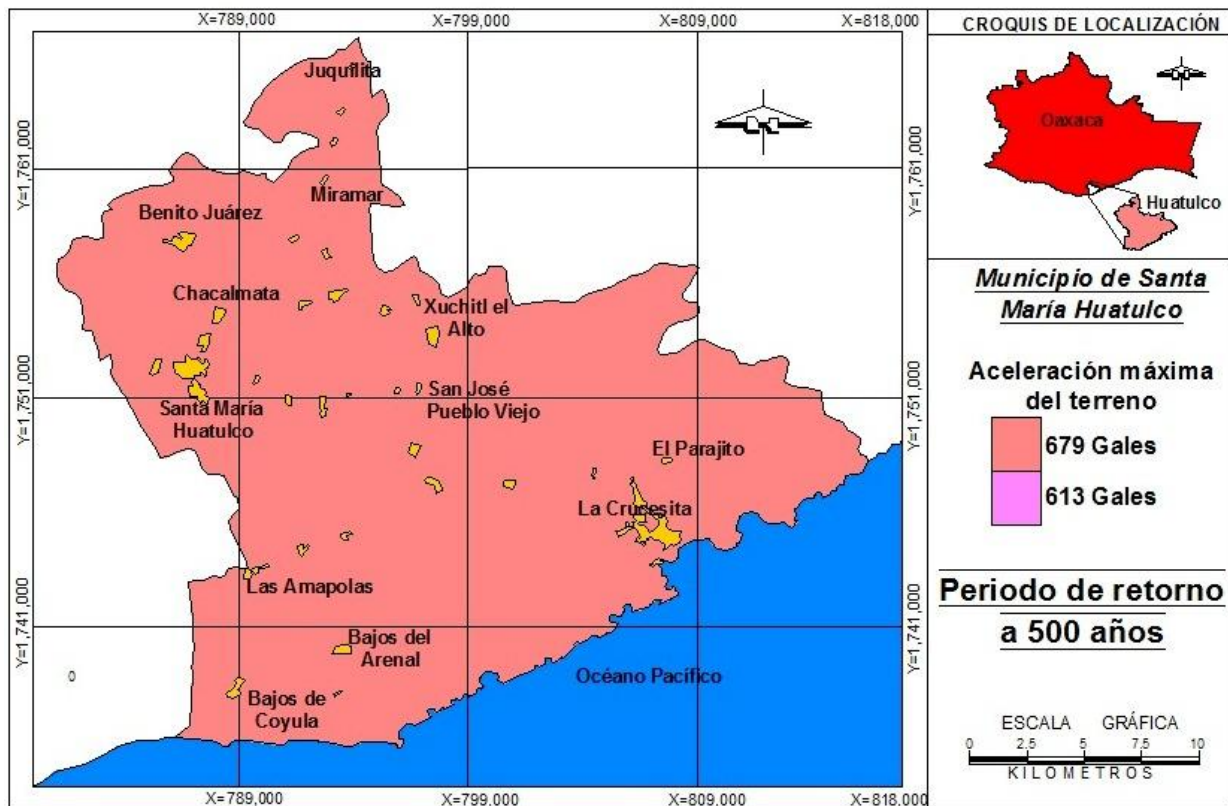


Figura. 17.- Mapa de zonificación de aceleraciones máximas del terreno para un periodo de retorno de 500 años

Curva de tasa de excedencia de la aceleración máxima del suelo (A_{max}) para periodos de retorno de 500 años para el Municipio de Santa María Huatulco Oaxaca (Fig.18 y 19) (Tabla 4).

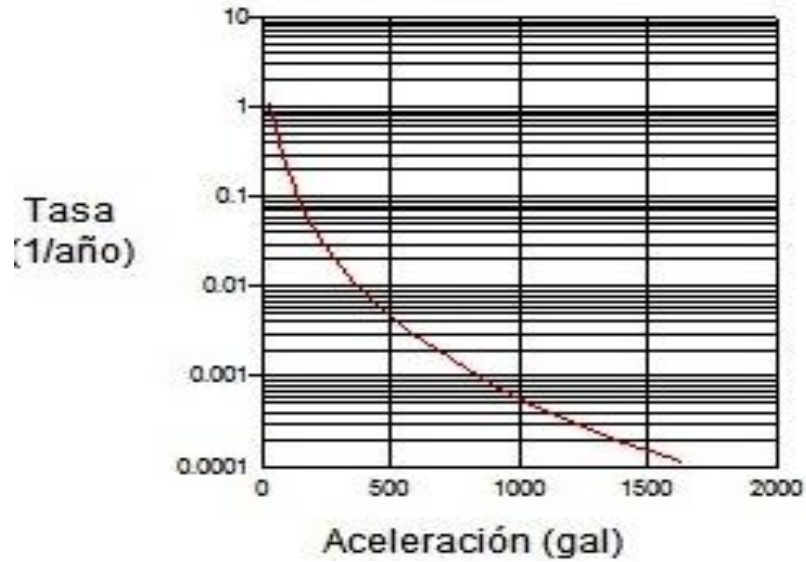


Figura. 18.- Curva de tasa de excedencia de la aceleración máxima del suelo para 500 años en el MSM

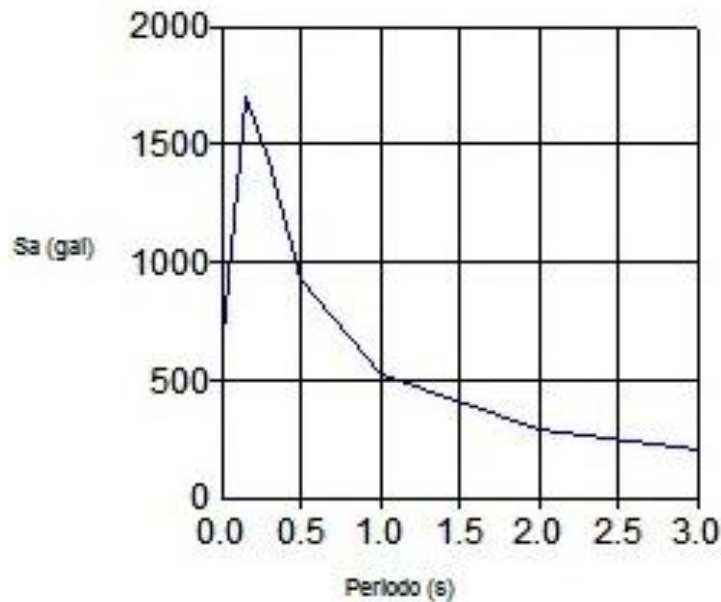


Figura. 19.- Espectro de peligro uniforme asociado a 100 años de periodo de retorno, para el MSMH

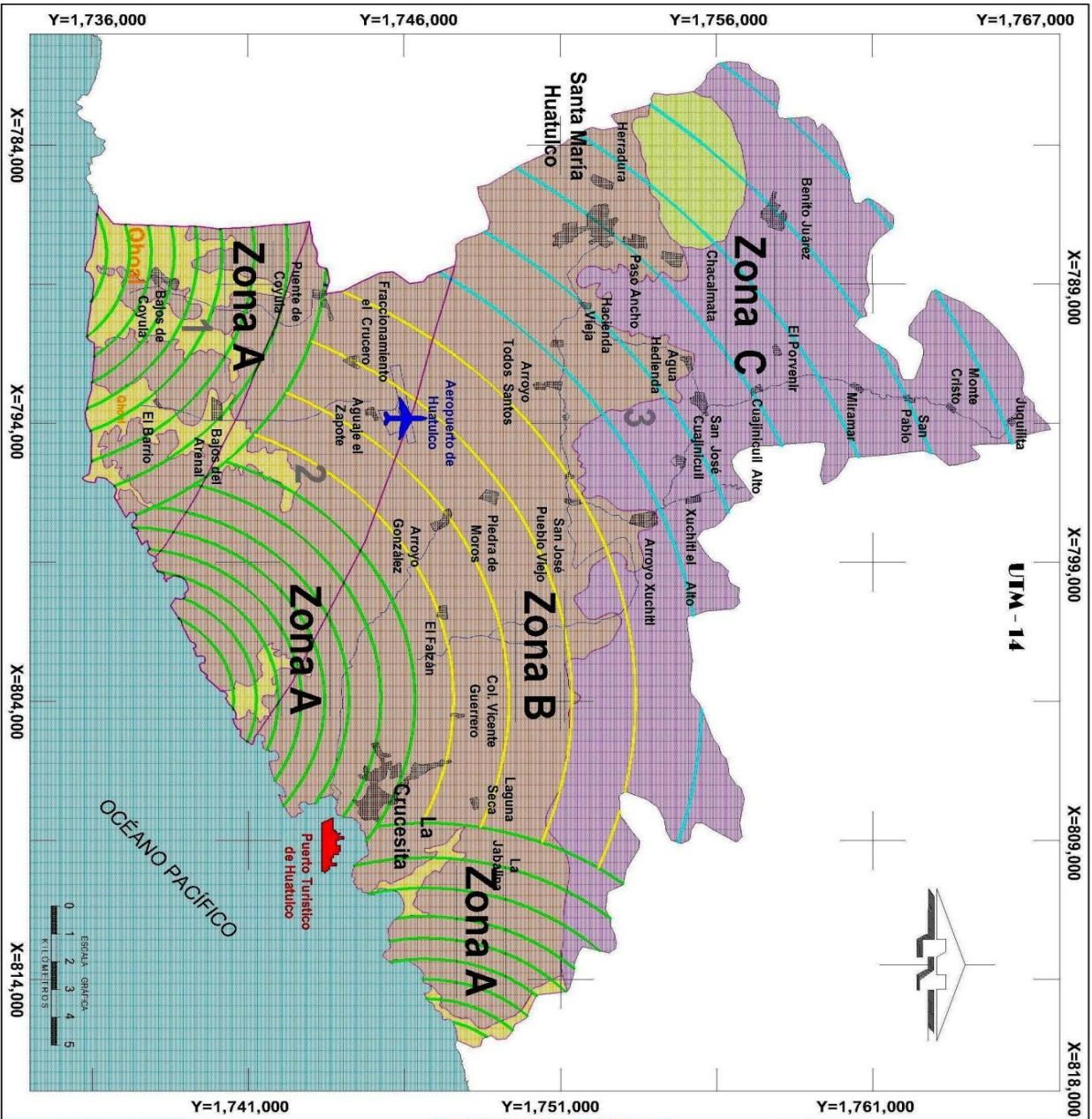


$X=-96.128$; $Y=15.777$ OAXACA; $Tr=500$.	
Periodo (s)	Aceleración (gal)
0.00E+00	6.75E+02
1.50E-01	1.70E+03
3.00E-01	1.44E+03
5.00E-01	9.36E+02
1.00E+00	5.21E+02
2.00E+00	2.90E+02
3.00E+00	2.07E+02

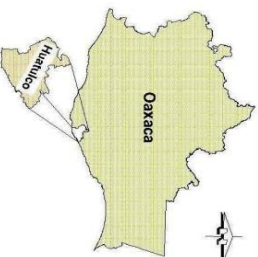
Tabla 4.- Espectro de peligro uniforme calculado con PSM

Es importante resaltar que aunque el Municipio de Santa María Huatulco se encuentra en una de las zona con el mayor peligro sísmico de la regionalización hecha por la CFE, las aceleraciones pueden ser variables por la características de suelo, por ejemplo en los suelos blandos (arcillas, arenas y brechas con fragmentos de roca pequeños) que conformen el estráto de alguna región en particular, las ondas sísmicas s que se propagan en medios sólidos, se amortiguan en el material blando, ocasionando con más frecuencia daños a casas y edificios, mientras que en suelos duros como basamentos, cuerpos intrusivos (*el caso de MSMH*), coladas de roca ígnea, o secuencias de roca litificada, las aceleraciones aumentan considerablemente, ocasionando que los movimientos de la tierra pasen desapercibidos (Figura 20).

En particular en toda la línea de costa y en las partes altas del MSMH, existe un complejo metamórfico y cuerpos intrusivos como es el caso del Intrusivo Huatulco y el Basamento Oaxaca que ayudan a que las aceleraciones aumenten considerablemente y en ocasiones no se manifiesten movimientos propios de un sismo.



PROYECTOS DE LOCALIZACIÓN



SÍMBOLOGÍA

Acceleraciones según la geología

- Oholal** Zona A (Depositos Lacustre, se amortiguan las ondas provocando daños mayores en casas y edificios)
- Tm** Zona B (intrusivo Huatulco) aumentan las aceleraciones respecto a la zona A.
- Ptm** Zona C (Complejo Oaxaca) aumentan las aceleraciones respecto a las zonas A y B.

- 1** Periodo de retorno a 10 años
- 2** Periodo de retorno a 100 años
- 3** Periodo de retorno a 500 años



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

INFORME PROFESIONAL
ATLAS DE PELIGRO GEOLÓGICO DEL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA HUATULCO OAXACA.

F I G U R A - 20

VÍAS DE COMUNICACIÓN Y ESPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

VULCANISMO

En la actualidad, la porción occidental del arco se encuentra subyacente por la placa de Rivera, mientras que la porción central y oriental se encuentran subyacentes por la placa de Cocos.

Los estudios sobre la profundidad de los mecanismos focales muestran que la placa de Rivera se introduce hacia el manto con un ángulo cercano a los 50° y la señal sísmica puede alcanzar ~ 120 km de profundidad (Pardo y Suárez, 1993, 1995). El ángulo de subsidencia de la placa de Cocos es mucho más variable y es notable que los hipocentros sísmicos se limiten a profundidades menores a 70 km (Figura 21). De esta forma, los datos sísmicos indican que la placa de Cocos disminuye paulatinamente su inclinación desde su límite con la placa de Rivera hasta aproximadamente la longitud 101°W para volverse posteriormente subhorizontal debajo de una parte de la porción central y la porción oriental de la FVTM.

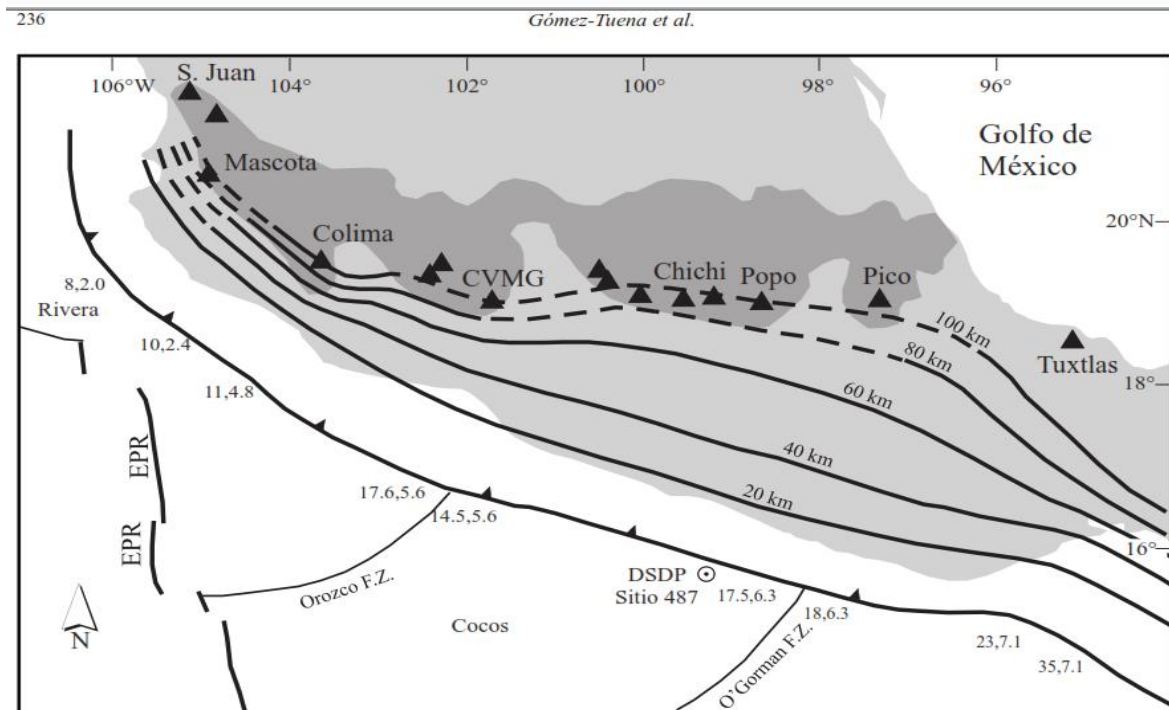


Figura 21. Mapa tectónico generalizado del sistema de subducción mexicano (modificado de Pardo y Suárez, 1995). Los números separados por comas indican la edad de la corteza oceánica (en Ma) y la velocidad de convergencia (en cm/a), respectivamente. Las curvas de nivel representan la profundidad de la placa oceánica (la curva segmentada es una inferencia). Una sección representativa de la corteza oceánica fue muestreada por el Deep Sea Drilling Project en el sitio 487 (DSDP sitio 487). Se incluyen también como referencia algunos campos volcánicos importantes: Campo volcánico de Los Tuxtlas (Tuxtlas), volcán Pico de Orizaba (Pico), volcán Popocatepetl (Popo), campo volcánico de Chichinautzin (Chichi), campo volcánico de Michoacán-Guanajuato (CVMG), volcán de Colima (Colima), campo volcánico de Mascota (Mascota), y volcán San Juan (S. Juan).

Al sureste de Palma Sola, la placa de Cocos aumenta rápidamente su inclinación para alcanzar otra vez un ángulo de 45–50° entre el Istmo de Tehuantepec y el Arco Centroamericano (Pardo y Suárez, 1995). Esta peculiar configuración tectónica parece ser la responsable de la oblicuidad del arco magmático, así como de la lejanía de su parte oriental con respecto a la trinchera mesoamericana.

Para el caso del MSMH la actividad sísmica es poco probable ya que se encuentra lejos de la Franja Volcánica Transmexicana encargada del principal vulcanismo activo en México.

El mapa muestra la actividad volcánica activa en México. La zona del municipio de Huatulco se encuentra lejos de sucesos volcánicos que puedan afectar al área de estudio (Figura- 22).

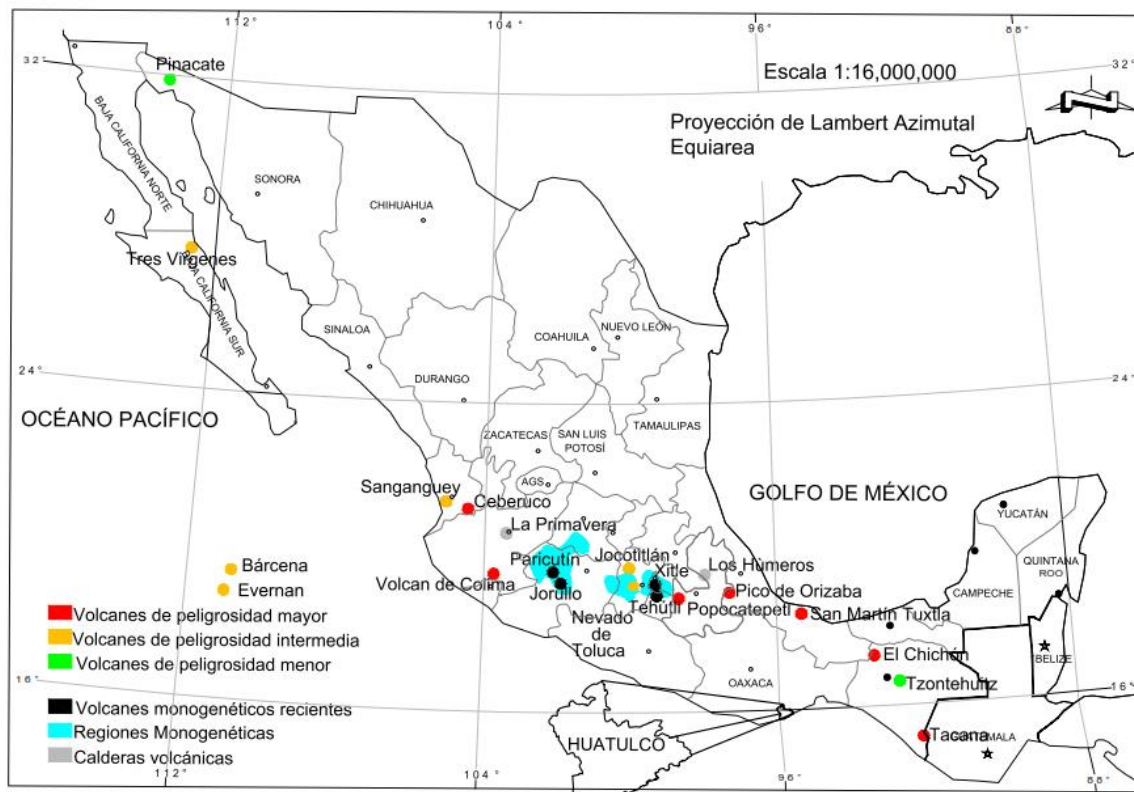


Figura 22.- Actividad volcánica activa en México

TSUNAMIS O MAREMOTOS

Otro riesgo importante relacionado con los terremotos y las erupciones volcánicas son los tsunamis o maremotos, con olas gigantes que alcanzan alturas máximas de hasta 35 metros junto a la costa, produciendo enormes pérdidas tanto materiales como humanas.

Los tsunamis, aunque menos frecuentes que los sismos o las erupciones volcánicas terrestres, son originados por un movimiento vertical del fondo marino ocasionado por un sismo de gran magnitud, las causas menos frecuentes que los producen son las erupciones de volcanes submarinos, impacto de meteoritos o deslizamientos de tierra bajo el mar.

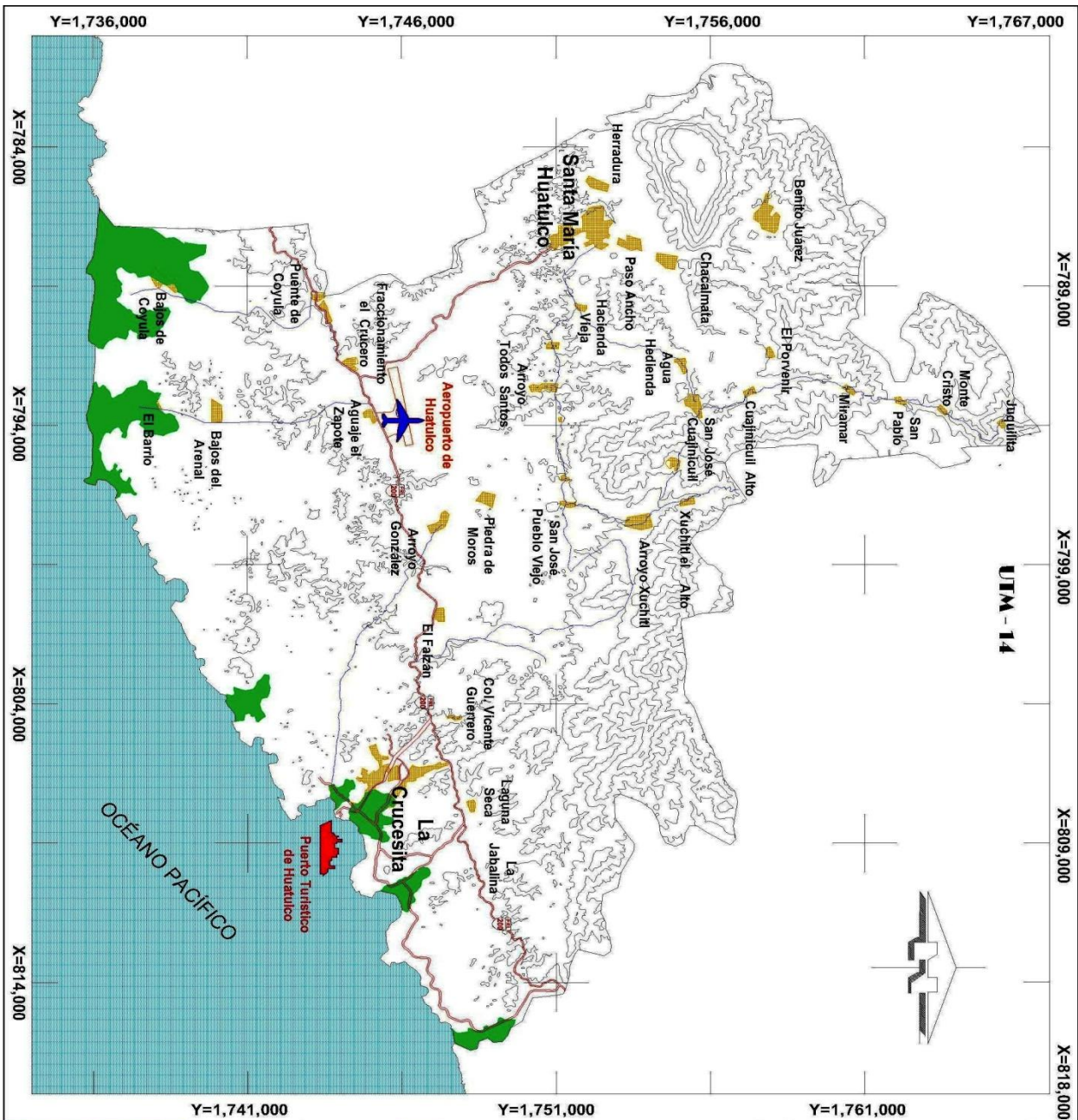
Otros mecanismos que pueden producir los tsunamis son los sismos volcánicos, explosiones, colapsos o hundimientos, deslizamientos, lahares o flujos piroclásticos que entran en contacto con aguas y ondas de choque atmosféricas que se acoplan al mar. Constituyen grandes amenazas principalmente para las poblaciones e instalaciones costeras.



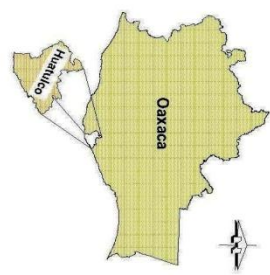
Figura 23.- Zonas de origen y arribo de tsunamis locales (en rojo) y lejanos (en azul) Modificada de CENAPRED, 2001

Los tsunamis se clasifican en: locales, cuando el sitio de arribo se encuentra dentro o muy cercano a la zona de generación; regionales, cuando el litoral invadido está a no más de 1 000 km del lugar de generación; lejanos, cuando se originan a más de 1 000 km. En el caso de México, los más peligrosos son los que se originan como consecuencia de sismos de gran magnitud cuyo epicentro se encuentra a pocos kilómetros de la costa, en el Océano Pacífico (Figura-24)

La estadística de maremotos ocurridos es poco precisa, ya que excepto en algunos lugares, por ejemplo Acapulco, antes del siglo XIX esta región tenía escasa población, por otra parte



OPUSCULOS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGIA

- Topográficos**
- Carretera
 - Brecha
 - Río o Arroyo
 - Curvas de Nivel
 - Comunidades
 - Aeropuerto
 - Puerto Marítimo

ZONA DE ARRIBO DE TSUNAMIS

Zonas de posible arribo de una ola con magnitudes extraordinarias, producto de Tsunami en las costas del MSMH.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA
INFORME PROFESIONAL
 ATLAS DE PELIGRO GEOLÓGICO DEL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA HUATULCO OAXACA.
 FIGURA -24
 POSIBLE ARRIBO DE UNA OLA EN CASO DE TSUNAMIS



la operación de la red de mareógrafos con que se registran tales fenómenos comenzó a funcionar hasta 1952.

Las zonas de origen y arribo de tsunamis se ilustran en la (figura 23), en azul ahí se muestran las zonas receptoras de tsunamis lejanos y en rojo las zonas receptoras de tsunamis lejanos y generadoras de tsunamis locales.

Para el caso del municipio de Huatulco existen zonas turísticas asentadas en la línea de costa con vulnerabilidad y posibilidad de algún fenómeno de ésta índole, por ejemplo en La playa de Chahue, playa de Tangolunda, La Bocana, las playas de Boca Vieja y San Agustín que tienen una entrada de costa al continente más larga y que posiblemente el arribo de olas de dimensiones considerables (12 metros) puedan afectar estas playas por inundaciones en la costa.

La tabla siguiente enlista los tsunamis de origen local a partir de 1732, además de que se tiene información de tsunamis lejanos que han llegado a la costa de México. Para las costas de Baja California, Sonora y Sinaloa se considera en términos generales que la altura de ola máxima esperada es de 3 m, mientras que en el resto de la costa occidental dicha altura llega a 10 m.

Fecha (GMT)	Epicentro del sismo (°N, °W)	Zona del sismo	Magnitud del sismo	Lugar registro de del tsunami	Altura max. de olas (m)
25-feb-1732	No definido	Guerrero	--	Acapulco	4.0
1-sep-1754	No definido	Guerrero	--	Acapulco	5.0
28-mar-1787	No definido	Guerrero	>8.0 (?)	Acapulco	3.0-8.0
4-may-1820	17.2°, 99.6°	Guerrero	7.6	Acapulco	4.0
11-mar-1834	No definido	Guerrero	--	Acapulco	(*)
7-abr-1845	16.6°, 99.2°	Guerrero	--	Acapulco	--
4-dic-1852	No definido	Guerrero	--	Acapulco	--
15-abr-1907	16.7°, 99.2°	Guerrero	7.6	Acapulco	2.0
30-jul-1909	16.8°, 99.8°	Guerrero	7.2	Acapulco	--
16-nov-1925	18.5°, 107.0°	Guerrero	7.0	Zihuatanejo	7.0-11.0
14-dic-1950	17.0°, 98.1°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.3
28-jul-1957	16.5°, 99.1°	Guerrero	7.8	Acapulco Salina Cruz	2.6 0.3
11-may-1962	17.2°, 99.6°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.8
19-may-1962	17.1°, 99.6°	Guerrero	7.1	Acapulco	0.3
23-ago-1965	16.3°, 95.8°	Oaxaca	7.6	Acapulco	0.4
30-ene-1973	18.4°, 103.2°	Colima	7.5	Acapulco, Manzanillo Salina Cruz, La	0.4 1.1 0.2



				Paz, Mazatlán	0.2 0.1
14-mar-1979	17.3°, 101.3°	Guerrero	7.4	Acapulco Manzanillo	1.3 0.4
25-oct-1981	17.8°, 102.3°	Guerrero	7.3	Acapulco	0.1
19-sep-1985	III. 18.1°, 102.7°	Michoacán	8.1	L. Cárdenas, Ixtapa- Zihuatanejo, Playa Azul, Acapulco, Manzanillo	2.5 3.0 2.5 1.1 1.0
20-sep-1985	17.6°, 101.8°	Michoacán	7.6	Acapulco, Zihuatanejo	1.2 2.5

Tabla 5.- Tsunamis de origen local observados o registrados en México

Para el caso del MSMH, solo se tiene un registro de Tsunami en el año 1928. Existen referencias de otros estudios como el que realiza el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), con sede en Morelia, en el cual refiere “La historia muestra, que en 1787 hubo un terremoto en el litoral de Oaxaca, con magnitud estimada (porque no había instrumentación) de 8.4 grados, que provocó una ola que invadió las costas de esa entidad y de Guerrero; en la zona más cercana al epicentro, se inundaron hasta seis kilómetros tierra adentro, de acuerdo a fuentes documentales” (María Teresa Ramírez, Investigadora del Centro).

Adicionalmente se encontró un registro hemerográfico sobre el efecto del sismo de Chile (27-feb-2010) que provocó que una ola de al menos dos metros de altura llegara a las costas de Huatulco, ello ocasionó la volcadura de cinco lanchas, además de la evacuación de turistas de la zona de playas y la cancelación de la navegación marítima” Sin embargo, no hay registros puntuales de los daños en los archivos municipales y del propio Instituto Estatal de Protección Civil.

IV. PELIGROS GEOLÓGICOS

Son los fenómenos en los que interviene la dinámica y los materiales del interior de la tierra o de la superficie de ésta. Entre estos fenómenos se pueden mencionar: la sismicidad, el volcanismo, los tsunamis y los movimientos de masas (rocas y suelos).

Los desastres naturales más espectaculares y destructores son los terremotos y la erupción de volcanes; estos fenómenos se generan en los bordes de las placas tectónicas y son, por lo tanto, característicos de ciertas áreas, en particular el lado Pacífico de México. Estos



fenómenos han estado presentes a lo largo de toda la historia geológica del planeta y por tanto, seguirán presentándose obedeciendo a patrones de ocurrencia similares.

También se mencionan y no menos importantes otros peligros geológicos como los Deslizamientos, Hundimientos, Erosión, Derrumbes, Flujos, etc. que afectan de manera directa e indirecta a la población de MSMH. Estos fenómenos se ubican en distintas localidades del municipio, por lo que se analizó de manera individual cada uno de ellos y verificó su afectación a la sociedad.

En resumen, el Municipio presenta susceptibilidades a fenómenos geológicos tales como *Fallas y fracturas, Sismos, Tsunamis o maremotos, Deslizamientos, Derrumbes, Flujos, Hundimientos y Erosión.*

PELIGRO POR FALLAS

Fallas Laterales

Regionalmente la estructura de mayor importancia es la Falla Chacalapa que representa uno de los contactos más interesantes de los terrenos cristalinos del sur de México, es el contacto entre los terrenos Oaxaca y Xolapa. Uno de los cinturones milonitizados permite interpretar una edad tentativa del Cretácico tardío para la fase principal de actividad de la falla (Ortega G.F. et al., 1986).

La traza de la falla chacalapa pasa en las localidades de Chacalmata, Paso Limón, La Herradura, muy cerca de Santa María Huatulco, Paso Ancho y más hacia el Noreste afecta a la comunidad de San José Cuajinicuil. Es importante resaltar que estas comunidades están muy cerca de la zona de milonitización y material fracturado producto del movimiento de los bloques que la conforman y que a lo ancho y largo de éste fallamiento las comunidades pueden estar expuestas a derrumbes y deslizamientos.

Por otra parte existen también una serie de fallas con desplazamiento oblicuo lateral-normal evidentes tanto en los recorridos de campo, que indican clara actividad de derrumbes debido a la inestabilidad del material milonítico o frágil derivado de estos fallamientos. Algunas de estas fallas son activas como lo sugiere el desplazamiento de estructuras civiles (Delgado-Argote y Carballido-Sánchez, 1990).

Existen otros fallamientos laterales más pequeños con dirección al N30°E en la zona de las comunidades entre el Zapote y Apanguito, otro fallamiento registrado de las mismas características se ubica entre la comunidad de Chacalmata y Benito Juárez con dirección N40°W, cabe mencionar que estos fallamientos son laterales derechos.

Fallas conjugadas entre Santamaría Huatulco y Benito Juárez

Existen fallas conjugadas con distancias aproximadas entre los pares de 20 m y orientaciones NNW-SSE y NE-SW. La densidad de las fallas aumenta paulatinamente, así como su espesor, conforme desarrollan una zona de salbanda y brechas con una distintiva coloración azul-gris. Los planos de falla no exhiben lineaciones que indiquen el movimiento relativo entre los bloques, pero las relaciones de corte entre fallas sugieren que son pares izquierdos-derechos. La separación entre fallas continúa disminuyendo hasta que llega a ser de centímetros. A partir de ese punto, la roca adquiere una apariencia sumamente fracturada y su color se torna más oscuro a raíz de la intensa molienda en ciertos sectores.

En una distancia del orden de metros, se hace evidente la presencia de una lineación de extensión y las fallas se vuelven escasas. (Figura 25)

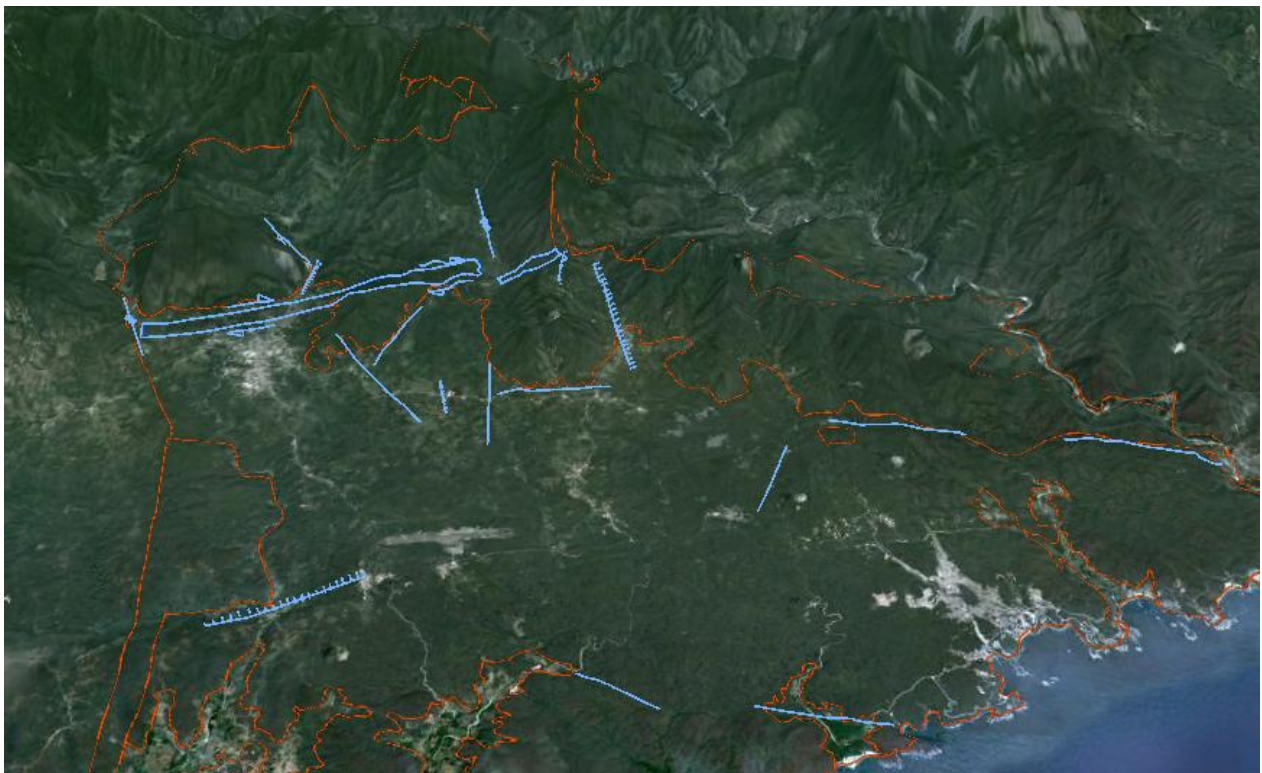


Figura. 25.- Fallas en el Municipio de Santa María Huatulco

Fallas Normales

En este fallamiento ubicado en la zona del camino rumbo a Benito Juárez en la ladera del Río Huatulco con rumbo N15°W / 54°SW inclinación de 54°. El cizallamiento existente producto del movimiento normal ha provocado un fuerte brechamiento que recibe los



escurrimientos de la región sirviendo como un acuífero que proporciona agua potable del manantial ubicado en el mismo punto.

Otro fallamiento con estas características podemos observarlo al Norte de Cerro Chino es con rumbo de NS / EW 15° y cae hacia 15°SW, existe otro fallamiento con características similares lo tenemos un poco más hacia abajo en la localidad de Xuchilt el Alto hasta Arroyo Xuchilt con dirección N40°W / SE 50° inclinación 20°.

Lineamientos

Existen lineamientos que indican emplazamientos de cuerpos intrusivos y que por su naturaleza infieren planos geológicos. Los efectos que son derivados de estos fenómenos de gran dimensión están representados por fallamientos laterales, normales, zonas de cizalla, entre otros y se ven representados en las imágenes de localidades del Municipio de Santa María Huatulco que se muestran después de la (Tabla-6).

Comunidad	Observaciones	Coordenadas UTM		Peligro	Grado de peligro
		Zona 14			
		X	Y		
RUMBO A CERRO CHINO	Zona de cizalla de fallamiento Normal, con dirección N10°E / SE80°con inclinación de 40° perpendicular a la traza de la Falla Chacalapa	795,345	1,756,676	Zona de Falla	Medio
XOCHITL EL ALTO	Sobre el arroyo que pasa por la localidad de Xóchitl el Alto existe la traza de lineamientos con orientación N30°W y cae hacia el SE65° 20°. Esto nos indica que la zona es inestable.	796,617	1,755,346	Zona de Falla	Medio
ARROYO XUCHILT	En esta localidad existen laderas frágiles que pueden derrumbarse, la presencia de fallas y lineamientos cercanos, con rumbo de N20°W - NE 20°pueden ser indicadores de movimiento de masas	797,461	1,753,823	Zona de Falla	Medio
FALLA TODOS LOS SANTOS	Indicadores de fallas N20°W / NE70° con inclinación de 60°	792,229	1,751,058	Fallas	Medio

FALLA EL CRUCERO	Falla que se observa, con indicadores estructurales N60°E / NW15° Inclinación 20°	791,153	1,744,307	Fallas	Medio
FALLA EL JARDIN	Falla lateral en esta zona con rumbo N30°W, evidenciada en las fotos	782,650	1,752,686	Falla	Alto
RUMBO A BENITO JUÁREZ	Fallamiento lateral que produce inestabilidad N55°W	787,712	1,75,5823	Falla lateral	Alto
CHACALMATA	Zona milonítica de la principal falla lateral, (Falla Chacalepa)	787,455	1,754,051	Falla	Alto

Tabla 6.- Identificación de Fallas en el municipio

Las imágenes nos muestran algunos fallamientos existentes y evidentes en el MSMH.



Fotografía 1.- Falla rumbo al Cerro Chino



Fotografía 2.- Plano de Falla



Fotografía 3.- Plano de falla en la comunidad el Jardín



Fotografía 4.- Zona de Cizalla - falla Chacalepa



PELIGRO POR DERRUMBES

Los problemas que presenta la inestabilidad de las laderas de las montañas, son uno de los peligros naturales destructivos, por esta razón se analizó de una forma local y regional el Municipio de MSMH.

Derrumbes y movimientos complejos ocurren principalmente en la temporada de lluvias, ocasionando daños materiales en la infraestructura de Huatulco como son escuelas, casas, carreteras, caminos, infraestructura eléctrica y en ocasiones víctimas humanas entre otros, para mitigar un poco estos daños se realizó un estudio geológico regional del municipio.

Los caídos o derrumbes, son movimientos repentinos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes abruptas u acantiladas, por lo que el movimiento es de caída libre, rodando y rebotando, suelen presentarse mayormente en las carreteras.

Este tipo de eventos pueden originarse por movimientos de bloques, terremotos, lluvias intensas y otros eventos geológicos que se presenten, pero el principal riesgo son los asentamientos humanos sobre zonas frágiles como pueden ser terrenos muy fracturados de localidades o en las laderas de las montañas que presentan diferentes grados de inclinación y se vive al pie de ellas.

Los mecanismos básicos de inestabilidad del terreno son: los caídos o derrumbes, las expansiones o desplazamientos laterales de los terrenos.

Para el caso del municipio de Huatulco existen diferentes zonas donde podemos encontrar derrumbes de gran consideración, estos son ocasionados principalmente por fallamientos laterales, normales, entre otros regidos principalmente por la Falla Chacalapa, que es de magnitudes regionales con zonas miloníticas inestable lo cual hace que las laderas que estén dentro de esa traza muestren derrumbes.

Zonas de Derrumbes

Se menciona que las comunidades que están más cerca de los fallamientos existentes de esta región, tendrán una vulnerabilidad mayor a tener derrumbes de gran consideración, por lo que presentaremos en la siguiente tabla datos puntuales de sitios que han tenido y puedan tener estos fenómenos geológicos.

Para el caso de las comunidades de Agua Hedionda, San José Cuajinicuil, Cuajinicuil el Alto, la comunidad de Cerro Chino, Benito Juárez, El Jardín, Puente de Coyula, La Herradura, Paso Limón, Colonia H3 y la comunidad de Parajito, son las que tienen mayor grado de sufrir

derrumbes, debido al tipo de terrenos alterados y miloníticos en que se encuentran asentadas estas poblaciones, esto quiere decir que los materiales son estructuras quebradizas y frágiles que conforman el suelo (Figura-26).

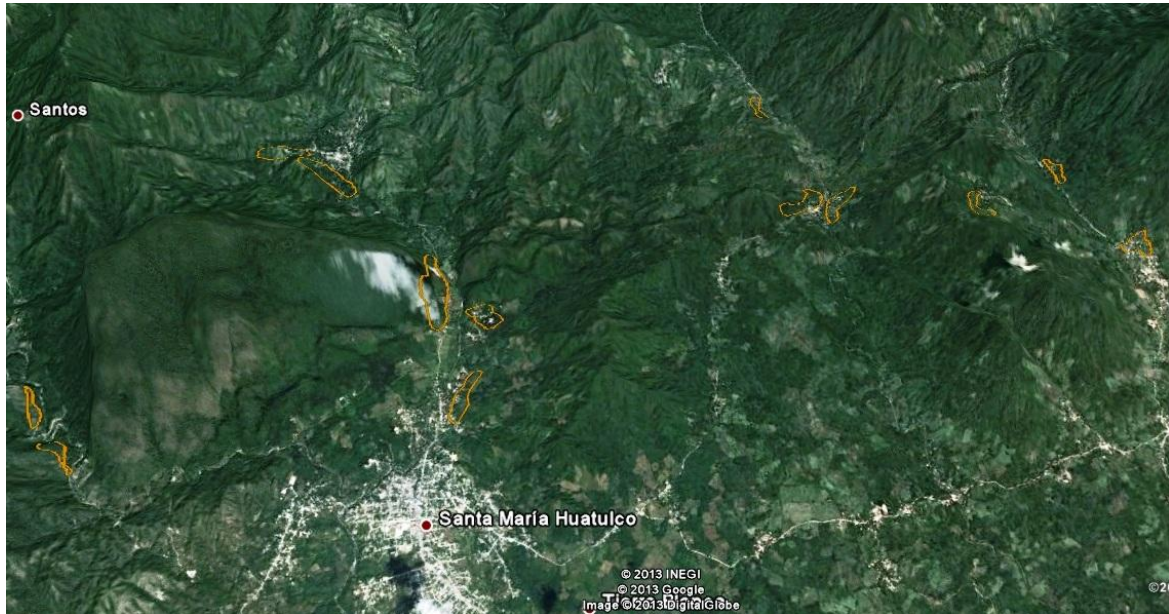


Figura 26.- Derrumbes en el Municipio de Santa María Huatulco

Existe también en este lugar movimientos de bloques generados por la dinámica natural de la Falla Chacalapa con movimientos laterales o por las fallas conjugadas en las zonas del Jardín y Arroyo Xuchilt, entre otros con fallamientos normales o quizá por sismos generados relativamente cerca de la zona de Santa María Huatulco, que han dejado a su paso laderas inestables con posibilidad de derrumbes. Las lluvias son de gran importancia, principalmente las torrenciales que llevan gran volumen en sus corrientes y que se deslizan por laderas pronunciadas debilitando los macizos rocosos que la conforman, este es el caso del Cerro de Huatulco con pendientes que superan los 45° ó las laderas del cerro del Porvenir que superan pendientes de 47° y las del Cerro Chino que superan pendientes de hasta 60° .

Los movimientos repentinos que se generan en estos lugares por maquinaria pesada, por explosiones de gran magnitud o por movimientos de laderas generadas por el hombre en la orilla de la carretera, como la que nos lleva a la comunidad de Benito Juárez o la carretera que lleva a la comunidad del Apanguito son latentes para un derrumbe.

Existen caídos y derrumbes a bordo de carreteras que al ser levantados con maquinaria pesada y transportados han dejado frágil el talud con posibilidad de un nuevo derrumbe, es



importante mencionar que los taludes donde se observan estos desastres naturales, deben estar en equilibrio para evitar nuevos caídos. Los terrenos brechados producto del movimiento de las fallas existentes en estas comunidades, generan por su naturaleza y fragilidad los derrumbes (Tabla-7).

Ubicación	Observaciones	Coordenadas		Peligro	Grado de peligro
		UTM Zona 14			
		X	Y		
AGUA HEDIONDA	Nacimiento de agua azufrada con olor característico a huevo podrido, es posible que este manantial se aloje dentro la zona milonítica de la falla Chacalapa. La temperatura del agua es de aproximadamente unos 24°. El asiento del mineral en el arroyo es totalmente blanco.	791,814	1,754,882	Derrumbes	Medio
SAN JOSÉ CUAJINICUIL	Las laderas pueden ser aparentemente estables pero al observar con detalle se concluye inestabilidad. Tienen inclinaciones que superan los 25°, ya que son comunidades establecidas en mayores altitudes.	793,260	1,755,576	Derrumbes	Alto
CUAJINICUIL ALTO	Las laderas de esta localidades presentan pendientes de aproximadamente 40° a 60° tienen una vulnerabilidad de que existan derrumbes, por la alteración del terreno producida por los habitantes y el fallamiento existente	792,787	1,757,208	Derrumbes	Alto
PANORAMA REGIONAL DE SANTA MARIA HUATULCO	Observamos la topografía abrupta de la zona, cabe mencionar que en este punto el peligro de deslizamientos o derrumbes es poco probable.	790,604	1,758,747	Derrumbes	Medio
RIO CUAJINICUIL	En el río observamos evidencia de lineamientos producidos muy probable por el fallamiento.	793,383	1,755,766	Derrumbes	Medio



Informe del Ejercicio Profesional
Atlas de Peligro Geológico del Municipio de Santa María Huatulco



ESCUELA CERRO CHINO	Por estar cerca de estas zonas y en laderas altas, siempre existe la posibilidad de un derrumbe, es el caso de esta comunidad.	795,375	1,754,686	Derrumbes	Alto
MANANTIAL DE AGUA POTABLE (TRAZA DE LA FALLA CHACALAPA)	En este punto se llega a un manantial de agua potable, muy probablemente el acuífero se aloje en la zona milonítica de la falla.	787,760	1,755,515	Derrumbes por fallamientos	Bajo
ZONA DE DERRUMBES POR FALLAS	Es evidente en el punto de estudio que encontramos gran molienda de roca producto del movimiento de fallas (Falla Chacalapa).	787,676	1,755,846	Derrumbes fuertes por fallamientos	Alto
RUMBO A BENITO JUÁREZ	Evidencias de derrumbes por fallamientos	787,590	1,756,330	Derrumbes fuertes por fallamientos	Alto
ZONA DE DERRUMBES EN LACOMUNIDAD EL JARDÍN	Se observa derrumbes fuertes sobre la brecha hacia la él Zapote, producto de fallas geológicas	782,288	1,754,415	Derrumbes fuertes por fallamientos	Alto
PASO ANCHO	Se observa laderas considerables con pendientes de 15 a 20° lo que nos indica un peligro medio de derrumbes	787,702	1,753,678	Derrumbes	Medio
PUENTE DE COYULA	Laderas a la orilla del río Coyula con gran posibilidad de Deslizamientos y Derrumbes. Las laderas tienen más de 45° de inclinación.	789,431	1,743,241	Derrumbes e Inundaciones	Alto
PUENTE DE COYULA (TELESECUNDARIA)	Telesecundaria en peligro de Derrumbe ya que se encuentra en una ladera inestable con una pendiente de 45° de inclinación	789,280	1,743,076	Derrumbes e Inundaciones	Medio
LA HERREDURA , COLONIA EL ZAPOTE	El lugar está asentado en la zona de cizalla de la falla chacalapa. Las laderas se ven estables con poco ángulo de deslice.	785,601	1,752,619	Derrumbes	Medio
RUMBO A PASO LIMÓN	En esta carretera se registro lineamientos que nos indican la posibilidad de tener un fallamiento cerca de esta zona.(falla chacalapa)	783,329	1,752,834	Derrumbes	Alto

PASO LIMÓN	Nos encontramos exactamente dentro de la zona de fallamiento lateral correspondiente a la falla chacalapa	783,064	1,752,677	Derrumbes	Alto
DERRUMBES EN ESTA ZONA	Existen derrumbes en esta zona debido al fallamiento del lugar.	782,753	1,753,427	Derrumbes	Alto
EL ZAPOTE	Falla lateral que produce derrumbes en toda esta zona, principalmente en la orilla de la carretera.	781,944	1,755,194	Derrumbes	Alto
COLONIA H3 (ESCUELA)	Escuela ubicada en una ladera con posibilidades de deslizamientos.	805,898	1,745,117	Derrumbe	Alto
COLONIA H3 (KINDER)	Zona con posibilidad de deslizamiento y derrumbes.	805,496	1,745,054	Derrumbe	Alto
EL PARAJITO	Se observó casas en laderas peligrosas que pueden sufrir un derrumbe fácilmente. La inclinación es de 30 a 45°, también hay posibilidad de deslizamientos de arena.	806,759	1,748,059	Derrumbes, Deslizamiento	Alto

Tabla 7.- Derrumbes en el Municipio de Santa María Huatulco

Las siguientes imágenes muestran la posibilidad de tener derrumbes en distintas localidades del Municipio de Santa María Huatulco, principalmente en las zonas mencionadas.



Fotografía 5.- Derrumbe Puente de Coyula



Fotografía 6.- Derrumbe rumbo a la comunidad Benito Juárez



Fotografía 7.- Derrumbe Falla Chacalapa (Chacalmata)



Fotografía 8.- Derrumbe en la comunidad del Jardín

PELIGRO POR DESLIZAMIENTOS

Otros fenómenos geológicos que son propios de la superficie terrestre son los deslizamientos del terreno natural. Estos procesos ocurren como movimientos de masas rocosas o sedimentos con poca cohesión que generan inestabilidad de laderas, derrumbes, deslizamientos o flujos, que pueden suceder de manera lenta o repentina en pendientes pronunciadas.

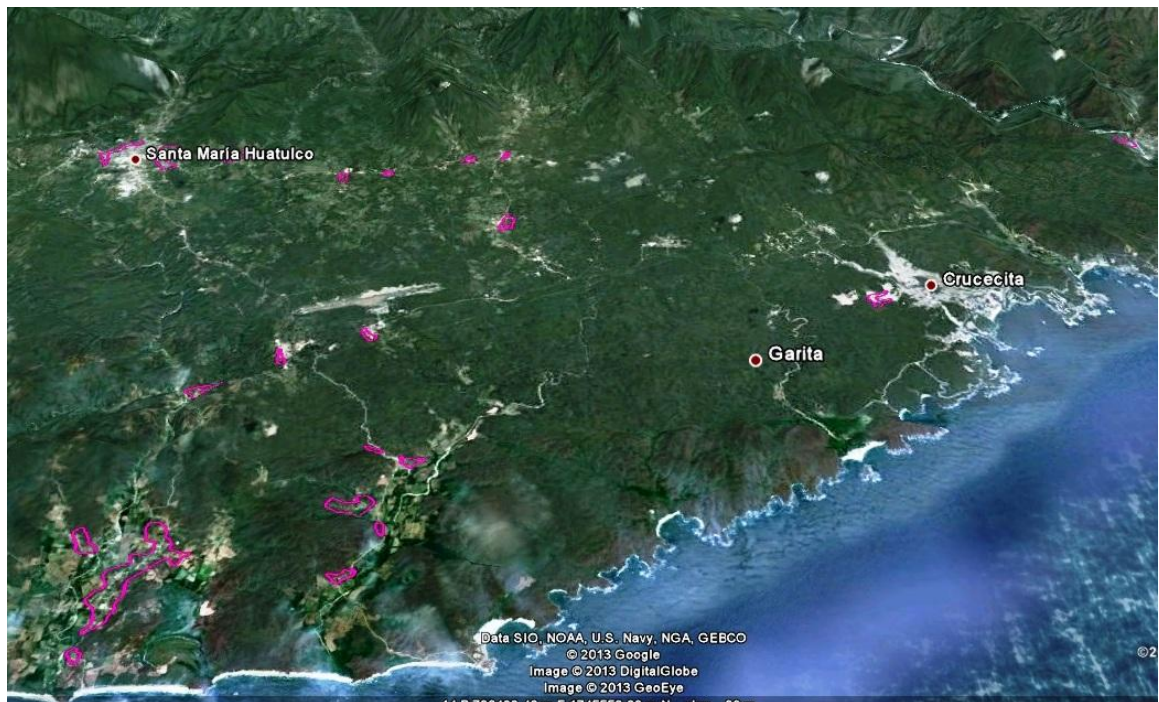


Figura 27.- Deslizamientos en el Municipio de Santa María Huatulco.



Estos fenómenos esencialmente ocurren por condiciones geológicas del terreno, como son origen, composición química y mineralógica, estructura y disposición espacial, condiciones de agua en el subsuelo, acción del intemperismo, sistemas de fracturamiento; los procesos de tipo geomorfológico, dentro de los que se mencionan los fenómenos tectónicos y volcánicos, la erosión y el grado de inclinación de las laderas. Los procesos de origen físico y químico como la meteorización, el grado de precipitación, la deforestación, la contracción y expansión de suelos son de gran importancia considerar.

Los procesos de origen humano, también son factores de ocurrencia de deslizamientos de masa, algunos de ellos hacemos mención; excavación en laderas o minas a cielo abierto, la aplicación de cargas en taludes o crestas, el vaciado-llenado rápido de embalses, las vibraciones artificiales por pruebas nucleares.

Los deslizamientos de masas más frecuentes en el MSMH se localizan principalmente en zonas donde los sedimentos aún no están bien consolidados, por lo general forman laderas que tienen un ángulo suave (Figura-26). Estas laderas normalmente suelen endurecer en un tiempo relativamente corto y aparentan firmeza en sus laderas.

Las zonas con mayor vulnerabilidad de deslizamientos corresponden a las localidades de Piedra de Moros, Pueblo Viejo, El Limoncito, Las Pozas, Todos Santos, Hacienda Vieja, el Parajito, colonia Tejal Blanco, Fraccionamiento El Crucero, Las Amapolas, Bajos de Coyula, Boca Vieja, Arroyo González, San Agustín, Arroyo Cucho, Bajos del Arenal, El Zapote y Colonia H3, que por la morfología propia del terreno es probable que se dé un fenómeno geológico de este orden. Los montículos arenosos aparentemente estables que se encuentran ubicados en las partes antes mencionadas son cuerpos poco consolidados de material frágil que al absorber y saturarse de agua son frágiles e inestables.

Las propiedades megascópicas de éstos materiales son visibles y podemos concluir que la mayoría de los lugares donde se presentan los deslizamientos son arenas producto de la alteración del intrusivo Huatulco, este material se desliza suavemente a las partes más bajas del municipio por ejemplo en las zonas del Fraccionamiento 20 de noviembre, Bajos del Arenal, Pueblo Viejo, Piedra de Moros entre otros.

Zonas de Deslizamiento

La lluvia será la principal fuente de inestabilidad para los deslizamientos de estas laderas, por lo que se observaron en recorridos algunas de estas formas por ejemplo: en el Fraccionamiento 20 de Noviembre, El Parajito. Piedra de Moros, entre otros (Tabla-8).



Informe del Ejercicio Profesional
Atlas de Peligro Geológico del Municipio de Santa María Huatulco



Comunidad	Observaciones	Coordenadas UTM Zona 14		Peligro	Grado de peligro
		X	Y		
FRACCIONAMIENTO 20 DE NOVIEMBRE	Este fraccionamiento presenta arroyos muy cercanos que al crecer la corriente existe la posibilidad de deslizamientos	791,778	1,743,813	Deslizamientos	Medio
BAJOS DEL ARENAL (BARRIO GUADALUPE)	La localidad presenta vulnerabilidad de un deslizamiento, sus pendientes sobrepasan los 30°, las casas se encuentran cerca de laderas inestables y de materias poco consolidadas.	793,292	1,737,904	Deslizamientos y derrumbes	Alto
LADERAS FRAGILES	En la orilla del camino se observa la posibilidad de inundación por los arroyos , que pueden provocar un deslizamiento	793,723	1,738,395	Deslizamientos y inundación	Alto
ESCUELA EN LA COMUNIDAD (PIEDRA DE MOROS)	Escuela aparentemente sin peligro de deslizamiento importantes, pero si una gran alteración por erosión del terreno. Arenas sueltas, en general sus pendientes son suaves de aproximadamente de 15 a 20°.	796,621	1,748,467	Deslizamiento	Bajo
ARROYO Y ESCUELA (LAS POZAS)	El arroyo tiene una lineación de un posible fallamiento. Se observa la zona aparentemente estable con algunas alteraciones producto del corte de laderas y taludes por el hombre, la cual deja posibilidad de un derrumbe.	793,836	1,751,084	Deslizamientos	Medio

Tabla 8.- Identificación de Deslizamientos en el municipio

Las imágenes que aquí se presentan fueron tomadas con el propósito de documentar las principales zonas donde se presentan deslizamientos en el Municipio de Santa María Huatulco.



Fotografía 9.- Deslizamiento Bajos del Arenal



10.- Deslizamiento cerca de escuela (El Faisán)



Fotografía 11.- Posible deslizamiento Escuela, Las Pozas



Fotografía 12.- Deslizamiento localidad (El Parajito)



Fotografía 13.- Posible deslizamiento (Las Amapolas)



Fotografía 14.- Ladera peligrosa (Bajos de Coyula)

PELIGRO POR FLUJOS

Los flujos, son movimientos del suelos y/o fragmentos de rocas ladera abajo, en donde las partículas, granos fragmentos tienen movimientos relativos sobre una superficie de falla. Los más importantes son los de lodo, las avalanchas de suelos y rocas, los lahares, que se originan en el talud de un volcán y los deslizamientos de varias capas de un terreno.

Los movimientos complejos de flujos son resultado de desplazamientos de ladera abajo, cambios en los movimientos iniciales que al ir desplazándose causan daño. Algunos de estos fenómenos también son obra del ser humano, al construir carreteras o “volar” parte de las montañas para construir asentamientos humanos, actividades mineras mal planeadas, deforestación, extracción excesiva de aguas subterráneas o excavaciones en sitios de riesgo.

Entre algunos aspectos que una persona debe tomar en cuenta para poder identificar indicios de inestabilidad en los terrenos, están:

- Presencia de manantiales, filtraciones o suelos saturados en áreas que generalmente no están húmedas
- Desarrollo de grietas o abultamientos en el terreno, ya sea natural o artificial
- Movimiento de suelos que dejan al descubierto cimentaciones de estructuras
- Estructuras que se han movido o inclinado con el tiempo
- Inclinación y/o agrietamiento de pisos y cimentaciones de concreto
- Ruptura de tubos de agua y otras estructuras subterráneas
- Inclinación de postes telefónicos y/o eléctricos, árboles, muros de contención o cercas
- Carreteras que se hundan súbita o frecuentemente.



Figura 28.- Flujos en el Municipio de Santa María Huatulco

- Incremento rápido del nivel de agua de un arroyo y presencia de agua turbia
- Descendimiento rápido de los niveles de agua a pesar de estar lloviendo
- Desajuste de puertas y ventanas y espacios visibles entre ellos
- Los flujos de lodo, escombros, arena pueden contener además toneladas de basura, materiales y mobiliario que van arrastrando, lo que los hace todavía más peligrosas.

Zonas de Flujos

Estas zonas se caracterizan por tener sedimentos poco consolidados principalmente producto del intemperismo del Intrusivo Huatulco, el cual ha sufrido una serie de alteraciones naturales por viento, lluvia, sol, entre otros. Actualmente ha cambiado su entorno natural formando y modificando su estructura geológica natural. La lluvia es la principal fuente de erosión, acarrea grandes flujos de arena los cuales son depositados en zonas más bajas topográficamente formando montículos con poca cohesión y consolidación, estos con el tiempo forman lugares y terrenos aparentemente estables ocupados para la urbanización. Las laderas en ocasiones se observan estables, en general con ángulos de entre 10° a 30° de pendiente ocasionando un peligro en lugares donde los asentamientos humanos crecen y la urbanización, se desarrolla sin orden y planeamiento.

Es el caso de las localidades del Arenoso, Arroyo González, Colonia Vicente Guerrero, La Jabalina, Laguna Seca, Bajos de Coyula y Bajos del Arenal, son las que presentan mayor



efecto de estos fenómenos geológicos, por lo que se recomienda se tome precauciones haciendo una planeación urbana (Figura-28).

Las corrientes fluviales como son ríos, arroyos y zonas de inundación o lugares bajos topográficamente tienen relación con este tipo de sucesos ya que por ellos transitan gran cantidad de sedimentos. Las lluvias torrenciales que se dejan venir causan grandes daños en estos lugares afectando a los habitantes que viven cerca de estas corrientes y estructuras pluviales.

En las zonas de Bajos de Coyula y Bajos del Arenal cerca del límite costero existen llanuras de inundación alimentadas por los principales afluentes de estas localidades como son el Río Coyula y el afluente del Río Cuajinicuil. Es importante mencionar que las inundaciones pueden afectar con mayor magnitud en la temporada de lluvias y que por lo tanto los habitantes se ven más afectados en la agricultura y terrenos de sembradíos de papaya, cacahuate, plátano entre otros.

Cerca del municipio de Santa María Huatulco en la colonia Tejal Blanco existe una erosión considerable que podría derivar en flujos de arena o deslizamientos fuertes. En general la Cabecera Municipal está en una erosión de viento y lluvia considerable.

En la siguiente Tabla-9 se observan las características generales de las localidades que sufren de esta actividad geológica, así como sus coordenadas e imágenes que ayudan a identificar la estructura del suelo.

Comunidad	Observaciones	Coordenadas UTM Zona 14		Peligro	Grado de peligro
		X	Y		
ESCUELA Y KINDER (COMUNIDAD EL FAISÁN)	No se observaron laderas con posibilidad de Derrumbe, pero como es una zona fácilmente alterada puede sufrir deslaves.	801,421	1,747,312	Flujos de arena	Alto
COLONIA VICENTE GUERRERO	En esta colonia observamos laderas con un ángulo de 20° de pendiente, aparentemente sin problema de derrumbes, pero sí de deslizamientos y flujos de arenas.	804,588	1,747,440	Flujos de arena, Erosión	Alto
EL FAISAN	La zona se caracteriza por tener grandes flujos de arena.	801,389	1,747,511	Erosión, Flujos de arena	Alto

LA COLONIA TEJAL BLANCO	En la entrada de Santa María Huatulco se observan laderas aparentemente estables, hay erosión por la lluvia y el viento.	788,070	1,751,681	Erosión	Medio
ENTRONQUE HACIA LA JABALINA	El sitio presenta una estabilidad en los taludes, las pendientes son de bajo grado 10 a 15°. Existe erosión por los arroyos que bajan al Río Copalita	809,478	1,748,243	Flujos de arena	Medio
LA JABALINA	Esta comunidad es pequeña el recorrido indica por medio de la observación que es una zona estable de derrumbes, pero cabe la posibilidad de hundimientos por arenas que acarrearán varios arroyos que desembocan en el río Copalita.	809,526	1,749,390	Flujos de arena, Erosión,	Bajo
LAGUNA SECA	Existe gran cantidad de depósitos de arena consecuencia de erosión por corrientes fluviales.	807,634	1,748,544	Flujos de arena, Erosión	Medio
PLAYA BOCA VIEJA	Unión del río Coyula con el Océano Pacífico, con gran posibilidad de formar un Abanico Aluvial de mayores dimensiones	788,648	1,736,047	Flujos, Erosión, e Inundación	Medio

Tabla 9.- Flujos en el Municipio de Santa María Huatulco



Fotografía 15.- Flujos de Arena en el Río Coyula



Fotografía 16.- Flujos de Arena Comunidad El Faisán



Fotografía 17.- Erosión producto del hombre El parajito



Fotografía 18.- Erosión en Colonia Tejal Santa María Huatulco

PELIGRO POR HUNDIMIENTOS

Por otro lado, los hundimientos regionales o mayores se manifiestan por el descenso de la superficie de una extensión determinada del terreno natural. Este problema se encuentra asociado con la extracción de agua subterránea.

Los hundimientos locales son causados por el colapso de la superficie del terreno natural en zonas donde existen cavidades subterráneas. Cuando se presenta un derrumbe de este tipo, normalmente es súbito y devastador. Una de sus características más aparatosas es que se forman verdaderos cráteres o huecos verticales.

Normalmente este tipo de problema se presenta cuando existen túneles de minas antiguas, poco profundas, que no están detectadas y localizadas plenamente. Asimismo, con el paso del tiempo y el aumento de la población, las corrientes superficiales de agua se vuelven insuficientes, tanto para el riego agrícola como para el consumo humano, por lo que se recurre a extraer, cada vez en mayor cantidad, agua del subsuelo. Como consecuencia de esto, el terreno presenta gradualmente hundimientos y agrietamientos locales y regionales que llegan a afectar seriamente las edificaciones y la infraestructura.

El agrietamiento de la superficie del terreno es la manifestación de una serie de desplazamientos verticales y horizontales del subsuelo en un área amplia, que resultan del problema de hundimiento regional, por la extracción excesiva mediante bombeo profundo del agua subterránea.

Para el MSMH los hundimientos son casi nulos, ya que en la zona hay una vasta concentración de acuíferos evitando que haya hundimientos diferenciales del subsuelo.



Fotografía 19.- Gruta en el Cerro Huatulco

En el cerro Huatulco se presentan cavidades naturales del terreno, esto debido a los escurrimientos que desgastan a la roca caliza de este lugar. Las cavidades observadas corresponden a Karst que son estructuras provocadas por la disolución del agua subterránea a la roca caliza, esto genera que se presenten ríos o arroyos subterráneos que llevan una considerable fuente de agua potable.

Las condiciones propias de este terreno son favorables para que existan acuíferos y descargas de agua muy cercanos, es el caso del manantial ubicado cerca del cerro Huatulco y del río del mismo nombre (Figura- 19). Estas cavidades de estos terrenos no representan riesgo de hundimientos debido a que se encuentran ubicadas lejos de las zonas urbanas o lejos de áreas que puedan ocasionar un desastre por éste fenómeno geológico.

Las características principales de estas oquedades corresponden a estructuras de unos 7 metros de diámetro en las cuales se observan la conexión de canales de agua que se encuentran ladera arriba, las corrientes descargan en tiempos de lluvias gran cantidad de agua la cual ha provocado que la roca caliza se disuelva formando estas estructuras.

PELIGRO POR EROSIÓN

La alteración de la superficie de la Tierra por la acción de agentes externos, como las lluvias, el viento o las olas del mar son un medio de erosión que existe en Huatulco por lo que se

realizaron recorridos en los que la evidencia de ésta acción es notable, marcando las localidades con mayor grado de desgaste.

La erosión eólica es importante en esta zona, consiste en el lento desgaste de las rocas por el viento, en este caso las rocas metamorfoseadas preexistentes en el municipio suelen tener gran impacto de este fenómeno modelando nuevos tipos de suelo. Debido a la acción continua del viento y los materiales que transporta, su desgaste es evidente, los vientos se llevan gran cantidad de sedimentos dejando frágiles y desgastadas laderas.

La erosión fluvial es mayor cuanto mayor sea la fuerza del curso de agua. Las lluvias en el municipio son de gran volumen que al caer llevan gran cantidad de sedimentos (arenas) principalmente producto de la alteración de cuerpos intrusivos como son el Huatulco y el complejo Xolapa entre otros.

En todo el municipio de Huatulco existe erosión en mayor o menor magnitud por ejemplo en las partes más altas rumbo a las localidades de Xuchilt el Alto, las Zonas Cafetaleras, la localidad de Benito Juárez, el rumbo hacia Juquilita entre otros, se representa el fenómeno con menor grado ya que lo protege la vasta vegetación existente de las montañas. La protección de estos suelos es producto de que aún no ha existido un desequilibrio total, por ejemplo en deforestación, en cambio de uso de suelo por la agricultura, casa habitación, entre otros, que provoquen que el suelo quede vulnerable a lugares áridos y entren en contacto con los agentes del intemperismo y erosión (Figura-29).

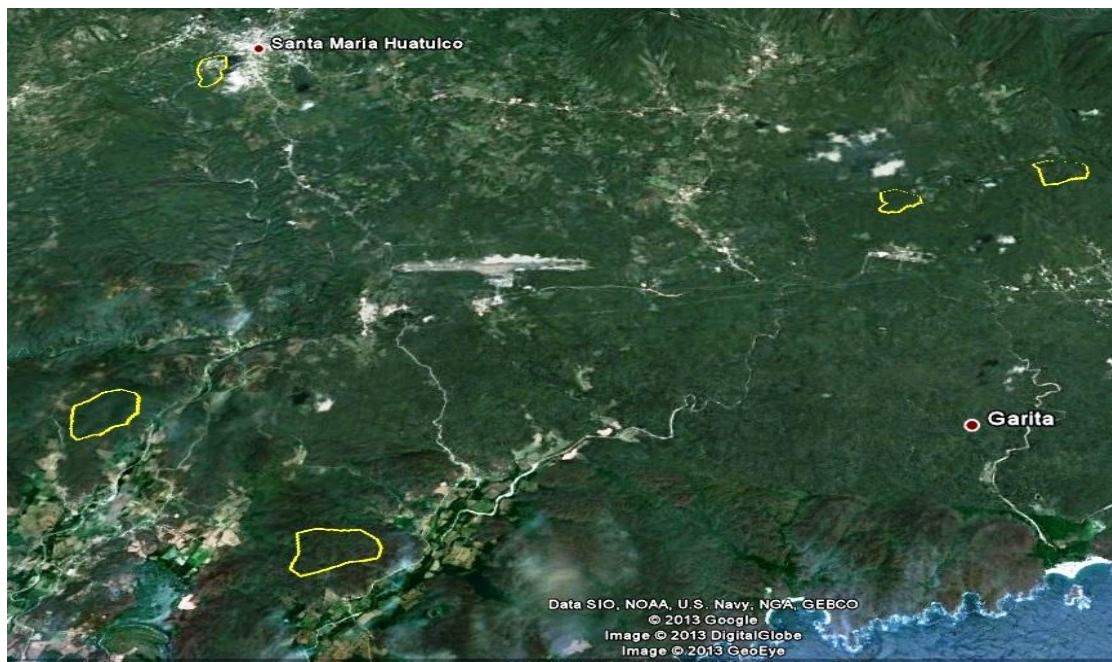


Fig. 29.- Erosión en el Municipio de Santa María Huatulco



Las comunidades que se encuentran en zonas más bajas del municipio, representan mayor desgaste y erosión como son el caso de las comunidades de Piedra de Moros, Arroyo González, el Faisán, y el Arenoso. Los campos de sembradíos y la modificación del entorno natural provocada por el hombre en estos lugares, hace que estas poblaciones estén en constante vulnerabilidad de presentar fenómenos geológicos en terrenos circunvecinos a nuestra zona de estudio (Tabla-10).

Es importante mencionar que la modificación del entorno natural, el cambio de uso de suelo y la deforestación son relevantes para que los fenómenos crezcan significativamente, por otro lado si persisten en realizar éstas actividades puede encadenar fenómenos más complejos y los problemas crecerían significativamente.

Zonas de Erosión

Comunidad	Observaciones	Coordenadas UTM Zona 14		Peligro	Grado de peligro
		X	Y		
(CRUCERO - PIEDRA DE MOROS)	Zona que presenta en la brecha erosión y flujos de arena y lodo.	798,266	1,746,451	Erosión	Medio
ARROYO GONZÁLEZ	Presenta escurrimientos originados por la erosión de la lluvia, y algunos flujos de arena suaves.	797,367	1,747,352	Erosión	Medio
EL FAISAN	La zona se caracteriza por tener grandes flujos de arena.	801,389	1,747,511	Erosión, Flujos de arena	Medio
ARENOSO	La corriente de los arroyos arrastra gran cantidad de sedimentos (arenas) que gran parte de ellas se asientan en esta zona, por lo que consideramos vulnerabilidad de flujos de arena.	804,050	1,748,392	Erosión	Alto

Tabla 10.- Sitios de Erosión del Municipio de Santa María Huatulco



Fotografía 20- Erosión en las laderas del Rio Coyula



Fotografía 21.- Erosión por lluvia El parajito



Fotografía 22.- Erosión fuerte Las Amapolas



Fotografía 23.- Erosión por lluvia Bajos del Arenal

V. RECOMENDACIONES

Recomendaciones en la Colonia H3 Santa María Huatulco

Derrumbes y movimientos complejos ocurren principalmente en la temporada de lluvias, ocasionando daños materiales en la infraestructura de Huatulco como son escuelas, casas, carreteras, caminos, infraestructura eléctrica y en ocasiones víctimas humanas etc.

En la colonia H3 se observaron una serie de problemas geológicos con posibilidades de Deslizamientos de masas y Derrumbes que en gran parte y de manera directa afectan a la población e infraestructura habitacional.

Esto nos lleva a hacer un análisis de localización de los puntos con mayor afectación de estos fenómenos, que en gran medida están originados por la inestabilidad que provoca el hombre al hacer cortes en laderas y cerros ocasionando que el peligro sea mayor.



Fotografía 24., Kinder ubicado en una ladera peligrosa colonia H3

Estos fenómenos pueden tardar o ser repentinos originados principalmente en tiempos de lluvia la cual debilita los taludes provocando severos problemas. Para evitar estos casos de

peligro tendría que existir un análisis de ordenamiento territorial para saber dónde está el menor peligro geológico

Estos procesos ocurren como movimientos de masas rocosas o sedimentos con poca cohesión que generan inestabilidad de laderas, como es el caso de esta colonia, también podríamos clasificar algunos derrumbes, que pueden suceder de manera lenta o repentina en pendientes pronunciadas.

Este tipo de eventos puede originarse, por terremotos, lluvias intensas, corte de taludes por el ser humano como es el caso de algunos sitios de la colonia H3 y otros eventos geológicos que se presenten, pero el principal riesgo son los asentamientos humanos sobre zonas frágiles como pueden ser en terrenos muy arenosos con poca cohesión, también en laderas de las montañas que presenten diferentes grados de inclinación o por vivir al pie de ellas.



Fotografía. 25., Casas a la orilla de un talud con posibilidad de derrumbe colonia H3

Los mecanismos básicos de inestabilidad del terreno son: los caídos o derrumbes, los flujos, deslizamientos y las expansiones o desplazamientos laterales de los terrenos.

Algunos sitios que se pueden ubicar en la colonia H3 se pueden visualizar en éstas imágenes que describen la posibilidad de algún deslizamiento o derrumbe, por lo que se recomienda una atención en estos lugares y tratar de que los cortes hechos por el ser humano tengan un estudio Geotécnico, esto con el fin de mitigar un poco el peligro geológico existente en la zona.



Fotografía 26. Escuela con probabilidad de deslizamiento col. H3



Fotografía 27. Centro de Salud (ladera con inestabilidad)

La zona presenta en sus laderas sedimentos en su mayoría arenas gruesas poco consolidadas frágiles provocadas por erosión, principalmente fluvial y eólica

La erosión fluvial lleva o acarrea gran cantidad de sedimentos ladera abajo provocando que las partes bajas se inundan o tengan flujos de arena que es el caso de la colonia H3. También el agua puede debilitar los montículos originales de la topografía del lugar ocasionando los derrumbes inesperados.

La erosión por el viento es de igual manera importante, ya que al pegar los vientos en las zonas o laderas provocan el desgaste de la roca acarreado gran parte del sedimento a lugares lejanos. Cabe mencionar que la deforestación es un factor determinante de erosión eólica. Estas erosiones en un futuro provocarían daños en laderas y taludes, es por eso que antes de un desarrollo urbano se consulte al Ingeniero Geólogo para un estudio de Mecánica de Suelos o de Rocas.



Fotografía 28. Obra humana propensa a un deslizamiento



Fotografía 29. Asentamiento de casas afectadas por erosión

Sugerencias de obra

Cabe resaltar que estas obras, fueron recomendadas desde un punto de vista general, sin tomar en cuenta características geotécnicas explícitas. Para determinar las obras adecuadas en los sitios con peligro geológico, se sugiere hacer análisis con especialistas dedicados a la Estabilidad de Taludes o Profesionales en Ingeniería Geotécnica.

DERRUMBES					
COORDENADAS					
COMUNIDAD	OBSERVACIONES	X	Y	PELIGRO	SUGERENCIAS DE OBRAS
COLONIA H3 (ESCUELA)	Escuela ubicada en una ladera con posibilidades de deslizamientos.	805,898	1,745,117	Derrumbe	Reforzar la masa del talud, contrafuertes y protección superficial
COLONIA H3 (KINDER)	Zona con posibilidad de deslizamiento	805,496	1,745,054	Derrumbe	Reforzar la masa del talud, contrafuertes y protección superficial
SAN JOSÉ CUAJINICUIL	Las laderas pueden ser aparentemente estables pero al observar con detalle se concluye inestabilidad. Tienen inclinaciones que superan los 25°, ya que son comunidades establecidas en mayores altitudes.	793,260	1,755,576	Derrumbes	Cambiar la geometría del talud



Informe del Ejercicio Profesional
Atlas de Peligro Geológico del Municipio de Santa María Huatulco



CUAJINICUIL ALTO	Las laderas de esta localidad presentan pendientes de aproximadamente 40° a 60° tienen una vulnerabilidad de que existan derrumbes, por la alteración del terreno producida por los habitantes y el fallamiento existente	792,787	1,757,208	Derrumbes	Cambiar la geometría del talud
XOCHITL EL ALTO	Sobre el arroyo que pasa por la localidad de Xóchitl el Alto existe la traza de lineamientos con orientación N15°W. Esto nos indica que la zona es inestable.	796,617	1,755,346	Derrumbes	Estabilidad de taludes
CERRO CHINO	Por estar cerca de estas zonas y en laderas altas, siempre existe la posibilidad de un derrumbe, es el caso de esta comunidad.	795,375	1,754,686	Derrumbes	Contrafuertes y concreto lanzado
ARROYO XUCHILT	En esta localidad existen laderas frágiles que pueden derrumbarse, la presencia de fallas y lineamientos cercanos, pueden ser indicadores de movimiento de masas	797,461	1,753,823	Derrumbes	Reforzamiento de la masa del talud
EL PARAJITO	Se observó casas en laderas peligrosas que pueden sufrir un derrumbe fácilmente. La inclinación es de 30 a 45°, también hay posibilidad de deslizamientos de arena.	806,759	1,748,059	Derrumbes	Drenes de canal y contrafuertes
(TRAZA DE LA FALLA CHACALAPA)	En este punto se llega a un manantial de agua potable, muy probablemente el acuífero se aloje en la zona milonítica de la falla.	787,760	1,755,515	Derrumbes	Sistema de enmallado de acero y muros de contención
ZONA DE DERRUMBES	Es evidente en el punto de estudio que encontramos gran molienda de roca producto del movimiento de fallas (Falla Chacalapa)	787,676. 7	1,755,846	Derrumbes	Contrafuertes y concreto lanzado
COMUNIDAD EL JARDÍN	Se miran derrumbes fuertes sobre la brecha hacia el Zapote, producto de fallas geológicas	782,650	1,752,686	Derrumbes	Contrafuertes y concreto lanzado



HERRADURA	En los recorridos por la comunidad observamos laderas con un poco de derrumbes, consecuente del mismo material de la falla	785,432	1,752,686	Derrumbes	Pernos de anclaje y contrafuertes
PUENTE DE COYULA	Laderas a la orilla del rio Coyula con gran posibilidad de Deslizamientos, y Derrumbes. Las laderas tienen más de 45° de inclinación.	789,431	1,743,241	Derrumbes	Muros de contención y reforzamiento de la masa del talud
PUENTE DE COYULA (TELESECUNDARIA)	Telesecundaria en peligro de Derrumbe ya que se encuentra en una ladera inestable con una pendiente de 45° de inclinación	789,280	1,743,076	Derrumbes	Muros de contención y reforzamiento de la masa del talud
DESLIZAMIENTOS					
COLONIA H3(CASAS)	Casas ubicadas en sitios donde se pueden presentar deslizamientos	805,730	1,745,240	Deslizamientos	Drenes de recolección del drenaje y drenes de canal.
COLONIA H3 (TIRADERO)	Al parecer están realizando una construcción en laderas con posibilidad de deslizamientos.	805,549	1,745,193	Deslizamientos	Reforzamiento de la masa del talud, y protección superficial con vegetación.
PUEBLO VIEJO	La comunidad presenta laderas con pendientes consideradas de aproximadamente 20 a 30° de pendientes en sus alrededores. Existe posibilidad de ocurrir algún tipo de deslizamiento de masas, esto por la cercanía de fallamiento en la región	796,789	1,751,318	Deslizamientos	Estabilidad de laderas
(PIEDRA DE MOROS)	Se observa escuela aparentemente sin peligro de derrumbes o fracturamiento importantes, pero si una gran alteración por erosión del terreno. Arenas sueltas, en general sus pendientes son suaves de aproximadamente de 15 a 20°.	796,621	1,748,467	Deslizamientos	Estabilidad de laderas



(LAS POZAS)	El arroyo tiene una lineación de un posible fallamiento. Se observa la zona aparentemente estable con algunas alteraciones producto del corte de laderas y taludes por el hombre, la cual deja posibilidad de un derrumbe.	793,836	1,751,084	Deslizamientos	Reforzamiento de la masa del talud y protección superficial con vegetación.
ARROYO (TODOS SANTOS)	En este punto logramos obtener datos estructurales de un posible fallamiento normal con rumbo al NE35°/54° de inclinación y cae hacia N10°W. Cabe mencionar que es posible que se esté midiendo la foliación de la roca.	792,350	1,751,035	Deslizamientos	Reforzamiento de la masa del talud y protección superficial con vegetación.
LADERA DEL RIO COPALITA	En esta zona se observa en las laderas del río Copalita una gran vulnerabilidad de inundación, también la probabilidad de deslizamientos a la población cercana.	813,980	1,750,681	Deslizamientos	Drenes de recolección del drenaje
TECHAL BLANCO	Existe peligro en esta parte, por laderas erosionadas que cruzan calles de la colonia Tejal Blanco. Pendientes de 25 a 30° se visualizan en este sitio' por lo que se hace mención de algún derrumbe a baja escala.	787,863	1,751,874	Deslizamientos	Protección superficial con vegetación y zarpeado
PASO ANCHO	Se observa laderas considerables con pendientes de 15 a 20° lo que nos indica un peligro medio de derrumbes	787,702	1,753,678	Deslizamientos	Estabilidad de laderas
FRACCIONAMIENTO EL CRUCERO	En el entronque se presentan casas en laderas con pendientes consideradas de unos 20°, pero al llegar al fraccionamiento se observa que no hay derrumbes ni deslaves, las laderas son estables y firmes	791,725	1,744,024	Deslizamientos	Estabilidad de laderas y protección superficial con vegetación.



concluyendo que existe poco
peligro de deslizamientos

PUENTE DE COYULA	En la rívera del arroyo que desemboca en el Río Coyula, observamos asentamientos en las orillas del arroyo. Con muchos problemas de derrumbes en toda la comunidad de las Amapolas. Es de resaltar que ahí se encuentra una Primaria, con muchas posibilidades de derrumbes e inundación.	789,902	1,743,506	Deslizamientos	Drenes de recolección del drenaje y drenes de canal.
PUENTE DE COYULA	Se inunda y es muy posible que ocurra derrumbe. Estas laderas que la rodean tienen inclinaciones que superan los 45°	789,818	1,743,403	Deslizamientos	Drenes de recolección del drenaje y drenes de canal.
BAJOS DE COYULA	Laderas con poca posibilidad de Derrumbes aún que existe otra de deslizamientos de masas, sus pendientes son suaves pero de material poco consolidado.	789,702	1,739,83	Deslizamientos	Reforzamiento de la masa del talud y protección superficial con vegetación.
BAJOS DE COYULA	Aquí existen peligros distintos uno de ellos son los deslizamientos pero también existe la posibilidad de inundación.	788,529	1,737,941	Deslizamientos	Reforzamiento de la masa del talud y protección superficial con vegetación.
BAJOS DE COYULA	Escuela primaria que pueda estar en peligro por deslizamientos de laderas, también la posibilidad de acarreo de sedimentos arenosos existentes en la zona.	788,983	1,738,631	Deslizamientos	Drenes de recolección del drenaje y drenes de canal.
BOCA VIEJA (EL CHARCO)	Planicie donde puede llegar una posible inundación del Río Coyula	788,388	1,736,796	Deslizamientos	Drenes de recolección del drenaje y drenes de



						canal.
PLAYA BOCA VIEJA	Unión del río Coyula con el océano Pacífico, con gran posibilidad de formar un Abanico Aluvial de mayores dimensiones	788,648	1,736,047	Deslizamientos		Drenes de recolección del drenaje y drenes de canal.
FRACCIONAMIENTO 20 DE NOVIEMBRE	Este fraccionamiento presenta arroyos muy cercanos que al crecer la corriente existe la posibilidad de deslizamientos	791,778	1,743,813	Deslizamientos		Drenes de recolección del drenaje y drenes de canal.
FLUJOS						
COMUNIDAD EL FAISÁN	No se observaron laderas con posibilidad de Derrumbe, pero como es una zona fácilmente alterada puede sufrir deslaves.	801,421	1,747,312	Flujos arena	de	Protección superficial con vegetación y zarpeado
ARROYO GONZÁLEZ	Presenta escurrimientos originados por la erosión de la lluvia y algunos flujos de arena suaves	797,367	1,747,352	Flujos arena	de	Protección superficial con vegetación y zarpeado
LA JABALINA	El sitio presenta una estabilidad en los taludes, las pendientes son de bajo grado 10 a 15°. Existe erosión por los arroyos que bajan al Río Copalita	809,478	1,748,243	Flujos arena	de	Protección superficial con vegetación y zarpeado
LAGUNA SECA	Existe gran cantidad de depósitos de arena consecuencia de la corriente fluvial	807,634	1,748,544	Flujos arena, Deslizamientos y Erosión	de	Reforzamiento de la masa del talud y protección superficial con vegetación.
PLAYA BOCA VIEJA	Unión del río Coyula con el Océano Pacífico, con gran posibilidad de formar un Abanico Aluvial de mayores dimensiones	788,648	1,736,047	Flujos Inundación	e	Drenajes del agua del subsuelo en el talud
BAJOS DEL ARENAL	La localidad presenta vulnerabilidad de un deslizamiento, sus pendientes sobrepasan los 30°, las casas se encuentran cerca de laderas inestables y de materias poco	793,292	1,737,904	Flujos arena	de	Drenajes del agua del subsuelo en el talud



consolidado.

COLONIA H3 (FLUJOS)	Flujos de arena por la erosión de la lluvia.	805,802	1,745,043	Flujos	
LADERAS FRAGILES	En la orilla del camino se observa la posibilidad de inundación por los arroyos , que pueden provocar un deslizamiento	793,723	1,738,395	Flujos	Contrafuertes y protección superficial con vegetación y zarpeado
EROSIÓN					
(PIEDRA DE MOROS)	Se observa escuela aparentemente sin peligro de derrumbes o fracturamientos importantes, pero si una gran alteración por erosión del terreno. Arenas sueltas, en general sus pendientes son suaves de aproximadamente de 15 a 20°.	796,621	1,748,467	Erosión, alteración humana	Contrafuertes y protección superficial con vegetación y zarpeado
PIEDRA DE MOROS	Zona que presenta en la brecha erosión y flujos de arena y lodo.	798,266	1,746,451	Erosión, Flujos de arena	Protección superficial de con vegetación y zarpeado
ARROYO GONZÁLEZ	Presenta escurrimientos originados por la erosión de la lluvia, y algunos flujos de arena suaves	797,367	1,747,352	Erosión, Flujos de arena	Protección superficial de con vegetación y zarpeado
ARENOSO	La corriente de los arroyos arrastra gran cantidad de sedimentos (arenas) que gran parte de ellas se asientan en esta zona, por lo que consideramos vulnerabilidad de flujos de arena.	804,050	1,748,392	Erosión, Flujos de arena Deslizamientos	Protección superficial y con vegetación y zarpeado
FALLAS					
FALLA EN CERRO CHINO	Zona de cizalla de fallamiento lateral, la traza de la Falla Chacalapa	795,345	1,756,676	Zona Falla	Estabilidad del de fallamiento, pernos de anclaje, contrafuertes



Informe del Ejercicio Profesional
Atlas de Peligro Geológico del Municipio de Santa María Huatulco



FALLA XOCHITL EL ALTO	Sobre el arroyo que pasa por la localidad de Xóchitl el Alto existe la traza de lineamientos con orientación N15°W. Esto nos indica que la zona es inestable.	796,617	1,755,346	Zona Falla	de	Reforzamiento de la masa del talud, Estabilidad del fallamiento, pernos de anclaje, contrafuertes
FALLA EL JARDIN	Existencia de fallas en esta zona, evidenciada en las fotos	782,650	1,752,686	Fallas		Reforzamiento de la masa del talud, Estabilidad del fallamiento, pernos de anclaje, contrafuertes
FALLA CHACALAPA	En este punto se llega a un manantial de agua potable, muy probablemente el acuífero se aloje en la zona milonítica de la falla.	787,760	1,755,515	Derrumbes		Enmallado. Reforzamiento de la masa del talud, Estabilidad del fallamiento, pernos de anclaje, contrafuertes

Tabla 11. Recomendaciones de Obra



Conclusiones

A pesar de la temporada de lluvias, el reconocimiento geológico se realizó de manera óptima. Hasta podríamos decir que contribuyó de manera directa a reconocer los fenómenos geológicos que se presentaban en distintos lugares. En el caso de los derrumbes, deslizamientos, erosión y flujos se observaron muy claro, ya que un factor muy importante para que se produzcan estos peligros es la lluvia. Esta satura los poros de un talud provocando que las laderas se caigan, también las corrientes de agua y arena fueron una pieza clave para delimitar áreas que se observaron frágiles y flujos que afectaban a casas y edificios, como es el caso de algunas zonas de la zona turística de Huatulco.

En algunas colonias fueron evidentes los deslizamientos, tal es el caso de la colonia H3 donde los taludes de laderas, al saturarse de agua se vinieron abajo, también en algunas zonas del centro de Santa María Huatulco, como la colonia Tejal Blanco fue innegable el desgaste de los caminos y laderas.

El Atlas de Peligro Geológico es un documento de gran importancia, ya que permitirá ubicar zonas con riesgos geológicos y evitar así accidentes en las comunidades. Las instituciones de Huatulco que trabajan para el bienestar de los habitantes resolverán de manera satisfactoria los eventos catastróficos que un momento dado puedan presentarse. Las oficinas de Protección Civil dirigida por Fernando Alderete, seguirán dando servicio de mejor calidad gracias al documento que se realizó y podrán ubicar de manera cartográfica los riesgos.

Las autoridades también juegan un papel importante en la realización de este documento, ya que los presupuestos destinados a zonas de desastre, serán canalizados para prevenir peligros de esta índole, por lo que a largo plazo se destinarán menos recursos a la remediación de daños que puedan surgir. También se podrán reubicar casas habitación y estructuras que puedan estar en peligro de accidentes. Los planos elaborados en este documento podrán ser observados por la población del municipio identificando peligros a los que estén sometidas sus viviendas.

Es importante mencionar el apoyo que recibí de parte de las autoridades del MSMH, ya que sin ellos el trabajo de campo se hubiera complicado, los permisos que se elaboraron para los caminamientos en propiedades privadas fueron un apoyo muy grande en la recopilación de fallas y fenómenos geológicos que se presentaban, también mencionaré que las personas (Eladio, Francisco y Cuerpo de Bomberos) que me designaron de guías en las rutas que se realizaban, fueron pieza clave para concluir el trabajo de campo.



Informe del Ejercicio Profesional
Atlas de Peligro Geológico del Municipio de Santa María Huatulco



En cuanto a la empresa Estrategias GIS, la compañía que me contrato para llevar a cabo este trabajo, tuve un apoyo excelente y una buena comunicación, gracias a ello el trabajo fue concluido con satisfacción y en buen tiempo.

En general todo este trabajo es el inicio de una gran oportunidad de seguir explorando fenómenos geológicos, o tal vez explorar mas a detalle cuerpos mineralizados que se puedan encontrar, ya que esta zona por su origen tectónico regional y su mineralogía, es una gran alternativa en la industria minera que podría tener valor económico, además se generarían fuentes de empleo para los habitantes de Santa María Huatulco y sus alrededores.

Por lo que se refiere a todos los fenómenos geológicos que se describen en este texto, también es un inicio de seguir creando nueva cartografía e información que pueda ser útil a la sociedad del MSMH.



Referencias

Tectonothermal history of the Mesoproterozoic Novillo Gneiss of eastern Mexico: support for a coherent Oaxaquia microcontinent. Trainor RJ, Nance RD, Keppie JD. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* **28**,3:580-592

INEGI, (1981). Carta fisiográfica de la República Mexicana. Escala 1:1,000,000 (8 hojas). México.

Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES). (1995). El Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de México. Ingeniería Civil, Ingeniería Sísmica, No. 310, p. 17-22.

CFE, (1981). Manual de Diseño de Obras Civiles, Estructuras, Diseño por Sismo. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México, Inédito, 63 pp.

Campa, U. M. F., Ramírez E. J. y Coney, P. J. (1981). Conjuntos estratotectónicos de La Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos. Sociedad Geológica Mexicana, Boletín, XLII, No. 1 y 2.

Herrera-Castañeda, S. R. (2002) Regionalización de deslizamientos en México. Academia Mexicana de Ingeniería, UNAM, 22 p.

Lomas, D. E. (2005). Observación sismológica en el P. H. Parota, Guerrero. Catálogo 2005. CFE, Departamento de Sismotectónica, Informe inédito, 31 p.

Servicio Geológico Mexicano. (1998). Carta Geológico-Minera Puerto Escondido D14-3, Oaxaca de Juárez Oaxaca Secretaría de Economía. Primera Edición.

Delgado-Argote L, Carbadillo-Sánchez E. (1990). Análisis Tectónico del Sistema Transpresivo Neogénico entre Macuspana, Tabasco. Univ.Nal. Autón. México, Instituto de Geología, Revista, vol.9 num.1, 1990, p, 21-32.

Tolson, Gustavo (2005). La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. LVII, núm. 1, 2005, pp. 111-122 Sociedad Geológica Mexicana, A.C. Distrito Federal, México.

Ordaz Mario (1990). Mapas de peligro Sísmico en México con fines de calificación de equipo Eléctrico. Instituto de Ingeniería UNAM. México D; F.

Morán-Zenteno, Dante Jaime; Cerca, Mariano; Duncan Keppie, John (2005). La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. LVII, núm. 3, 2005, pp. 319-341 Sociedad Geológica Mexicana, A.C. Distrito Federal, México



Instituto de Geofísica, Servicio Sismológico Nacional Reporte de Sismo. Sismo del día 20 de Marzo de 2012, Oaxaca (M 7.4)

Barrientos Ávila Lorena, Juan J. Fernández D; Francisco J. Rivero. Análisis geográfico y estadístico de la sismicidad en la costa mexicana del Pacífico. Boletín de los Sistemas Nacionales Estadísticos y de Información Estadística, Información cuatrimestral.

Arturo Gómez-Tuena, Ma. Teresa Orozco-Esquivel, Luca Ferrari. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Apartado postal 1-742, Querétaro, Qro., 76001, México* tuena@geociencias.unam.mx

Sección 3.1, Espectros de diseño sísmico para el territorio Mexicano

Bases para la Estandarización en la Elaboración Atlas de Riesgos y Catalogo de Datos Geográficos para representar el Riesgo. SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL.

Acel, Jiménez H. Mineralización de oro en el Complejo Oaxaqueño, sur de México. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Mención Geología. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología. Santiago de Chile. Noviembre 2011.

Consejo de Recursos Minerales Informe final. Riesgo sísmico y de deslizamiento de la Región de Puerto Escondido – Santa María Huatulco, Oaxaca.

Lorena Barrientos Ávila, Juan José Fernández Durán y Francisco José Rivero Ángeles Análisis geográfico y estadístico de la sismicidad en la costa mexicana del Pacífico

