



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**ANÁLISIS FISIOGRAFICO
DEL ESTADO DE OAXACA:
BASE DE LA AMENAZA
SÍSMICA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA**

PRESENTA:

NAVARRO MORENO KARLA LIZETH

MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

En la UNAM encontré a los mejores profesores, científicos y amigos que resultaron ser grandes seres humanos.

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

Dr. Genaro Correa

Le agradezco la oportunidad de aprender a su lado ha sido una de las oportunidades más valiosas de mi vida, su amor a la profesión y su entrega, han hecho de usted un Geógrafo respetable, el cual ha dejado una huella imposible de borrar en mí. Espero algún día ser digna de tan maravillosa enseñanza.

Dr. Pedro Montes

Eres un gran profesor y un buen amigo. Tu tiempo en enseñarme lo valoro infinitamente, al igual que los comentarios.

Dr. Víctor Manuel Luna

Muchísimas gracias por ser mi sinodal, es una persona muy amable.

Dr. Enrique Zapata Zepeda

Muchas gracias recibí sus consejos durante toda la carrera

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

Don Dr. Fernando Ortega.

Ante usted me quedo callada, sabe que es digno de admiración y respeto en todos los ámbitos (profesional, como ser humano y amigo). Sin usted no habría llegado hasta donde estoy, me escucho, me aconsejo y fue bueno conmigo. Lo quiero mucho.

Don Mariano Elías y José Luis

Sus comentarios y aportaciones siempre fueron valiosos y agradecidos.

Margarita Reyes y Consuelo

El angelito que me llevo a conocer las estrellas y el diablito anda suelto.

Carlos Linares

Tú me auxiliaste tanto.

MIS AMIGOS

A mis amigos de Geografía, Geología, Geofísica y de Civil les agradezco mucho por compartir tiempo conmigo.

¡Gracias!

DEDICATORIA

Con cariño a

Mis abuelitos

Siempre estuvieron, sin estar.

Mamá y Papá

A ustedes especialmente porque apoyaron mis estudios, respetaron mis decisiones y aguantaron mis descontentos.

Hermanos

Por las opiniones que me han dado, agradezco su interés en mí.

Marco

Tu amor y amistad han sido el pilar en el que me he abrazado en los buenos y malos momentos.

“Los amo mucho, son la base y el motor de mi corazón”

RECONOCIMIENTO

UNAM

Mi segundo hogar

Dr. Fernando Ortega

Más allá de ser mi director de tesis y mi tutor, es como un familiar para mí.

Dr. Correa

Mi profesor, mi guía y mi amigo.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes y trabajos previos	4
1.2 Importancia del tema	6
1.3 Planteamiento del problema	7
1.4 Objetivos	7
1.5 Alcances y limitaciones	8
1.6 Metodología	8
1.7 Marco conceptual	10

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Situación, extensión y límites	14
2.2 Fisiografía	17
2.3 Clima	22
2.4 Hidrografía	25
2.5 Geología	32
2.6 Suelos	38

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA EN OAXACA

3.1 Localización de Oaxaca dentro del marco tectónico global y nacional	48
3.2 Antecedentes sísmicos en el estado	50
3.3 Instrumentación sísmica en Oaxaca	56
3.4 Modelación de la sismicidad	61
3.4.1 Estimación de los parámetros del movimiento fuerte	
3.4.2 Estimación de los parámetros de amplitud	
3.4.3 Cálculo de la amenaza	
3.5 Estimación de escenarios	66
3.6 Estimación probabilística en roca	72

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS FISIOGRÁFICO

4.1 Limitaciones de la carta fisiográfica del INEGI	75
4.2 Propuesta de la carta fisiográfica de Oaxaca	78
4.2.1 Metodología	79
4.2.2 Mapa fisiográfico	81
4.3 Análisis del mapa	82

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DEL MAPA FISIOGRÁFICO EN LA AMENAZA SÍSMICA

5.1 Importancia del conocimiento fisiográfico en el estudio de la sismicidad	94
5.2 Relación del mapa fisiográfico con el de los escenarios sísmicos	95
5.3 Regiones sismogénicas	97

CAPITULOS 6. CONCLUSIONES

103

REFERENCIAS

106

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

CAPÍTULO 1	12
Figura	
1.1 El momento de un sismo	12
 CAPÍTULO 2	
Figura	
2.1 Ubicación del estado de Oaxaca	14
2.2 Localización del estado de Oaxaca	15
2.3 División Distrital de Oaxaca	16
2.4 Costa del Sur, Oax.	17
2.5 Sierra Espinazo del Diablo, Oax.	19
2.6 Mapa Relieve de Oaxaca	20
2.7 Fisiografía de Oaxaca	21
2.8 Río Quichepa, Oax.	32
2.9 Climas de Oaxaca	23
2.10 Mar Muerto	24
2.11 Hidrografía	30
2.12 Falla en la Mixteca Oax.	31
2.13 Geología de Oaxaca	36
2.14 Tectónica de Oaxaca	37
2.15 Edafología de Oaxaca	43
Tabla	
2.1 Columna geológica generalizada	34
2.2 Porcentaje estatal por unidades de suelo	38
2.3 Características de los suelos de Oaxaca	44
 CAPÍTULO 3	
Figura	
3.1 Marco tectónico de México	49
3.2 Códice Tellariano	50
3.3 Primera estación sismológica de Oaxaca	53
3.4 Mapa instrumentación sísmica en Oaxaca	60
3.5 Ejemplo de varias medidas de distancia usadas en función de atenuación	62
3.6 Modelo teórico de atenuación de espectros de Fourier	64
3.7 Sismo intraplaca superficial simulado con magnitud 5.2	67
3.8 Sismo intraplaca superficial simulado con magnitud 6.8	67
3.9 Sismo intraplaca superficial simulado con magnitud 7.1	68
3.10 Sismo intraplaca superficial simulado con magnitud 8.2	68
3.11 Epicentros sísmicos con magnitudes igual o mayores a 6.5	70
3.12 Epicentros sísmicos con magnitudes igual o mayores a 4.5	71
3.13 Aceleración Máxima 150 años	73
3.14 Aceleración máxima 500 años	74
Tabla	
3.1 Sismos de mayor afectación para Oaxaca	53
3.2 Comparación de los sismos ocurridos	55
3.3 Estaciones sísmicas de la red I.T.O.	56
3.4 Estaciones de la red acelerográfica de la UNAM	57

3.5 Estaciones sísmicas de la red C.F.E.	58
3.6 Estaciones sísmicas de la UNAM	59
CAPITULO 4	
Figura	
4.1 Fisiografía de Oaxaca	78
4.2 Capas temáticas de un Sistema de Información Geográfica	79
4.3 Mapa de geoformas	80
4.4 Mapa fisiográfico	81
CAPITULO 5	
5.1 Representación de las ondas en el terreno	94
5.2 Sismogénesis de Oaxaca	99
Tabla	
5.1 Catalogo sísmico en Oaxaca 2006-2010	100

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El interior de la Tierra, donde se ubican las placas tectónicas, se desarrolla un sistema dinámico muy complejo, en donde se libera la energía de varias maneras, entre sus manifestaciones, se encuentran los sismos, estos se propagan por medio de ondas que cuando llegan a la superficie sacuden el relieve, lo que causa gran daño a las poblaciones ubicadas en él. Hay lugares donde la probabilidad de que ocurra un sismo es mayor que en otros, esto se debe a su ubicación en el marco tectónico global. En México, la principal zona de actividad sísmica se concentra en el sur, ya que forma parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. Debajo de las costas mexicanas del litoral del océano Pacífico, subduce la placa de Cocos con la placa Norteamericana, lo cual produce gran sismicidad. Sin embargo, aún en esta área hay partes más activas que otras, debido a que la placa de Cocos se encuentra fracturada en bloques, de los cuales los más activos son los bloques de Guerrero y Tehuantepec, ubicados en el estado de Oaxaca, y que producen una gran cantidad de sismos.

La periodicidad de ocurrencia de sismos con determinada magnitud en una zona, define la amenaza sísmica de la misma. Estudiar el fenómeno depende en gran medida de la densidad y cobertura adecuada de una red de instrumentación instalada para el registro. Los catálogos de sismos históricos pre-instrumentales e instrumentales permiten conocer las zonas activas en los últimos siglos y con ello realizar escenarios de donde se podrían presentar los epicentros con determinadas magnitudes. Mientras que una propuesta del mapa de regiones fisiográficas, localiza los límites por las zonas por geología y forma, encontrando de manera sencilla los lugares de mayor fragilidad físico-geológica en las que se encuentran las poblaciones. Lo anterior permite conocer la amenaza en una región y tomar medidas para atenuar las afectaciones, sobre todo en las construcciones, pues si bien las ondas sísmicas se dispersan a

gran velocidad, cambian su comportamiento de acuerdo a la materia rocosa, afectando a las poblaciones que se encuentran en las estructuras fisiográficas más frágiles.

Con la finalidad de realizar un análisis más profundo de la dinámica y el impacto de los sismos, la escritura de esta tesis consta de seis capítulos que a continuación se describen brevemente.

En el capítulo uno se exponen las bases teóricas del trabajo: ¿Qué se desea resolver en la investigación?, ¿Para qué sirve el estudio? ¿Cómo se llevó a cabo? y ¿Hasta dónde se amplía el tema? También se integran los trabajos previos y se discuten aspectos conceptuales básicos relativos al fenómeno sísmico y las características físicas del estado, con el fin de facilitar la comprensión de la investigación que se expone, pensando tanto en los profesionales familiarizados con el tema, así como en el resto de la población.

El segundo capítulo describe las principales características físicas de Oaxaca con la finalidad de que el lector entienda de manera general la situación actual del área de estudio. Se describen a grandes rasgos su ubicación, fisiografía, geología, hidrografía, clima y suelos. Los subtemas descritos se acompañan de mapas, tablas e imágenes que ayudan a dar mayor idea de las características físicas.

El capítulo tres, se desglosa la actividad sísmica como una amenaza. En él, se explica la situación sísmica de Oaxaca dentro del marco mundial, nacional y local, señalando las condiciones que influyen a distintas escalas. También tabula el registro histórico del fenómeno, la instrumentación con la que cuenta el estado, modelación de sismicidad por medio de la estimación de parámetros de movimiento fuerte con parámetros de amplitud, y los escenarios sísmicos a diferentes magnitudes donde se incluye un análisis de cada escenario.

En el cuarto se vierte una opinión acerca de la carta fisiográfica del INEGI; así como una propuesta con su análisis. Se explica cómo puede servir esta rama de la geografía para hacer un análisis de la amenaza sísmica en el estado.

El quinto capítulo, hace hincapié en la importancia del conocimiento fisiográfico en el estudio de la sismicidad, analiza la información del capítulo tres y cuatro relacionando su contenido para dar una vinculación a la amenaza que ofrece el fenómeno de los sismos.

El estudio finaliza con el capítulo seis, corresponde a las conclusiones y algunas recomendaciones para estudiar la amenaza sísmica. En el se incluye una síntesis de los resultados alcanzados en los capítulos previos. Adicionalmente se discuten las carencias y desafíos que enfrenta la población Oaxaqueña para responder de forma más adecuada a los eventos sísmicos, cuyos efectos negativos se hacen sentir en las zonas más pobladas.

1.1 ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

En México, antes del siglo XX no hubo grandes avances en esta materia, y no fue hasta principios del siglo, cuando el Servicio Sismológico Nacional (SSN) se ocupa del registro sísmico del país. Pero lo que realmente impactó el desarrollo de este tipo de conocimientos fue el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 1985, cuando el gobierno mexicano y la comunidad científica se percataron de la necesidad de contar con mejor equipo científico y tecnológico para estudiar los eventos sísmicos y los aspectos técnicos más relevantes para la prevención de los desastres; a partir de entonces, surge el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), el cual realizó una serie de estudios en los que se tomaron en cuenta los trabajos realizados por el SSN. Uno de los logros más importantes fue identificar el grado de riesgo sísmico tomando como base la magnitud de daños; en él, se clasificó a la República Mexicana en cuatro zonas con sus categorías; "A" (nulo riesgo) "B" (bajo riesgo), "C" (riesgo medio) y "D" (alto riesgo), ésta última es la de mayor peligro, y Oaxaca presenta regiones clasificadas con dicha categoría. Esta entidad federativa es la segunda en la que se han registrado los sismos de mayor magnitud y que han dejado como saldo el mayor número de decesos.

Singh K. y Ordaz M. (1990) analizaron las causas posibles de la saturación aparente de la aceleración máxima, concluyendo que se debe al tamaño finito de la fuente sísmica y proponen el modelo paramétrico Fourier, con ciertas limitaciones pero funcional, para predecir las características del movimiento del terreno originado por temblores de subducción en las costas del Pacífico.

Conforme a lo anterior, la Unidad Estatal de Protección Civil de Oaxaca (UEPCO) realizó en el año 2000 un trabajo en el que recopiló información de la tectónica a nivel mundial, nacional, y estatal. A nivel estatal hizo una cronología sísmica de los últimos 10 años, así como del monitoreo e instrumentación para su medición. También explicó las estrategias de contingencia, la normatividad y recomendaciones para mitigar los daños.

En el 2001, el CENAPRED realizó un estudio donde resume las características sismológicas del evento y se describen las observaciones de los daños estructurales y las pérdidas derivadas del sismo de 7.5° Richter (R). del 30 de septiembre de 1999.

Pacheco y colaboradores (2002) hicieron un reporte de los 799 sismos ocurridos durante el semestre enero - junio de ese año, con una inversión del momento sísmico utilizando registros nacionales y mecanismos focales obtenidos por la Universidad de Harvard.

Pacheco y colaboradores (2003) hicieron un reporte de los 797 sismos ocurridos durante el semestre enero – junio de ese año, concentrados principalmente a lo largo de la costa del Pacífico, con poca sismicidad en el interior del continente.

El Atlas de Riesgo de Oaxaca (2003) fue el primer intento por cartografiar los fenómenos que representan una amenaza para la población oaxaqueña. Este trabajo es muy parecido al de la UEPCO, pues también realiza el análisis tectónico, cronológico y cartográfico de los sismos de mayor intensidad en el estado. Sin embargo en ninguno de los anteriores se realizó análisis o estimación de la amenaza sísmica.

Arango Guevara (2004) analizó la sismicidad tectónica en Colombia y México, con un total de 3603 sismos entre los años de 1999 y 2001, concluyendo que no existe ninguna similitud para estos dos países en el tiempo analizado, ya que la sismicidad en México se encuentra muy ligada a las placas de Cocos y Rivera, siendo probable que el umbral inferior este situado alrededor de 3.8°R. Este límite es variable de acuerdo a la medida que decrece la magnitud de los sismos registrados.

También, Pacheco y colaboradores (2004), hicieron un reporte de los 661 sismos ocurridos durante el semestre enero – junio de ese año, concentrados principalmente a lo largo de la costa del Pacífico, con sismicidad en el interior del continente.

En la actualización del Atlas de Riesgo (2010), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Empresa de Riesgos Naturales (ERN) con base en datos teóricos y cronológicos plantean escenarios de temblores intraplaca y de subducción, que ligándolos con la información de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB's) del INEGI estiman el riesgo sísmico.

1.2 IMPORTANCIA DEL TEMA

Esta tesis, más que aplicar una metodología hecha por otros autores, se propone una nueva forma de analizar un fenómeno desde la fisiografía, rama de la Geografía Física ya olvidada por los estudiosos de esta ciencia, pero que es de gran aporte por sus descripciones precisas del relieve. Para ello, se realiza una clasificación fisiográfica diferente a la del INEGI, pues en ésta, se le da más peso a lo biológico olvidándose de la geología, la cual servirá en este caso para la cartografía fisiográfica como base para estudiar a los sismos.

En el ámbito académico aquel estudiante o académico que consulte este trabajo se llevará de manera general conocimientos sobre la sismicidad y la percepción de este fenómeno como una amenaza en el estado de Oaxaca, así mismo, puede ser utilizado como apoyo en trabajos y explicaciones de los temas mencionados.

Los resultados serán entregados al gobierno del estado de Oaxaca, para que sus entidades competentes puedan tomar esta tesis como referencia para la toma de decisiones preventivas a fin de resguardar la integridad de las personas, bienes materiales y el medio ambiente. Igualmente se dejará un ejemplar en instituciones donde estará accesible al público que deseé consultarla.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por su localización geográfica y dinámica interna, Oaxaca está expuesto al impacto de fenómenos sísmicos que ocasionan pérdidas humanas y transformaciones socioeconómicas. Dichas transformaciones se observan en el espacio teniendo la posibilidad de que sean cartografiadas digitalmente; precisamente es ahí, en las tecnologías asociadas a la información geoespacial, donde se generan datos para estudios como el presente trabajo, el cual depende de la creación de mapas y modelaciones sísmicas para definir la amenaza. Sin embargo, estimar la amenaza sísmica en el estado de Oaxaca no es fácil, mucho menos dar un análisis general, ya que las características geológicas, tectónicas y geográficas son demasiado complejas y no se cuenta con los medios de información necesarios para la obtención de los datos esenciales en el análisis; esto tiene como resultado una falta de bases para la prevención del riesgo, aumentando así, su vulnerabilidad ante una amenaza inminente como lo es un sismo.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar fisiográficamente al estado de Oaxaca para el estudio de la amenaza sísmica.

Objetivos Particulares

- ❖ Caracterizar el área de estudio.
- ❖ Describir la situación sísmica de Oaxaca con sus condiciones en el marco tectónico global.
- ❖ Proponer y aplicar una nueva clasificación fisiográfica al Estado de Oaxaca.
- ❖ Relacionar las características fisiográficas con la amenaza sísmica.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

La tesis pretende desarrollar un análisis fisiográfico relacionado con la amenaza sísmica en el estado de Oaxaca. En él se busca conocer los sitios con mayor fragilidad sísmica como base para estudios que sirvan para determinar los grados de afectación a las poblaciones dentro de la entidad. De acuerdo a los escenarios sísmicos y la propuesta de una carta fisiográfica, este trabajo permite comprender de una manera más fácil las condiciones físico-geológicas del lugar, y así ser base de trabajos que mitiguen y prevengan el daño causado por este fenómeno.

La tesis se limita al fenómeno sísmico en Oaxaca, ya que es un tema suficientemente amplio por la localización tectónica de la entidad. En ella se realizan estimaciones de la amenaza de acuerdo a los modelos sísmicos elaborados en el Atlas de Oaxaca 2010.

1.6 METODOLOGÍA

Recopilación

Se realizó la búsqueda de información en diversos documentos relacionados con el área de estudio y tema. Esta actividad se llevó desde el inicio y continuó durante la realización del trabajo. En él se abarcaron artículos de revistas indizadas, como una fuente confiable de los datos e información, periódicos nacionales para extraer información de los sismos ocurridos, y los capítulos de libros fueron utilizados como bases teóricas elementales para la comprensión de definiciones y temas relacionados, que además contaban con ejemplificaciones, las cuales permitieron un mayor entendimiento del fenómeno. También se consultaron atlas y las síntesis geográficas de las cuales se utilizaron las fichas técnicas, mapas e información textual. Es importante mencionar que las fuentes bibliográficas de los documentos encontrados ayudaron a reunir datos valiosos para esta investigación.

Análisis de información

Se seleccionó la información ya recopilada de acuerdo al interés y los objetivos del trabajo. Esta extracción se puede clasificar en dos: la textual e interpretativa cartográfica.

En la textual, la información de los artículos, capítulos y atlas consultados se tomó aquello que se consideraba adecuado al tema, además de que permitió el entendimiento y la formación de ideas. La cartográfica sirvió como base para el mapa fisiográfico que se propone y para el aporte en la estimación de la amenaza sísmica; otra fuente utilizada fueron los Sistemas de Información Geográfica, de los cuales, el ArcGIS se utilizó como herramienta para crear consultas interactivas y análisis de la información espacial con programas como el Google Earth; después se integró una base de datos, la cual fue almacenada y procesada. Adicionalmente, con información del INEGI se integraron nuevos modelos a partir de fenómenos o simulaciones, presentando los resultados de todas estas operaciones geográficamente referenciados.

Trabajo de gabinete

Se requirió del apoyo de especialistas y profesionales, los cuales aportaron puntos de vista, conocimientos y críticas constructivas.

La cartografía e información recopilada fue utilizada como base en la elaboración de:

- ❖ Tablas elaboradas en Excel, cuyos datos sirvieron para la cartografía y el análisis de esta.
- ❖ Cartografía, en base a shapes (clima, hidrología, uso de suelo, fisiografía y geología) del INEGI se elaboró el mapa fisiográfico de Oaxaca que permitiese entender los temas.
- ❖ Escritura del trabajo. Se llevó a cabo en conjunto con los apartados anteriores.

1.7 MARCO CONCEPTUAL

Amenaza o Peligro

Es la probabilidad de que un fenómeno de origen natural o humano se produzca en un determinado tiempo y espacio, ocasionando por la exposición al fenómeno daños a bienes materiales y pérdidas de vidas humanas (Monroy, 2009).

Amenaza Sísmica

La amenaza sísmica podría expresarse en términos del valor de la probabilidad durante un lapso en la que se pueda presentar un terremoto que genere una aceleración pico del suelo. El valor de la amenaza, es el valor de la probabilidad, es decir, un valor que puede estar entre cero y uno. En términos probabilísticos un valor cercano a uno significaría que existe casi la certeza o una alta posibilidad de que durante el tiempo de exposición definido se presente un evento que genere una aceleración en ese sector de la ciudad igual o superior a la aceleración de referencia; y por el contrario, si el valor se llegara acercar a cero, su interpretación sería que es muy poco posible que se presente un terremoto que genere en ese sector de la ciudad una aceleración de esa intensidad durante el período de exposición antes mencionado (Maskrey, 1993).

Fisiografía

La fisiografía está definida como la descripción de la naturaleza a partir del estudio del relieve y la litosfera, en conjunto con el estudio de la hidrosfera, atmósfera y biosfera. (Villota, 1989).

Geoforma

Una geoforma es un cuerpo tridimensional, tiene elementos que integran el relieve como forma, tamaño, volumen y topografía. El primer paso para identificarlas es su topografía, vegetación, uso de suelo, roca y textura. Como geoforma las rocas integran lechos rocosos, deltas, abanicos, terrazas y llanuras de inundación (Escobar, 2003).

Riesgo

Cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, y que ésta sea vulnerable a ese fenómeno (Monroy, 2009). De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación (UNESCO, 2009) el riesgo total (R) se define como la función del número de elementos o víctimas y pérdidas económicas provocadas por un desastre natural. Se puede expresar como:

$$R = P + V + V^1$$

Riesgo (Probabilidad) = Peligro (probabilidad) * Valor (Vidas humanas, elementos económicos) * Vulnerabilidad¹ (porcentaje que puede ser perdido).

Riesgo sísmico

Se llama riesgo sísmico a la probabilidad de ocurrencia, dentro de un plazo dado, de un sismo que cause en un lugar determinado cierto efecto definido como pérdidas o daños determinados (Arellano, 2006).

Se entiende bajo la fórmula:

Riesgo sísmico = Sismo destructor * Vulnerabilidad sísmica

El riesgo sísmico depende fuertemente de la cantidad y tipo de asentamientos humanos localizados en el lugar. Aunque el peligro potencial sísmico sea muy alto, el riesgo sísmico es pequeño si la región tiene relativamente pocos habitantes; por otro lado, si en otra zona el potencial sísmico no es tan grande pero la cantidad de personas que viven allí es alta, la cercanía a la amenaza y el tipo de construcción, hacen que el riesgo sísmico sea muy grande; esto es claro al comparar el número de víctimas para uno y otro lugar (Arellano, 2006).

Sismo

Se denominan sismos a los movimientos de la corteza terrestre provocados por causas naturales. Los temblores a menudo van acompañados de ruido subterráneo, de oscilaciones del terreno en forma de onda, de la formación de fracturas, destrucciones catastróficas de

edificios y carreteras (Fig. 1.1). Según los cálculos de Gutenberg y Richter, conocidos sismólogos norteamericanos, “por término medio al año se producen un terremoto catastrófico, unos cien sismos de posible fuerza destructora y casi un millón de sismos que se sienten en lugares poblados” (Vasiliev, 1981).

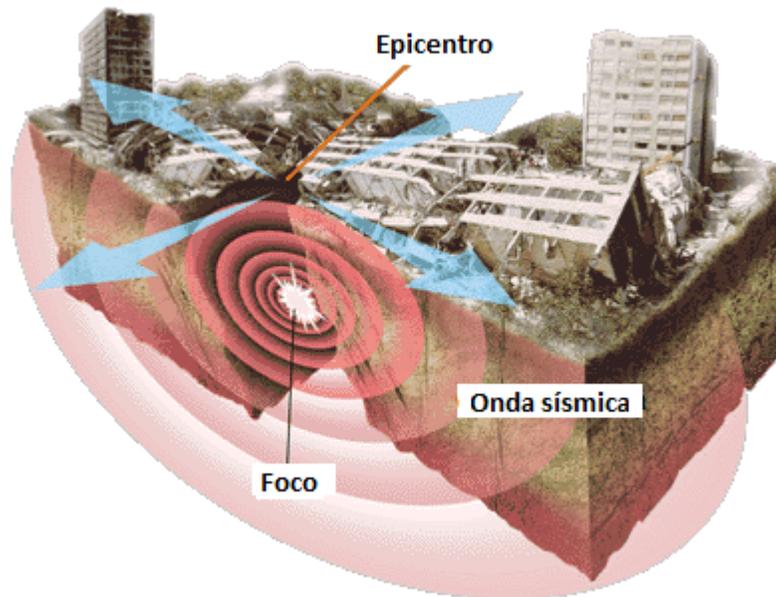


Fig. 1.1. El momento de un sismo. Fuente:Blogspot.,2010.

Sismo Interplaca

Si el sismo ocurre en las zonas de contacto de las placas tectónicas, se le denomina Sismo de Interplaca. Suelen producirse en zonas donde la concentración de esfuerzos generados en los límites de las placas tectónicas, da lugar a movimientos de reajuste en el interior y en la superficie de la Tierra. Su influencia puede alcanzar desde pequeñas hasta grandes regiones, pero su hipocentro suele encontrarse localizado a profundidades mayores de 20 km, a veces más de 70 kilómetros. Se caracterizan por tener una magnitud alta (>7), y una gran liberación de energía (Ramos, 2010).

Sismo Intraplaca.

Su origen se da dentro de las placas tectónicas, en las denominadas fallas locales o geológicas. Se caracterizan por tener magnitudes pequeñas o moderadas, y porque su hipocentro es más superficial (> 20 km). Debido a su proceso de enfriamiento, las capas más externas de la Tierra son quebradizas o de comportamiento frágil y frente a las fuerzas tectónicas responden mediante fracturamiento. Las fallas son fracturas en cizalla (corte) en las cuales el deslizamiento ocurre en superficie de la fractura. Este deslizamiento es resistido por la fricción debido a que las paredes de la falla se encuentran soldadas una contra la otra como resultado del esfuerzo compresivo que existe al interior de la Tierra a profundidades mayores que 1 a 2 Km. (Ramos, 2010).

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para comenzar el estudio, es necesario conocer la situación física del estado de Oaxaca. De acuerdo al INEGI (2004) se describen sus características.

2.1 SITUACIÓN, EXTENSIÓN Y LÍMITES

El estado de Oaxaca se localiza en la porción sureste de la República Mexicana, ente los 15°39' y 18°42' de latitud norte, y los 93° 52' y 98°32' de longitud oeste (Fig. 2.1). Limita al norte con Puebla y Veracruz, al sur con el océano Pacífico, al este con Chiapas y al oeste con el estado de Guerrero. Se encuentra a una altitud que varía del nivel del mar, hasta los 3,750 msnm. Con una superficie de 95,364 km², su extensión territorial representa el 4.8% con relación a la superficie del país.

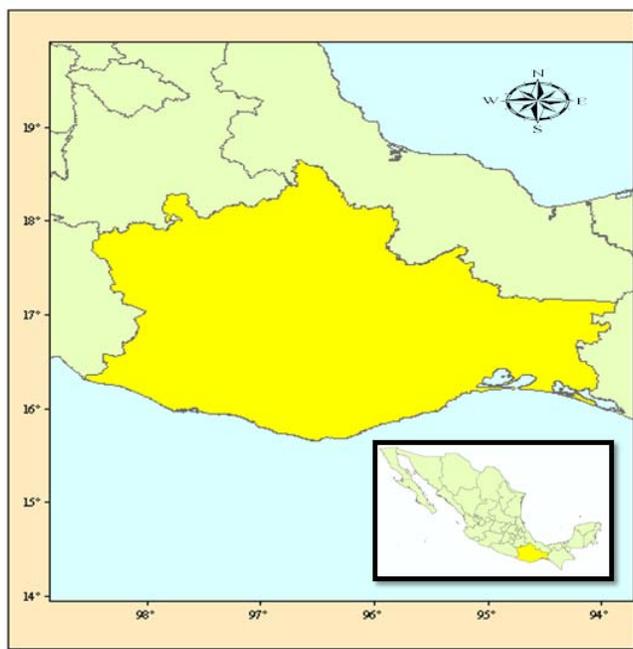


Fig. 2.1. Ubicación del Estado de Oaxaca. Fuente: base INEGI

LOCALIZACIÓN DE OAXACA



Fig. 2.2. Localización del estado de Oaxaca. Fuente: INEGI

DIVISIÓN DISTRITAL DE OAXACA

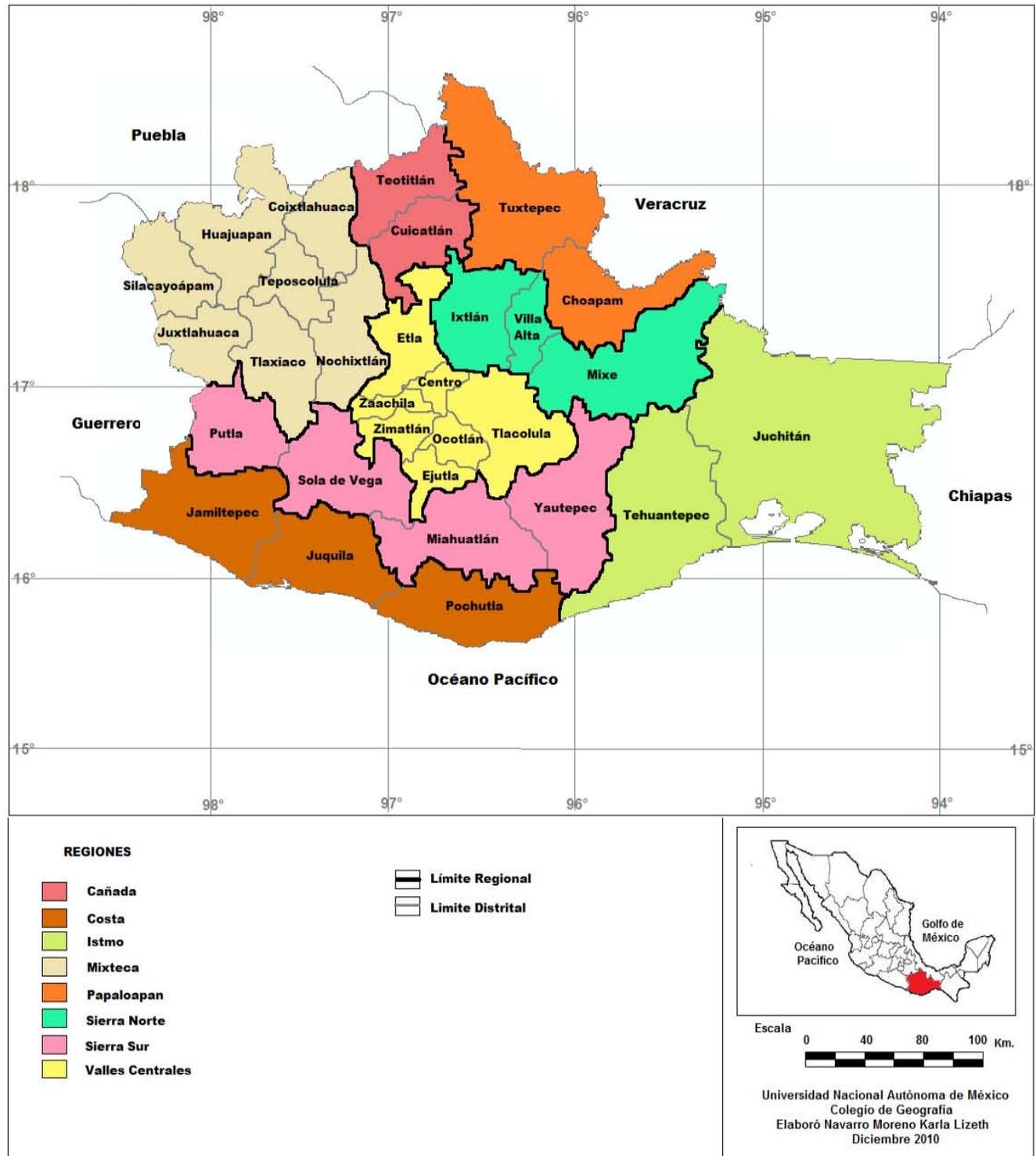


Fig. 2.3. División distrital de Oaxaca. Fuente: INEGI

2.2 FISIOGRAFÍA

INEGI tiene clasificada las provincias fisiográficas de la siguiente manera.

Provincia de la Sierra Madre del Sur

La Sierra Madre del Sur comprende 79.82% del territorio estatal. Se extiende más o menos paralela a la costa del Océano Pacífico (Fig. 2.4), está relacionada con la colisión de la placa de Cocos la cual emerge a la superficie en el fondo del Pacífico desplazándose 2 o 3 cm. por año para encontrarse con una zona de subducción, donde se hunde hacia la Astenosfera debajo de la placa Norteamericana. A esto se debe la fuerte sismicidad que se produce en la región, en particular sobre las costas guerrerenses y oaxaqueñas, donde el bloque de Acapulco es uno de los más activos. Esta relación es la que seguramente ha determinado que algunos de los principales ejes estructurales tengan orientación este-oeste. Es una región de complejidad litológica extrema, en la que dominan las rocas intrusivas, especialmente los granitos y las metamórficas.



Fig. 2.4. Costa donde se observa la Sierra Madre del Sur, Oax. Fuente: Oancunwonders, 2008

Provincia Cordillera Centroamericana

Esta provincia inicia en el Istmo de Tehuantepec y se extiende en dirección sureste hacia la república de Nicaragua atravesando los territorios de Guatemala, Honduras y el Salvador. Es otro gran batolito ígneo emergido sobre el sitio de subducción de la placa de Cocos. Abarca en

Oaxaca 12. 0% de la superficie estatal, a través de partes de la subprovincia Sierra del Sur de Chiapas y de la Discontinuidad Llanura del Istmo.

Sierra Sur de Chiapas. Esta subprovincia forma parte de la zona conocida como Sierra Atravesada; en territorio oaxaqueño comprende el distrito de Juchitán. El único sistema de topoformas es el de sierra alta de cumbres escarpadas.

Discontinuidad Llanura del Istmo. La discontinuidad inicia unos cuantos kilómetros al oeste de Santo Domingo Tehuantepec Oaxaca extendiéndose hasta Tonalá Chiapas. El origen de esta llanura costera se relaciona tanto con depósitos de materiales del Pleistoceno al reciente, provenientes de sierras cercanas, como por proceso de subsidencia de la zona.

Provincia Llanura Costera del Golfo Sur

Dentro de Oaxaca la provincia abarca el 7.21% de la superficie estatal, por medio de fracciones de la subprovincia Llanura Costera Veracruzana, en la parte de los distritos de Tuxtepec, Choapam, Mixe, Juchitán y Tehuantepec. Los sistemas de topoformas que integran esta zona son la llanura aluvial con lomeríos, localizándose desde la población Chivela a Santa María Petapa, la Esmeralda y los Ángeles; en el norte desde Vicente Camalote a San Juan Bautista, Tuxtepec, Loma Bonita y el oeste de San José Rio Manso, así como los terrenos que rodean al río Uxpanapa. La llanura aluvial costera inundable, son dos partes pequeñas del extremo suroeste de la llanura del río Papaloapan, en un tramo de sus afluentes el Obispo y Coapan, cerca de Loma Bonita; y el lomerío, al este de Cosolapa y de San José Rio Manso a Santa María Puxmetacan, Revolución y al norte de La Libertad.

Provincia Eje Neovolcánico

Se le puede caracterizar como una enorme masa de rocas volcánicas de todos los tipos, acumulada en innumerables episodios volcánicos iniciados a mediados del Terciario (20 millones de años atrás) y continuados hasta el presente. La provincia en Oaxaca abarca el 0.76% de la superficie estatal a través de pequeñas fracciones de la subprovincia Sur de Puebla, que forman el extremo sureste del Eje Neovolcánico, comprendiendo las partes del extremo noroeste oaxaqueño, pertenecientes al distrito de Huajuapán. En esta zona

principalmente hay rocas metamórficas del Precámbrico y sedimentarias del Terciario; los sistemas de topofomas que se presentan son sierra compleja, que se localiza en los alrededores de Santiago Chazumba a Cosoltepec, San Pedro y San Pablo Tequixtepec, en San José Ayuquila al oeste de Santiago Miltepec; sierra volcánica de laderas escarpadas, en las cercanías de la población Rio Limón; y llanura de piso rocoso al norte de Santiago Chazumba.

Provincia Sierras de Chiapas y Guatemala

Las sierras que integran esta región están constituidas de rocas sedimentarias marinas del Mesozoico, abundando las calizas. Son sierras plegadas con los ejes estructurales orientados en general este-oeste, afectadas por fallas en ese sentido. En la entidad la provincia está representada por una fracción pequeña (0.21%) de la subprovincia Sierra Norte de Chiapas. En Oaxaca se localiza en el extremo suroeste de esta subregión, en el noroeste del distrito de Juchitán, área que está clasificada como sierra alta escarpada compleja, conocida localmente como sierra Espinazo del Diablo (Fig. 2.5). Dominan las calizas, aunque también hay diversos tipos de aluviones antiguos en las sierras cuyas cumbres más elevadas quedan entre los 1,000 y 2,000 msnm.



Fig. 2.5. Sierra Espinazo del Diablo, Oax. Fuente: Viajes, 2010

RELIEVE DE OAXACA

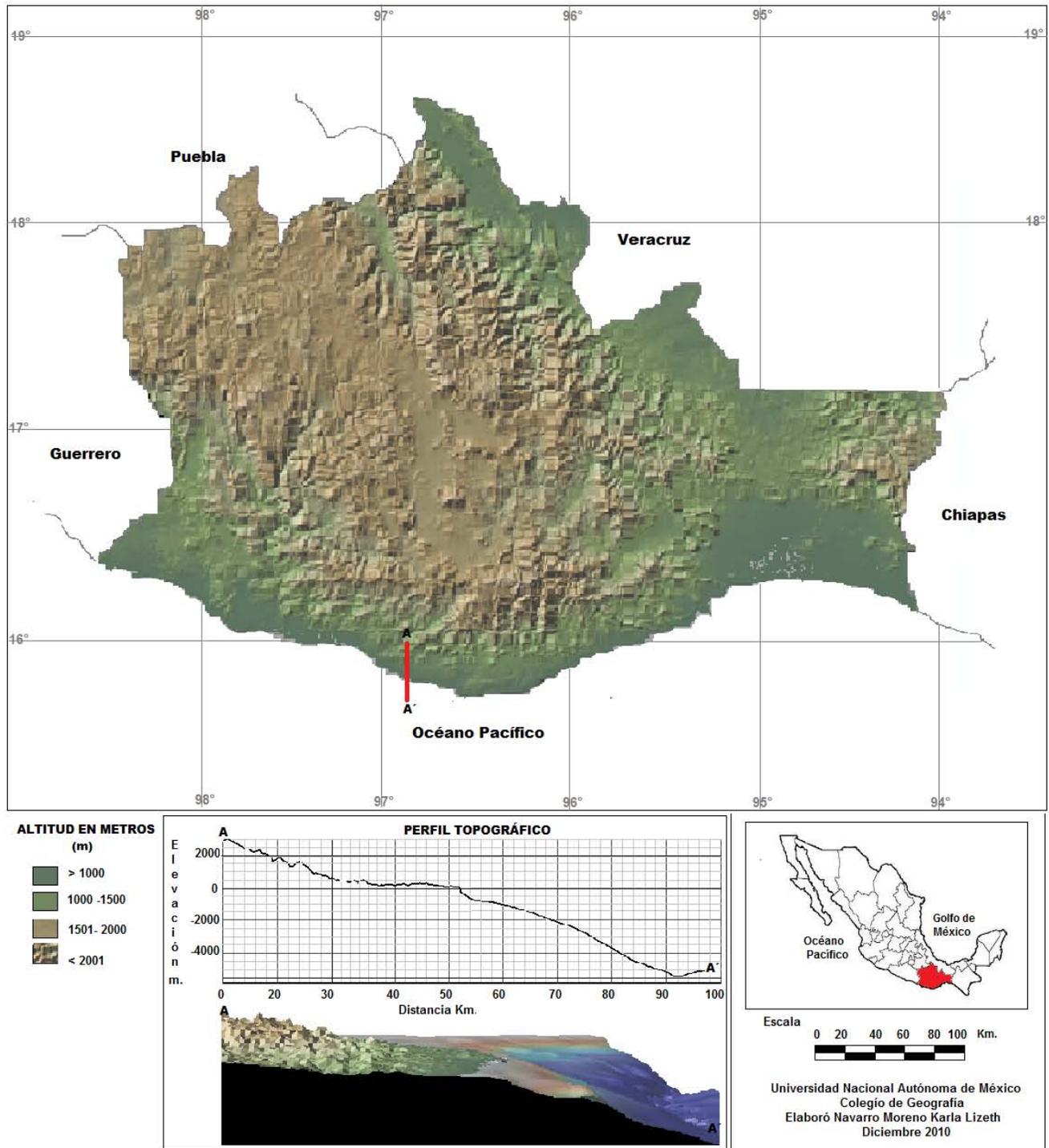


Fig. 2.6. Relieve de Oaxaca. Fuente: GeoMapApp

FISIOGRAFÍA DE OAXACA

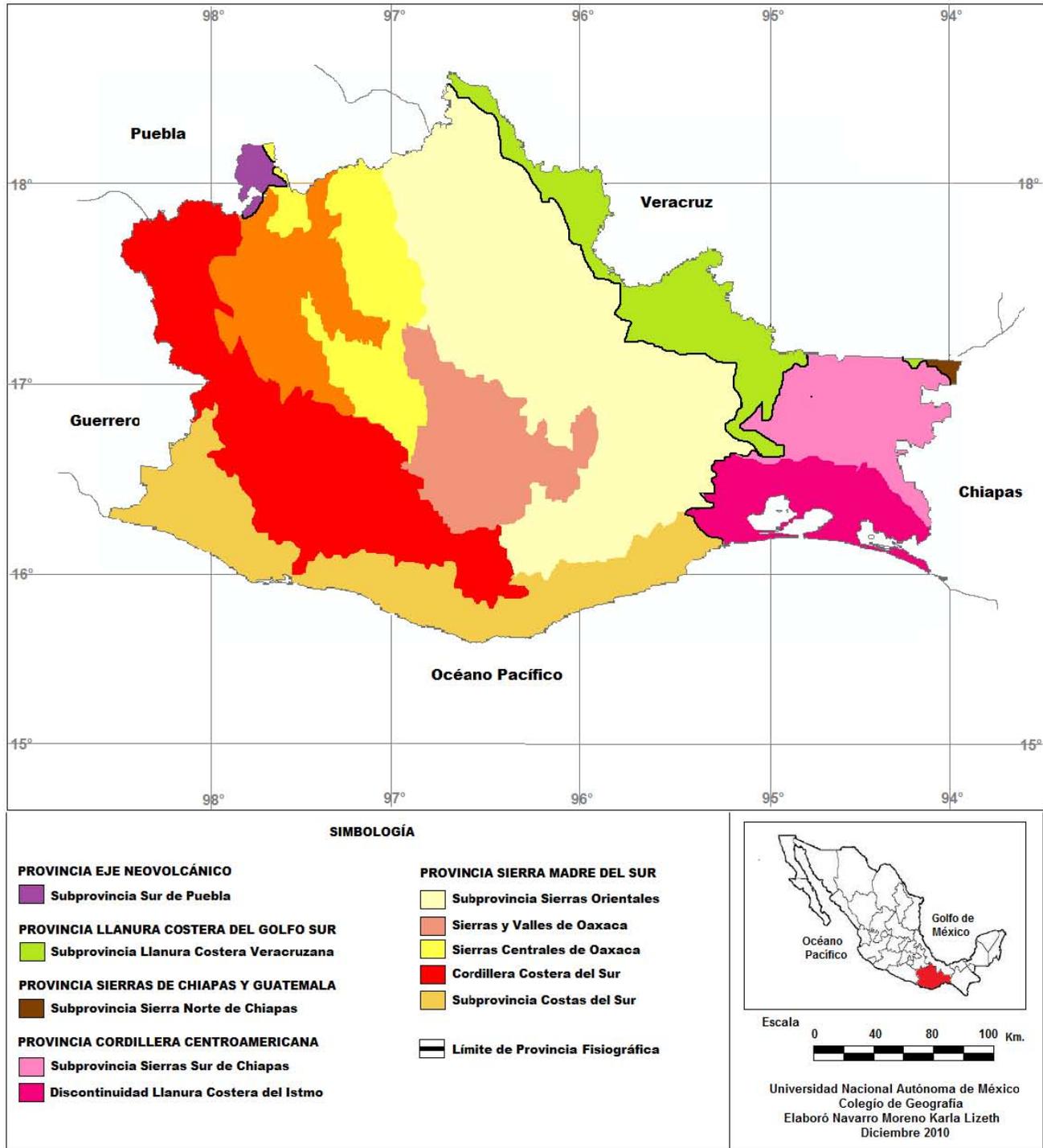


Fig. 2.7. Fisiografía de Oaxaca. Fuente: INEGI

2.3 CLIMA

El territorio de Oaxaca se encuentra situado en la porción media de la zona intertropical más cercana a la faja ecuatorial; ahí las temperaturas en general son altas, ya que los rayos solares llegan a la superficie con un ángulo de inclinación mayor al de las demás áreas del planeta e inciden de manera vertical dos veces al año. Esta condición de temperaturas altas se ve modificada por la altitud, produciendo climas muy diferentes.

Climas Cálidos

Los climas cálidos se producen a lo largo de la costa del Pacífico, del nivel del mar a cerca de los 1,600-1,700 m. Abarcan 46.75% del territorio de Oaxaca; los caracterizan temperaturas medias anuales de 22 a 30 °C, y temperaturas medias mensuales en meses más fríos por arriba de los 18 °C; la precipitación anual varía entre los 700 y 5,000 mm. Lo encontramos en toda la franja costera, en el Istmo de Tehuantepec, a lo largo del límite con Veracruz y al oeste de Chiapas, en los valles de los ríos Verde y sus afluentes el Cuanana, Granada, Quiechepa y Salado, en algunos cañones del oeste-noeste, así como en la depresión del Balsas al noroeste, entre otros. La cercanía del Océano Pacífico a la zona sur de Oaxaca modera en ella la alta temperatura, disminuyendo la variación diaria y anual; así, la oscilación térmica media anual es baja (menor de 5°C). Por el noroeste, la influencia del Golfo de México, más distante del territorio Oaxaqueño que el Pacífico, también se manifiesta con una oscilación térmica media anual entre los 5 y 7 °C.

Climas Semicálidos

Se producen en el 22.36% del territorio de Oaxaca, en zonas cuya altitud varía de 1,000 a 2,000 m, colindando con las áreas de clima cálido, tal como ocurre en la proximidad de los Valles Centrales de Oaxaca y el noroeste de la entidad.

Climas Templados

Se producen en terrenos con altitud de 1,700 m o más y se localizan en su mayor parte en el poniente del estado, ya que al oriente son menos las áreas con esa altitud. Alcanzan en

conjunto 19.56% de la superficie de la entidad. La temperatura media anual que los caracteriza varía entre los 12 y 18 °C, la temperatura del mes más frío es de -3 °C y la precipitación total anual alcanza los 500 a 3,000 mm. A la disminución de la temperatura por la altitud, se suma el relieve montañoso que aumenta la superficie de la radiación y por esto la pérdida de calor se presenta en las subprovincia Mixteca Alta y Sierra Costera del Sur, en tierras elevadas como las de los cerros Nube y Quiexobee, que apenas representan el 0.5%, se reportan temperaturas entre los 12 y 8 °C.

Climas Semisecos

Este tipo de clima tiene la característica de que la evaporación excede a la precipitación. La temperatura anual de estos climas en Oaxaca va a ser de 12 a 22 °C, la precipitación total varía entre 400 y 800 mm.

Climas Secos

En ellos también la evaporación excede a la precipitación. Se distribuyen a lo largo de los valles de los ríos Salado y Quiexchapa (Fig. 2.8), en terrenos alrededor de los 1,000 msnm. La temperatura media anual que los define va de 18^a más de 22 °C y la precipitación anual fluctúa entre los 300 y 600 mm.

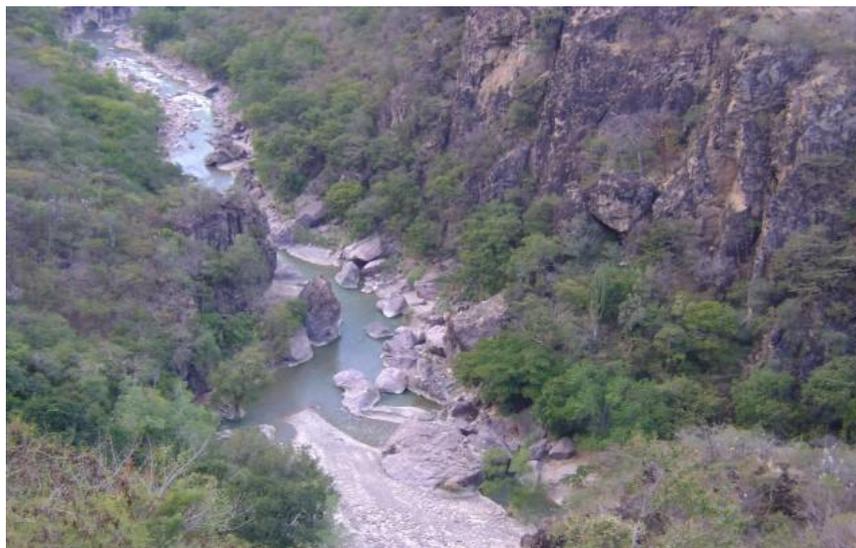


Fig. 2.8. Río Quiexchapa, Oaxaca. Fuente: Cancunwonders, 2008

CLIMAS DE OAXACA

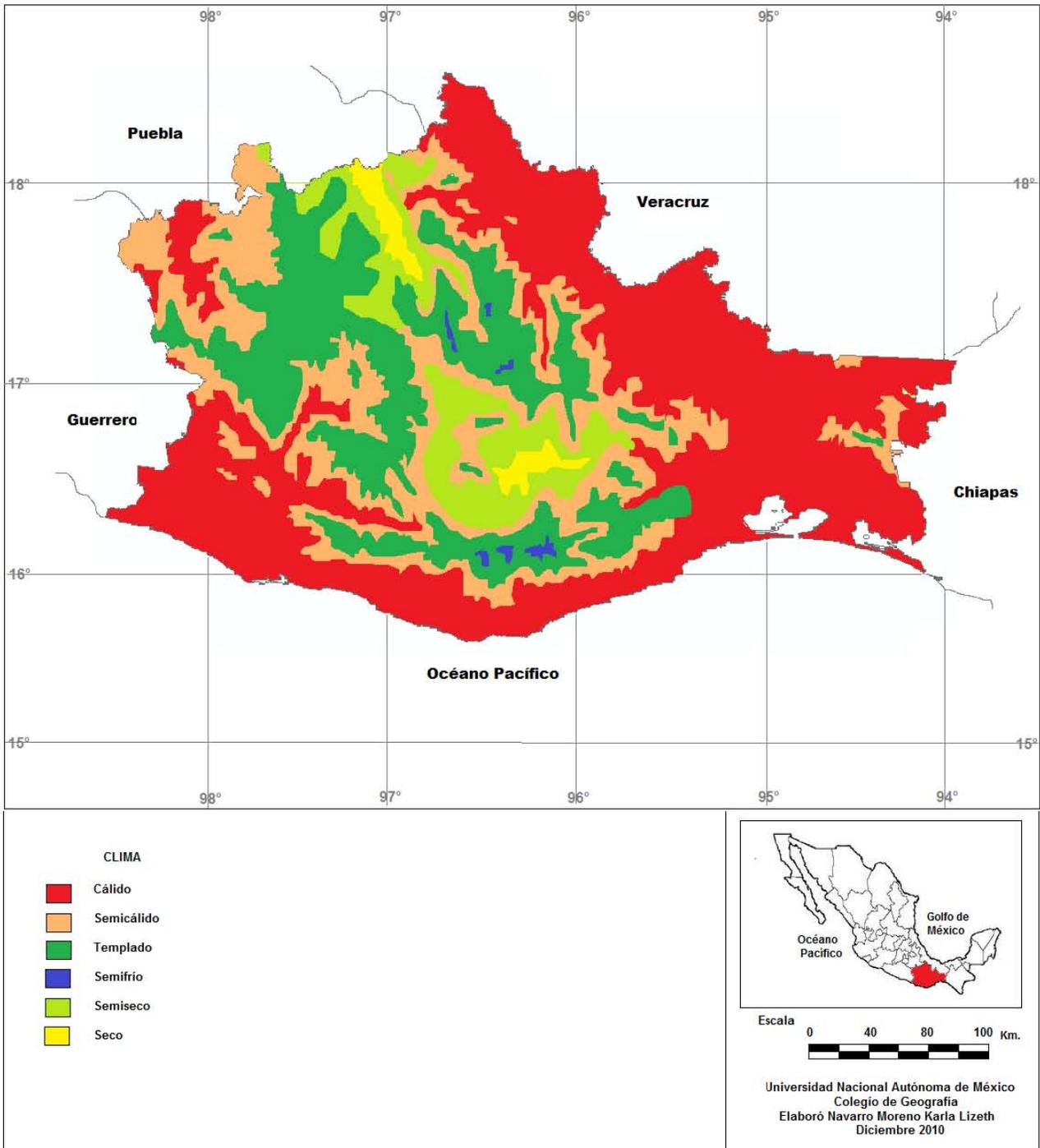


Fig. 2.9. Climas en Oaxaca. Fuente: INEGI

2.4 HIDROLOGÍA

Las sierras Mazateca y Juárez localizadas en la porción norte del estado, forman una extensa barrera orográfica que detiene y capta la mayor parte de la humedad que traen consigo los vientos del norte procedentes del Golfo de México; esta situación provoca que en barreras de barlovento se registren altos valores de precipitación. En cuanto a la temporalidad, la lluvia ocurre en periodos prolongados a lo largo de casi todo el año. Una situación similar ocurre en la porción baja del estado, sólo que aquí es en la ladera sur de la Sierra Madre del Sur, cuya extensa fisiografía obstaculiza el paso de los vientos húmedos procedentes del Pacífico. Los efectos de esta situación son abundantes lluvias para la ladera sur de dicha sierra, situación que se refleja en los altos valores de las isoyetas, mientras que estas dos barreras naturales, así como los vientos dominantes, son determinantes para que en los Valles Centrales y las Cañadas se registren los valores pluviométricos más bajos. En el estado el total del volumen virgen escurrido se estima en 63,719 millones de m^3 ; a este volumen hay que sumar 1,568 Mm^3 que ingresan de las cuencas de los ríos Salado y Tonto, provenientes del estado de Puebla siendo el total de 65,287 Mm^3 ; el área de captación se estima 34,987 km^2 .

La sierras Mazateca, Juárez y Atravesada, localizadas en la porción norte del estado, forman una franja orientada noroeste sureste, casi alineada paralelamente a la costa del Golfo de México, con la llanura aluvial costera de por medio, la cadena montañosa funciona como parteaguas a los escurrimientos superficiales, y a partir de las partes más elevadas de estas sierras, la red hidrológica se separa en dos vertientes importantes, la norte, que descarga sus escurrimientos al Golfo de México, y la sur, que lo hace hacia el Océano Pacífico.

En la primera nacen los ríos más caudalosos del estado hasta internarse dentro del estado de Veracruz, vaciando 20,386 Mm^3 de agua (32% del total) al Golfo. La parte medular de drenaje es el régimen perenne, los tributarios menores presentan régimen intermitente y forman una red de drenaje dendrítico que se desarrolla en terrenos de fuerte pendiente; esta vertiente comprende parte de las regiones hidrológicas Papaloapan, Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta.

La vertiente sur está integrada por una complicada red hidrográfica, generalmente del tipo detrítico, que en ocasiones cambia a enrejado; los ríos más importantes son de menor envergadura en relación con los que desembocan hacia el Golfo de México. La red tributaria en su mayoría es un régimen intermitente de poco caudal y de tipo torrencial; esta vertiente incluye completa las regiones hidrológicas de la Costa de Oaxaca y Tehuantepec y parte de la del Balsas, Costa Chica-Rio Verde y Costa de Chiapas. A continuación se describen dichas regiones y las cuencas respectivas.

Región hidrológica Papaloapan (RH28)

Esta región hidrológica pertenece a la vertiente del Golfo de México, se localiza en la porción norte de Oaxaca, correspondiendo al estado la parte de la cuenca del Río Papaloapan, y contiene el 24.37% de la superficie estatal, incluyendo parte de las regiones Cañada, Sierra Norte, Papaloapan, Mixteca y Valles Centrales. En aproximadamente el 90% del área predominan sierras con más de 1,000 msnm de altitud con máximos de 3,250 msnm., el resto corresponde a la subprovincia Llanura Costera Veracruzana, extensa planicie aluvial atravesada por lomeríos y sierras calcáreas. En promedio la precipitación total anual alcanza los 2,062 mm., que representa un volumen de 48,968 Mm³. En la zona serrana existe una red compleja hidrográfica generalmente de tipo detrítico y cárstico, en la llanura cambia radicalmente a tipo meándrico; las corrientes que sobresalen son los ríos Tonto, Santo Domingo, Cajonos, Lalana y Puxmetacán.

Región hidrológica Costa Chica-Rio Verde (RH20)

Una extensa área de esta región se encuentra en la porción sureste del estado. Corresponde a terrenos de la ladera meridional de la Sierra Madre del Sur, y es una de las zonas más afectadas directamente por tormentas tropicales y huracanes que se forman en las costas del Océano Pacífico; la precipitación anual en promedio para esta zona se estima de 1,226.9 mm. Esta región se divide en tres cuencas:

Cuenca del Río Atoyac. Se encuentra totalmente dentro de la entidad ocupando el 19.24% del territorio estatal. La red principal de drenaje es de tipo dendrítico, en general con orientación

noroeste-sureste. Las isoyetas registran valores que varían desde 600 hasta 2,500 mm. Los registros más bajos corresponden a la región de los Valles Centrales; la cuenca recibe en promedio 2,241.1 Mm³ de lluvia al año.

Cuenca Rio La Arena. Una porción de esta cuenca se encuentra dentro del estado. Los registros de precipitación varían de 1,200 a 2,000 equivaliendo a 3,400.5 Mm³.

Cuenca Rio Ometepec. Incluye los distritos Jamiltepec, Putla y Juxtlahuaca. Los registros de precipitación anual alcanzan en promedio los 2,000 mm, lo cual significa que recibe un volumen aproximado a los 4,828 Mm³. Destacan los ríos Cortijos y Verde.

Región hidrológica Tehuantepec (RH22)

Esta región está incluida totalmente dentro del estado, drena un área que representa 19.23% del territorio estatal; incluye gran parte dentro del territorio de Tehuantepec y corresponde a la vertiente del Océano Pacífico. Se encuentra dividida en dos cuencas: Lagunas Superior e Inferior y Río Tehuantepec.

Cuenca Laguna Superior e Inferior. Comprende parte de los extremos sureste y sur de la Sierra de Juárez y Atravesada, respectivamente; se extiende a lo largo de la planicie costera del Golfo de Tehuantepec hasta la línea de costa; ocupa un área equivalente al 8.51% del territorio oaxaqueño. En promedio la cuenca recibe precipitación anual del orden de 1,500 mm que equivalen a un volumen de 1,567 Mm³. Sus ríos principales son Los Perros y Chicapa, los cuales desembocan en la Laguna Superior y el Ostuta, que desemboca en Laguna Inferior.

Cuenca Río Tehuantepec. Los valores de precipitación anual son bajos con un promedio de 700 mm equivalente a un volumen de 1,327.45 Mm³. El Río Tehuantepec es el de mayor importancia del estado, del cual uno de sus afluentes es el Río Tequisistlán. Esta cuenca muestra problemas fuertes de contaminación por descargas de aguas residuales industriales.

Región hidrológica Costa de Oaxaca (RH21)

Esta región hidrológica se encuentra completamente dentro del estado de Oaxaca, perteneciente a la vertiente del Océano Pacífico; incluye áreas pertenecientes a los distritos de

Juquila, Pochutla, Miahuatlán Yutepec y Tehuantepec, abarcando el 10.61% de la superficie estatal. Se trata de una región bien definida desde el punto de vista hidrológico, ya que comprende una franja de la costa que abarca desde la desembocadura del río Atoyac-Verde hasta la desembocadura del Río Tehuantepec; como consecuencia de una vertiente directa, presenta vertientes de longitud corta con desarrollo de una red compleja de drenaje tipo dendrítico y en ocasiones subparalelo; la mayor parte está integrada por arroyos de tipo torrencial que bajan de la Sierra Madre del sur; la región hidrológica está formada por las cuencas Río Astata y otros, Río Copalita y otros, Río Colotepec y otros.

Cuenca Río Astata y otros. Incluye parte de los distritos Tehuantepec, Pochutla y Yutepec. La mayor parte de los ríos que se desarrollan son de corta extensión, destacándose los ríos Zimatlán, Ayuta, Astata y las lagunas Blanca, Colorada, Grande y El Rosario.

Cuenca Río Copalita y otros. Esta cuenca comprende 3.96% del área estatal y ocupa parte de los distritos de Pochutla y Miahuatlán; se localiza en el extremo sur del estado, se extiende desde el parteaguas de la Sierra Madre del Sur hasta la línea de costa. Esta cuenca es una de las que con más frecuencia sufren los embates de tormentas tropicales y huracanes. Cuando estos fenómenos se acercan a la línea de costa o entran a tierra firme producen lluvias tropicales a lo largo de la costa oaxaqueña registrando en promedio precipitaciones de 1,700 mm con máximas de 3,000 mm en las partes altas. Con estos datos se estima que se alcanzan volúmenes de precipitación de 7,342.28 Mm³.

Cuenca Río Colotepec y otros. Esta cuenca se localiza en los distritos de Juquila, Pochutla y Miahuatlán. El régimen de lluvias es de verano; en promedio se registran precipitaciones totales anuales del orden de 1,300 mm, que significa un volumen de 4,868.5 Mm³. Destaca el Río Colotepec y el Río Manialtepec, además de las lagunas de Chacahua, Manialtepec, Lagartero y Pastoría.

Región hidrológica Coatzacoalcos (RH29)

La porción norte del Istmo de Tehuantepec comprende parte de esta región hidrológica; en territorio oaxaqueño corresponde a la zona alta de la Cuenca Río Coatzacoalcos abarcando un 10.4% de la porción estatal y drenando hacia el Golfo de México.

Cuenca Río Coatzacoalcos. La orografía de esta cuenca la integran geoformas complejas en la que sobresalen la zona de los Chimalapas, sierras de los Tres Picos y Atravesada. Además de un complejo montañoso, dominan los lomeríos que alternan con reducidos valles que siguen el recorrido de los ríos. Esta cuenca se encuentra entre dos zonas frecuentemente afectada por huracanes; la primera corresponde al Golfo de Tehuantepec reconocida como una importante zona generadora de tormentas tropicales y huracanes; la segunda es la porción suroeste del Golfo de México periódicamente sometido a fuertes vientos y lluvias. En promedio la precipitación total de la cuenca alcanza los 2,090 mm que significan un volumen de 20,711.9 Mm³. El porcentaje de escurrimiento representa 6,292.6 Mm³. Debido al elevado porcentaje de escurrimiento en la cuenca, se genera una red hidrográfica compleja de tipo dendrítico que concluye en los ríos Jalatepec, Sarabia, El Corte y Uxpanapa.

Región hidrológica Balsas (RH18)

En la región Mixteca se ubica parte de esta región hidrológica, la cual cubre una extensión correspondiente al 8.93% del territorio estatal; comprende parte de los distritos Silacayoapan, Huajuapán, Coixtlahuaca, Teposcolula, Tlaxiaco y Juxtlahuaca. La integran dos cuencas, la del Río Atoyac que ocupa la mayor parte de la región dentro del estado y la Río Tlapaneco y se localiza en el extremo oeste de Oaxaca.

Cuenca Río Atoyac. El mayor volumen de lluvias lo recibe durante el verano, la precipitación media anual promedio es de 922 mm representando un volumen de 7,338.3 Mm³. Las principales cuencas que drenan esta cuenca son los ríos Mixteco, Tonalá y otros intermitentes como el Acatlán.

Cuenca Río Tlapaneco. La cuenca ocupa en forma parcial los distritos de Silacayoápan y Juxtlahuaca localizados en el extremo occidental de la entidad, tiene una precipitación anual

promedio de 800 mm recibiendo un total de 1,111 Mm³. Solo tiene dos afluentes permanentes, el resto son tributarios de régimen intermitente.

Región hidrológica Costa de Chiapas (RH23)

Una pequeña porción de esta región hidrológica comprende el extremo sureste de la entidad (1.29%), en la parte de la cuenca del Mar Muerto (Fig. 2.10), el cual vierte sus aguas hacia el Pacífico. Las formas del terreno colindantes corresponden a llanuras aluviales costeras; las geoformas que complementan el resto de la cuenca no alcanzan altitudes mayores a los 1,500 m. La parte alta de la zona corresponde a la Sierra Atravesada y un extremo de la Sierra Soconusco; la Laguna del Mar Muerto se prolonga hacia Chiapas y se alimenta de numerosos ríos que inundan sus terrenos. El promedio de precipitación media anual es de 1,300 mm, que significan un promedio de 1,310.4 Mm³. La corriente más relevante es el Río Tapanatepec.



Fig. 2.10. Mar Muerto, Oaxaca. Fuente: *Travelpod.com*, 2010

Región hidrológica Grijalva- Usumacinta (RH30)

Una pequeña área de esta región hidrológica ocupa el extremo noreste de la región Istmo, con un 0.02% de la entidad, correspondiente a la parte de la Cuenca del río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez. Tiene un promedio de precipitación media anual de 1,500 mm, que representa un volumen de 1,978.5 Mm³. La zona está formada principalmente por montañas bajas con altitudes máximas de 1,000 msnm y valles alargados en dirección del drenaje, las corrientes que sobresalen por su caudal son los ríos Encajado y Cintalapa.

HIDROGRAFÍA DE OAXACA

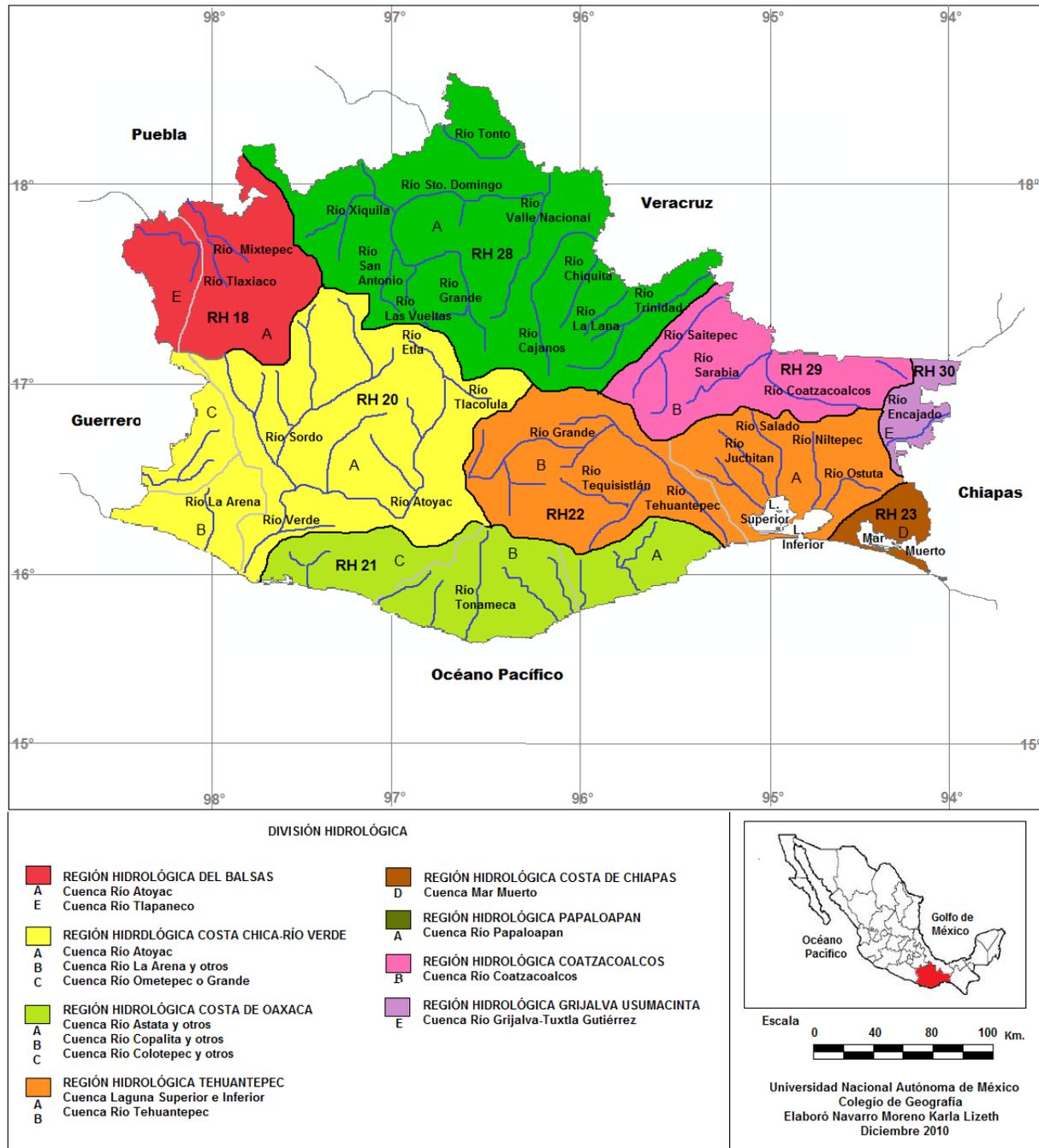


Fig. 2.11. Fisiografía de Oaxaca. Fuente: INEGI

2.4 GEOLOGÍA

El estado de Oaxaca presenta las características geológicas más complejas del país, debido a la serie de eventos tectónicos superpuestos que han ocurrido en su territorio a lo largo del tiempo geológico y que generaron por consecuencia una gran diversidad de unidades litológicas aflorantes.

Desde el Proterozoico, la región fue afectada por eventos que definieron tres procesos geomorfológicos; el más importante originó las montañas de la Sierra Madre del sur, constituida por rocas metamórficas, volcánicas e inclusive sedimentarias; el segundo en importancia consiste en montañas bajas y lomeríos de rocas sedimentarias plegadas por efecto de diversos grados de tectonismo; el tercer elemento geomórfico lo constituye un paisaje volcánico de lomeríos, producto de derrames y material piroclástico. Las sierras altas se caracterizan por riscos, escarpes disectados por profundos cañones y barrancos.

Geología histórica-estructural

En el Proterozoico Medio los eventos tectónicos de la orogenia Oaxaqueña (Grenvilliana), tuvieron como resultado la formación del Complejo Oaxaqueño, con afloramientos rocosos que posiblemente constituyen un cinturón metamórfico que se extiende desde Tamaulipas hasta el centro meridional de Oaxaca.

Durante el Paleozoico con la orogenia Apalachiana, los sedimentos arcillo arenosos que sobreyacen al basamento metamórfico del Precámbrico, fueron afectados por esfuerzos de compresión en direcciones noreste-suroeste, este-oeste y norte-sur que generaron pliegues recostados y cabalgaduras, así como zonas de fallas escalonadas en dirección noreste-suroeste, lo cual dio lugar a la edificación de la Sierra Mixteca y de la Sierra Juárez, que presentan la continuación de la Sierra Madre Oriental y de la Sierra Madre del Sur, formando así en la intersección de estas últimas, el Nudo Cempoaltépetl.

La porción más antigua de la Sierra Madre del Sur esta constituida por rocas metamórficas que afloran en la parte meridional del estado, en donde se presentan intrusiones de cuerpos graníticos como los batolitos de Chiapas, la Mixtequita y Juchatengo.

Hacia el Mesozoico, durante el Triásico, los movimientos de distensión de la orogenia Palizada, dieron origen a las fosas tectónicas que originan fracturas y fallas importantes, mientras que la actividad tectónica del Jurásico y el Cretácico Inferior, conocida como orogenia Nevadiana, resalta la discordancia en la base del Cretácico Superior.

A finales del Cretácico y a principios del Terciario, el tectonismo de la orogenia Laramide provocó durante la etapa de esfuerzos compresivos pliegues y fallas, aunado a la emersión del continente, así como la regresión de los océanos hacia el oriente, dando a las estructuras una orientación general noroeste sureste.

En el Paleógeno durante el Eoceno-Oligoceno, la entidad fue sometida a fuerzas de empuje en tres direcciones: la primera, de noroeste-sureste, dió lugar a los pliegues de la región de La Cañada y a las cabalgaduras de Vista Hermosa y de la Sierra del Pedernal; la segunda de este a oeste está representada por pliegues recostados en las áreas de Zapotitlán Salinas y Miahuatepec. La otra dirección de empuje es de norte a sur y su mejor expresión se presenta en los pliegues de Cipiapa.

Durante el Neógeno, se presenta actividad tectónica con esfuerzos de tensión que originan fracturas y grandes fallas normales, seguidas y acompañada por una intensa actividad volcánica asociada a zonas de debilidad. El contacto entre la placa de Cocos (oceánica basáltica) y la Placa Norteamericana (continental granítica), forma la gran Trinchera Mesoamericana, que corresponde al inicio de la zona de subducción, la cual es responsable de los movimientos sísmicos que se registran en las costa del estado de Oaxaca, Guerrero y Michoacán.

ERATEMA	SISTEMA	ÉPOCA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	DEPÓSITOS MINERALES	
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Qal	Sedimentos continentales contruidos por conglomerado plimíctico, rocas carbonatadas indiferenciadas, sedimentos epiclásticos y depósitos piroclásticos	Placeres auríferos	
		Pleistoceno				
	Terciario		Plioceno	Ige	Andesita, riolita y domos riodacíticos	Yeso cantera, zeolita y oro diseminado
			Mioceno	Ige	Caliza lacustre y lechos rojos Fm. Suchilquitango	
			Oligoceno		Conglomerado, arenisca Fm. Sosola	Arena Silica
			Eoceno		Arenisca y caliza continentales: Fm. Huajuápan	
Paleoceno		Conglomerado: Fm. Tamazulapan. Limolita y arenisca: Fm Yanhuítlán	Discordancia			
Mesozoico	Cretácico	Superior	Ks	Conglomerado y caliza. Fm Necoxtla. Caliza: Fm. Atoyac, Guzmantla	Mármol, ónix, antimonio, mercurio	
		Inferior	Ki	Dolomía, caliza, lutita y marga Gpo. Sierra Madre. Lutita, calcarenita y marga: Gpo. Puebla Caliza: Fm. Zapotitlán. Lutita y arenisca: Gpo. Tlaxiaco	Skarns auríferos, cobre, hierro tungsteno	
	Jurásico		Superior	Js	Arenisca, lutita y caliza: Fm. Yucuñuti y Gpo. Sabinal. Caliza con Cidaris y secuencia vulcanosedimentaria	Vetas y mantos de plata, plomo y zinc
			Medio	Jm	Lutita calcárea y arenisca: Fm. Taberna. Arenisca y Conglomerado: Fm. Simón y Todos Santos. Arenisca y limonita: Fm. Zorrillo y conglomerado Cualac	
			Inferior	Ji	Arenisca, Lutita, limonita y conglomerado con manto de carbón: Fm. Rosario. Secuencia Piroclástica: Diquiyú	Carbón
	Triásico		Superior	TR-s	Lutita, limonita, arenisca y conglomerado: Fm Huizachal Paraconglomerado con clásticos de arenisca y limonita: Fm. Yododeñe	Discordancia
			Medio inferior		No aflora	

ERATEMA	ÉPOCA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	DEPÓSITOS MINERALES
Paleozoico	Pérmico	Pzs Pzi	Secuencia fuertemente deformada de tipo Flysch de arenisca y limonita: Fm. Matzitzi	Discordancia
	Pensilvanico		Caliza, lutita y arenisca: Fm. Ixtaltepec	
	Misisípico		Caliza, arenisca, lutita, marga y limonita: Fm. Santiago	Discordancia
	Devónico	Pz-met	Esquisto cuarzo feldespático cuarcita, metaconglomerado y rocas intrusivas: Complejo Acatlán	Talco, asbesto, serpentina, cromo, níquel
	Silúrico			
	Ordovícico			
	Cámbrico	Pz-i	Caliza, arenisca, lutita, limonita y marga: Fm Tiñú	Manto de sulfuros
Proterozoico	PE	Gneis cuarzo feldespático, mármol cipolino, granulita, charnoquita, migmatita y pegmatitas: Complejo Oaxaqueño	Grafito cristalino, pegmatitas	

Tabla. 2.1. Columna Geológica Generalizada. Fuente: Monografía Geológico Minera del Estado de Oaxaca

Fallas y fracturas

El estado de Oaxaca por su situación geográfica presenta una gran cantidad de fallas, las principales son:

Cabalgadura de Vista Hermosa. Limita parte de los terrenos Maya y Cuicateco

Falla Oaxaca. Limita a los terrenos Cuicateco y Zapoteco, este tipo de falla es normal y se extiende desde los límites con el estado de Puebla hasta la parte norte de la Ciudad de Oaxaca.

Falla de Tamazulapan, es de tipo normal y se extiende desde la parte norte del estado, hasta la falla Juchatengo.

Falla Juchatengo. Falla de tipo normal que se extiende desde los límites con el estado de Guerrero, hasta encontrar la falla denominada Chacalapa.

Falla Chacalapa. Esta falla de tipo normal es la continuación de la falla Juchatengo, extendiéndose hasta la región del Istmo de Tehuantepec.

Destaca en actividad sísmica la falla Oaxaca (Fig. 2.12), la cual se extiende desde Tehuacán Puebla, hasta la Ciudad de Oaxaca, donde se intercepta con la falla Donaji, de dirección oriente-poniente, tal intercepción fue considerada como el límite meridional de la falla de Oaxaca. Sobresale también la cabalgadura de Vista Hermosa que limita las unidades de la Cuenca del Papaloapan y la Península de Oaxaca.



Fig.2 .12. Falla en la Mixteca, Oax. Fuente: Oaxacadiaadia, 2010

GEOLOGÍA DE OAXACA

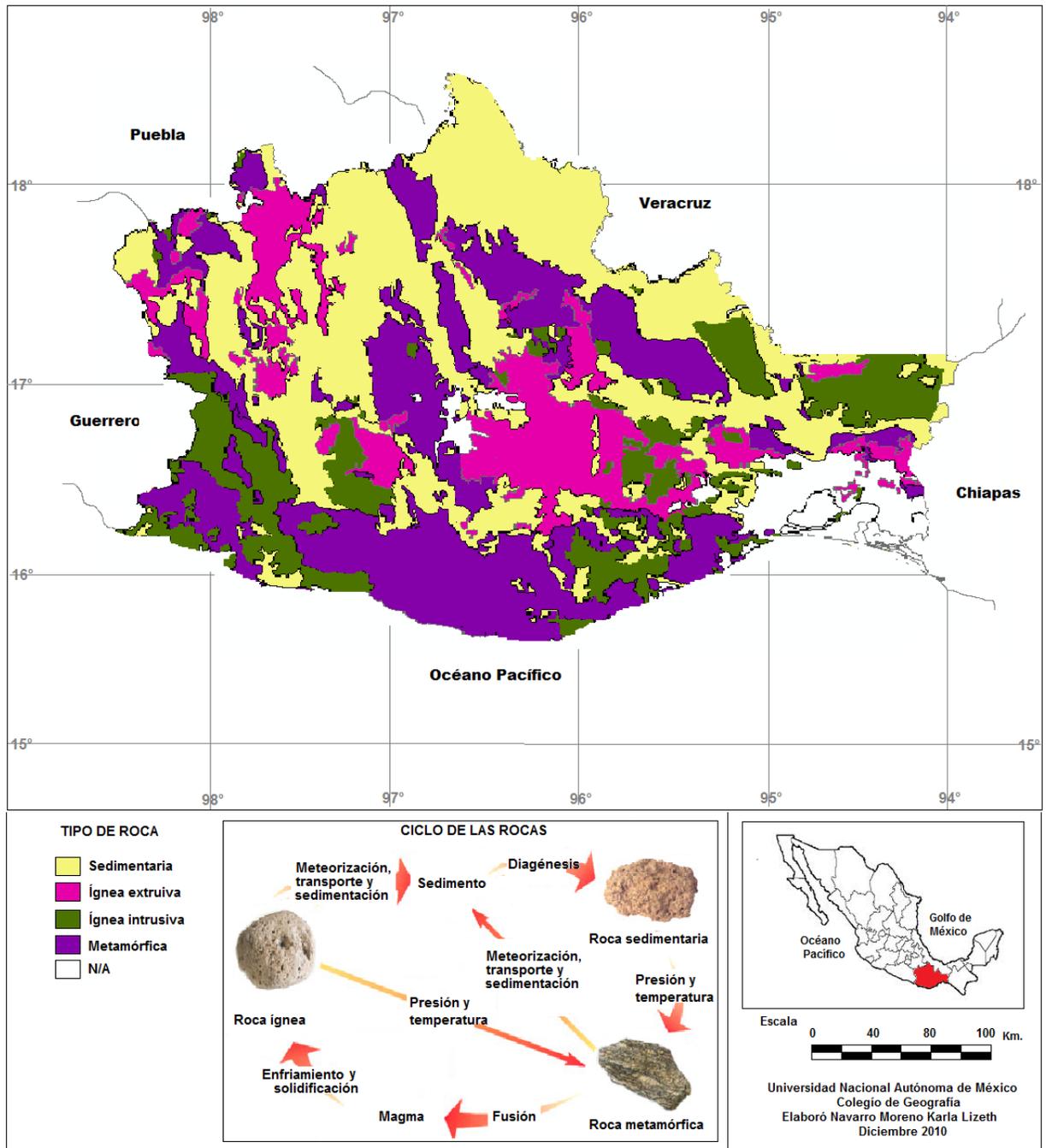


Fig. 2.13. Geología de Oaxaca. Fuente: INEGI

2.6 SUELOS

Los suelos son el producto de la interacción a través del tiempo de material geológico, clima, relieve y organismos. El clima es el factor más importante para la acción del intemperismo en las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, y es a partir de los sedimentos resultantes que se dan en el lugar en primer plano a los suelos jóvenes (litosoles, rendzinas, y regosoles) y a suelos con desarrollo moderado (feozem, cambisoles, castañozems); en segundo lugar y con menor extensión a suelos maduros (acrisoles, luvisoles). La vegetación ha contribuido con la aportación de materia orgánica para la formación de suelos como feozems, rendzinas, castañozems y subunidades de acrisoles y cambisoles. Las unidades de suelo presentes por orden de dominancia, son: regosol, litosol, cambisol, acrisol, luvisol, feozem, rendzina, vertisol, solonchak, castañozem, nitosol, fluvisol y gleysol. En la tabla 2.2 se describe el porcentaje de cada unidad en el estado.

UNIDADES DE SUELO	PORCENTAJE ESTATAL	UNIDADES DE SUELO	PORCENTAJE ESTATAL
Gleysol	.01	Feozem	4.56
Fluvisol	.13	Luvisol	5.68
Nitosol	.20	Acrisol	13.07
Castañozem	.32	Cambisol	16.18
Solonchak	.59	Litosol	20.04
Vertisol	2.36	Regosol	33.09
Rendzina	2.60	Cuerpo de agua	1.18

Tabla. 2.2. Unidad de suelo en Oaxaca. Fuente: INEGI

Regosoles

Son de origen residual formados a partir de rocas de muy diversa naturaleza: ígneas intrusivas acidas, metamórficas, volcanoclasticas y sedimentarias como también de origen aluvial a partir de sedimentos recientes. Todos estos materiales conforman topoformas de sierras, lomeríos, mesetas y valles, en los que predominan muy diversos climas desde, húmedos y tropicales, templados, hasta secos. En la entidad se encuentran tres tipos de regosoles: éutricos, calcáricos, y dístricos. Los regosoles éutricos se encuentran en la sierra madre del sur y comprenden el 91.78% de los regosoles; los calcáricos se localizan al sur y noroeste de Silacayoapan, suroeste de Chalcatongo de Hidalgo y noroeste de Santiago Yosondúa; regosoles dístricos se ubican al sur de Cuauhtémoc, entre Matías Romero y María Chimalapa, al noroeste y suroeste de Salinas Cruz y en la sierra al noroeste de Morro Mazatán.

Litosoles

Tienen menos de 10 cm en profundidad, están limitados por un estrato duro, continuo y coherente. Ocupan el 20.04% de la superficie estatal, se encuentran principalmente en topoformas de la sierra noroeste y suroeste del estado, donde se han presentado deslizamientos.

Cambisoles

Este tipo de suelo es de origen residual formado a partir rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, como también de origen aluvial. Se encuentran en topoformas de sierras, lomeríos, valles y llanuras, con diversos climas. En la entidad existen varios tipos de cambisoles: éutricos, crómicos, cálcicos, húmicos, dístricos, vérticos, ferrálicos, ocupando en total el 16.18% del estado. La localización de acuerdo al tipo de cambisol es: Los crómicos al noroeste de San Pedro Amuzgos, norte de San Andrés Huaxpaltepec y alrededores de Morro Mazatán. Los cálcicos en los alrededores de Zapotitlán Lagunas, Heroica ciudad de Tlaxiaco, y Huajapan de León, entre otras. Los húmicos en áreas al sur de Ayotzintepec y al sur de San Juan Bautista Valle Nacional. Los dístricos al suroeste de San Pedro Jicayán y sureste de Santa

María Huazolotitlán. Los vérticos en la heroica ciudad de Tlaxiaco. Los ferrálicos en los alrededores de Loma Bonita.

Acrisoles

Ocupan el 13.07% de la superficie del estado. Su origen es residual a partir de rocas sedimentarias e ígneas que conforman sierras, llanuras y lomeríos. En el estado sólo se presentan dos tipos de acrisoles, los órticos y los húmicos. Los órticos se localizan en los alrededores de Huautla de Jiménez y en Oxchochitlan de Flores Magón, Palomares, suroeste de Matías Romero y Santa María Chimalapa. Los húmicos en amplias áreas desde Candenlaría Loxicha hasta San Bartolo Yautepec, desde los alrededores de Tamazalupan del Espíritu Santo hasta áreas entre San Juan Zapotitlán y San Juan Bautista Valle Nacional.

Luisoles

Este tipo de suelo es de origen residual formado a partir rocas metamórficas, ígneas, sedimentarias, y en menor extensión origen aluvial; sobre topofomas de sierras, lomeríos, llanuras y valles. Ocupan el 5.68% de la superficie estatal. En la entidad se encuentran localizados cuatro tipos de luisoles. Los vérticos se localizan en el área de Sierra Juárez entre San Juan Bautista Cuicatlán y Calpulálpán de Méndez, al oriente de Miahuatlán de Porfirio Díaz y occidente de Tamazalupan de Espíritu Santo. Los crómicos en áreas de la parte norte, entre San Felipe Jalapa de Díaz y San Juan Bautista Tuxtepec, noroeste de San José, Estancia Grande y norte de la Reforma. Los órticos. Se ubican en áreas de la parte noroeste de San Felipe de la Peña. Los cálcicos. Están en los alrededores de Santiago Tilantongo y Magdalena Peñasco.

Feozems

Su origen es residual a partir de rocas sedimentarias e ígneas, que conforman sierras, llanuras, lomeríos y algunos valles, o de origen aluvial sobre sedimentos que conforman llanuras y valles. Ocupan el 4.5 % aproximadamente del estado. En la entidad se encuentran tres tipos de feozem:

Háplicos que se localizan en las inmediaciones de San Juan Bautista Valle Nacional, sureste de Unión Hidalgo, alrededores de Candelaria Ixicha, Ejutla de Crespo y Tlacolula de San Matamoros, entre otras. Los lúvicos están en la parte norte del estado en las inmediaciones de Vicente Guerrero, noroeste de San Juan Bautista y áreas adyacentes a las presas Miguel Alemán y Miguel de la Madrid. Los calcáricos se localizan en los alrededores de San Pedro Tezacoalco, San Miguel Achiutla, Asunción Nochistlan y Santiago Apoala, entre otras. Las rendzinas son suelos de origen residual, formados a partir de roca caliza que conforman topofomas de sierra y con una fertilidad muy buena. Se localizan al noreste y sureste de Zapotitlán Lagunas, sureste de Yucuquimi de Ocampo, inmediaciones de Santa María Tatoltepec, San Juan Tonaltepec, grandes extensiones entre Huatutla de Jiménez y San Juan Bautista Valle Nacional y en sierras aledañas a Ayotzintepec.

Vertisoles

Son de origen residual a partir de rocas sedimentarias e ígneas que conforman sierras, lomeríos y llanuras, o de origen aluvial a partir de sedimentos que constituyen valles y llanuras. Son suelos muy fértiles pero presentan problemas para su labranza ya que en época seca son duros y masivos, mientras que en época de lluvias son plásticos y adhesivos, además, al ser muy impermeables en ellos se presentan inundaciones. Los dos tipos de vertisoles encontrados en la entidad son: pélicos y crómicos. Los primeros se localizan en las inmediaciones de Santiago Juxtlahuaca, Teotongo, San Miguel del Valle, Magdalena Tlacoltepec, etc., mientras que los segundos en inmediaciones de Ocotlán de Morelos, Zaachila, Arpazola, San Felipe de la Peña y Juchitán de Zaragoza.

Solonchaks

Comprenden el 0.59% de la superficie estatal, localizándose en áreas adyacentes a las lagunas Superior, Inferior y Mar Muerto. De los tipos de Solonchak que existen, en la entidad solo están presentes los gleycos, que se caracterizan por las altas concentraciones de sal. El mejoramiento de estos suelos para la agricultura, resulta muy costoso, y su utilización para fines pecuarios dependerá de la vegetación presente, pero con rendimientos bajos.

Castañozem

Son suelos profundos sin limitantes. Estos suelos ocupan el 0.32% de la superficie estatal, localizándose en los alrededores de Concepción Buenavista, Tepelmeme Villa de Morelos y San Juan Bautista de Coixtlahuaca.

Nitsoles

Comprenden el 0.20% de la superficie estatal y se localizan en los alrededores de Cuauhtémoc y límites con el estado de Veracruz. Son suelos de origen residual formados a partir de areniscas y calizas que conforman topofomas de llanura y partes de sierra. Se localizan a los alrededores de Cuauhtémoc y limitantes con el estado de Veracruz.

Fluvisoles

Este tipo de suelos se ha formado a partir de depósitos aluviales recientes, por lo que es común que presentan horizontes muy heterogéneos de materiales disgregados. No tienen estructura de terrones por lo que son poco desarrollados. Ocupan el 0.13% de la superficie estatal y se presentan en sus dos tipos: los éutricos y calcáricos. Los fluvisoles éutricos se localizan en inmediaciones de Putla Villa de Guerrero y los calcáricos a los alrededores de Nejapa de Madero.

Gleysoles

Comprenden el 0.01% de la superficie estatal, presentando es el tipo vértico, estos se caracterizan por sus grietas mayores de 1 cm de ancho. Se localizan al norte y noreste de Loma Bonita, en los límites con el estado de Veracruz y al noroeste de Nuevo Ocotlán en los márgenes del Río Colorado.

Fig. 2.15. Edafología de Oaxaca. Fuente: base INEGI

SUELOS		UBICACIÓN FISIOGRAFICA			HORIZONTES	TEXTURA	% FASE POR UNIDAD	COLOR
		PROVINCIA	SUBPROVINCIA	SISTEMA DE TOPOFORMAS				
Acrisol	Húmico	Sierra Madre del Sur	Sierras Orientales	Sierra Alta Compleja	A, B1, B21, B22, B23	Arenosa Arcillosa	29.15 lítica, 70.85 sin limitantes	Gris oscuro hasta negro
	Órtico	Llanura Costera del Golfo Sur	Llanura Costera Veracruzana	Lomerío	A, B	Arenosa Arcillosa	86.15 sin limitantes, 8.53 lítica y 5.32 pedregosa	Pardo Amarillo-rojizo
Luvisol	Crómico	Sierra Madre del sur	Sierras Orientales	Valles de Laderas Tendidas	A1, B21, B22	Arenosa Arcillosa	47.04 pedregosa, 8.41 gravosa, 2.79 litica y 41.76 sin limitante	Pardo, rojizo, amarillento
	Vertico	Sierra Madre del Sur	Sierras Orientales	Sierra Alta Compleja	A,B21, B22, B23	Arcillosa Arenosa	94.7 litica, 5.3 gravosa	Pardo rojizo
	Órtico	Sierra Madre del Sur	Mixteca Alta	Sierras	A	Arcillosa	100.00 sin limitante	Amarillento, grisáceo
	Cálcico	Sierra Madre del Sur	Mixteca Alta	Sierras	A		100.00 sin limitante	Pardo
Feozem	Háplico	Sierra Madre del Sur	Sierras y Valles de Oaxaca	Lomerío	A	Arenosa Arcillosa	24.61 pedregosa, 16.54 gravosa, 24.71 sin limitantes	Grisáceo negro
	Lúvico	Sierra Madre del Sur	Sierras Orientales	Sierra Baja	A,B2	Arcilla	100.00 lítica	Pardo oscuro a fuerte y rojizos
	Calcárico	Sierra Madre del Sur	Mixteca Alta	Sierras	A	Arcilla	86.45 sin limitante, 13.55 pedregosa y lítica	Negro
Rendzina		Sierra Madre del Sur	Sierras Centrales de Oaxaca	Sierras de Cumbres Tendidas	A1	Arcilla	97.37 lítica y 2.63 petrocalcica	Grisáceo, negro, rojizo

SUELOS		UBICACIÓN FISIOGRAFICA			HORIZONTES	TEXTURA	% FASE POR UNIDAD	COLOR
		PROVINCIA	SUBPROVINCIA	SISTEMA DE TOPOFORMAS				
Regosol	Calcárico	Sierra Madre del Sur	Sierras Centrales de Oaxaca.	Valle Ramificado con Lomeríos	A1, C1,	Arcillosa	95.57 lítica 4.43 pedregosa	Pardos, amarillos, grisáceos
	Éutrico	Sierra Madre del Sur	Cordillera Costera del Sur	Sierra Alta Compleja	A1	Arcillosa Arenosa	93.46 lítica, 0.57 gravosa, 1.72 salina, 4.25 sin limitante	Amarillentos o grisáceos
	Drítrico	Cordillera Centroamericana	Llanura del Istmo	Llanura Costera	A	Arcillosa Arenosa	72.06 lítica 27.94 sin limitante	Grisáceos, amarillos, rojizos
Litosol		Sierra Madre del Sur	Mixteca Alta	Lomeríos con Cañadas	A1	Arenosa Arcillosa	Ocrico	Pardo oscuro, grisáceo, negro
Cambisol	Éutrico	Sierra Madre del Sur	Costa del Sur	Llanura Costera con Lomeríos	A1, B1, B2, C1	Arenosa Arcillosa	35.62 gravosa y pedregosa, 32.42 lítica y 31.97 sin limitante	Pardos, amarillos, grisáceos
	Crómico	Sierra Madre del Sur	Cordillera Costera del Sur	Lomeríos con Cañadas	A, B	Arena Arcillosa	35.63 lítica, 7.09 gravosa, 57.28 sin limite	Pardo oscuro, rojo
	Cálcico	Sierra Madre del Sur	Cordillera Costera del Sur	Lomeríos con Cañadas	A	Arenosa Arcillosa	89.03 lítica, 10.97 sin limite	Pardos, amarillos, grisáceos
	Húmico	Sierra Madre del Sur	Sierras Orientales	Sierras	A	Arenosa Arcillosa	100.00 lítica	Negro, gris oscuro y pardo
	Drítrico	Sierra Madre del Sur	Costas del Sur	Sierras	A,B	Arenosa Arcillosa	89.06 sin limitante y 10.94 lítica	Amarillento rojizo
	Vertico	Sierra Madre del Sur	Cordillera Costera del Sur	Sierras	A, B	Arenosa	69.17 lítica, 30.83 sin limitante	pardo rojizo, rojizo

SUELOS		UBICACIÓN FISIOGRAFICA			HORIZONTES	TEXTURA	% FASE POR UNIDAD	COLOR
		PROVINCIA	SUBPROVINCIA	SISTEMA DE TOPOFORMAS				
Vertosol	Pélico	Sierra Madre del Sur	Sierras Y Valles de Oaxaca	Llanura Aluvial con Lomeríos	Ap, A12, A13, C	Arcillosa	69.45 sin limitantes y 30.55 pedregosa	Gris, pardo oscuro y negro
	crómico	Sierra Madre del Sur	Sierras Y Valles de Oaxaca	Valles de Laderas Tendidas con Lomeríos	Ap, A12, A13 Ca, A11b, A12bca	Arcillosa	100 sin limitantes	Pardos oscuros con tonos grisáceos
Solonchaks		Cordillera Centroamericana	Llanura del Istmo	Llanura Costera Salina	Cig, c2g	Arena Arcillosa	Limitante desconocida	Gris azuloso, rojizo
Castañozem		Llanura Costera del Golfo Sur	Llanura Costera Veracruzana	Llanura Aluvial Costera Inundable	A1,B21t,B22t, B23t, B24t,B25t	Arcillosa	100 sin limitantes	Pardo rojizo
Nitsoles		Llanura Costera del Golfo Sur	Llanura Costera Veracruzana	Llanura Aluvial Costera Inundable	A1, B21, B23t, B24t,B25t	Arcillosa	Arena Arcillosa	Pardo
Fluvisoles		Sierra Madre del Sur	Cordillera Costera del Sur	Valles de Laderas Tendidas con Lomeríos	C1	Arena Arcillosa	100 sin limitantes	Pardo
Gleysoles		Llanura Costera del Golfo Sur	Llanura Costera Veracruzana	Valle	A1, ACg	Arcillosa	95.89 salina	Pardo grisáceo oscuro

Tabla. 2.3. Unidades de suelo y sus características en Oaxaca. Fuente: INEGI

CAPÍTULO 3

AMENAZA SÍSMICA EN OAXACA

A lo largo de la historia los sismos han atraído el interés y el temor de la humanidad. Desde la antigüedad hasta la edad media, se les atribuyó una explicación mítica, asociada con el castigo o la ira divina. Sin embargo, desde aquel tiempo existieron personajes que trataron explicar dichos fenómenos con argumentos que proponían un origen natural. Por ejemplo, Tales de Mileto (siglo VI a. C.) consideró que la Tierra flotaba sobre agua y que los sismos eran similares al movimiento de un barco sobre el oleaje. Por su parte, Anaxágoras y Empédocles propusieron que eran generados a partir de salidas súbitas de aire caliente, provocando colapsos internos. Esta última idea fue aceptada por Aristóteles, y a la postre se convirtió en la explicación más difundida en la Europa antigua. Posteriormente, durante el Medioevo el origen natural de los sismos fue formalmente prohibido, por considerarse una idea herética.

No fue sino hasta principios del siglo XVII que se volvió a especular acerca de causas naturales de los sismos. Werner propuso que se producían debido a causas locales, mientras que Alexander Von Humboldt probablemente fue el primero en establecer una relación entre las fallas geológicas y los terremotos.

Posteriormente en el siglo XX, una serie de investigaciones como las de Koto, Fielding y Lawson, interesadas en identificar el origen de los sismos, concluyeron que estos no se debían a explosiones como se creía con anterioridad, sino a movimientos de la Tierra, lo cual fue un concepto revolucionario para la época. A esto se sumaron otras teorías que fueron esenciales para dar un avance en el conocimiento, como Wegener y de Benniof – Wadati, las cuales permitieron entender mejor la dinámica planetaria. De esta manera, en menos de medio siglo no sólo se comprendía el origen sísmico, sino que también comenzaban los estudios de riesgo asociado.

3.1 LOCALIZACIÓN DE OAXACA DENTRO DEL MARCO GLOBAL Y NACIONAL

Los epicentros de los sismos que ocurren a diario no son de manera equivalente sobre la superficie de la Tierra, el análisis de su propagación muestra que son propios principalmente de estrechas franjas activas de la corteza terrestre, las cuales se denominan *zonas sísmicas*, y que de manera general definen las fronteras de las placas tectónicas que constituyen la litosfera del planeta. Estas placas convergen en algunas zonas y divergen en otras, desplazándose aproximadamente a una velocidad entre 1 y 10 cm por año; aun cuando estas velocidades parecen bajas, es posible que las placas se desplacen unos 75 km en un millón de años. Con el tiempo a medida de que se mueven las placas, la acumulación de tensión a lo largo sus bordes originan desplazamientos súbitos que a la vez producen los sismos. Después de cada sismo se inicia nuevamente el ciclo de recarga de tensión, que dará lugar a sismos futuros. La interacción global entre las placas es la causa de la continua actividad sísmica en nuestro planeta. Por una mayor actividad se caracteriza la zona periférica del Océano Pacífico, que forma el Cinturón de Fuego. En esta zona se concentra cerca de 80% de la energía sísmica de todos los temblores de la Tierra. Se extiende sobre 40,000 km y concentra el 75% de los volcanes mundo (Vasiliev, 1981).

México se encuentra dentro del Cinturón del Fuego, convirtiéndolo en uno de los países del mundo con mayor actividad sísmica. Según estadísticas, se registran más de 90 sismos por año con magnitudes superiores a los 4 grados en la escala de Richter, lo que equivale a un 6% de todos los movimientos telúricos que se registran en el mundo, traducándose en la presencia de por lo menos un sismo mayor a 7 grados Richter cada año. La principal actividad sísmica del país, se encuentra en la zona de subducción en las costas del Océano Pacífico (Fig. 3.1); es por ello que desde de Baja California hasta Chiapas ocurren numerosos sismos, aunque es mayor en el sur, donde se registra el 85%; en esta área se ubica el estado de Oaxaca, donde ocurren el 30% del total. Ahí la placa oceánica de Cocos subduce debajo de la placa América del norte, la cual contiene la mayor parte del territorio mexicano (Reinoso, 2010).

Una de las brechas sísmicas con mayor potencial en México y que puede producir unos o varios sismos grandes en un futuro cercano es la Brecha de Guerrero. Este segmento de contacto

entre placas tectónicas no ha tenido un temblor de importancia (magnitud mayor que 7 grados) en un lapso de 30 años. De acuerdo a los registros en su porción noroeste (Zihuatanejo-Acapulco), se originaron grandes sismos en 1899 (M 7.9), 1907 (M 7.6), 1908 (M 7.5, 7.0), 1909 (M 7.2) y 1911 (M 7.5); desde entonces no han ocurrido temblores importantes en esa zona. En la porción sureste de esta brecha (desde Acapulco hasta los límites con Oaxaca), no se han verificado eventos de importancia después de los terremotos de 1957 (M7.8), 1962 (M 7.2 ,7.1) y 1989 (M 6.9); por lo que se encuentra en un nuevo periodo de acumulación de energía, convirtiéndola en la zona de mayor potencial sísmico en nuestro país, puesto que este evento sucederá. De acuerdo con el tamaño de la brecha, la magnitud del sismo que se puede llegar a presentar es superior a los 8.0 grados; no obstante, existe la posibilidad de que en vez de un solo sismo grande, sucedan varios de menor magnitud en un periodo relativamente corto. Es necesario aclarar que no se puede precisar una fecha de ocurrencia de un temblor, solamente se definen zonas con mayor probabilidad de que suceda. (CENAPRED, 2000)

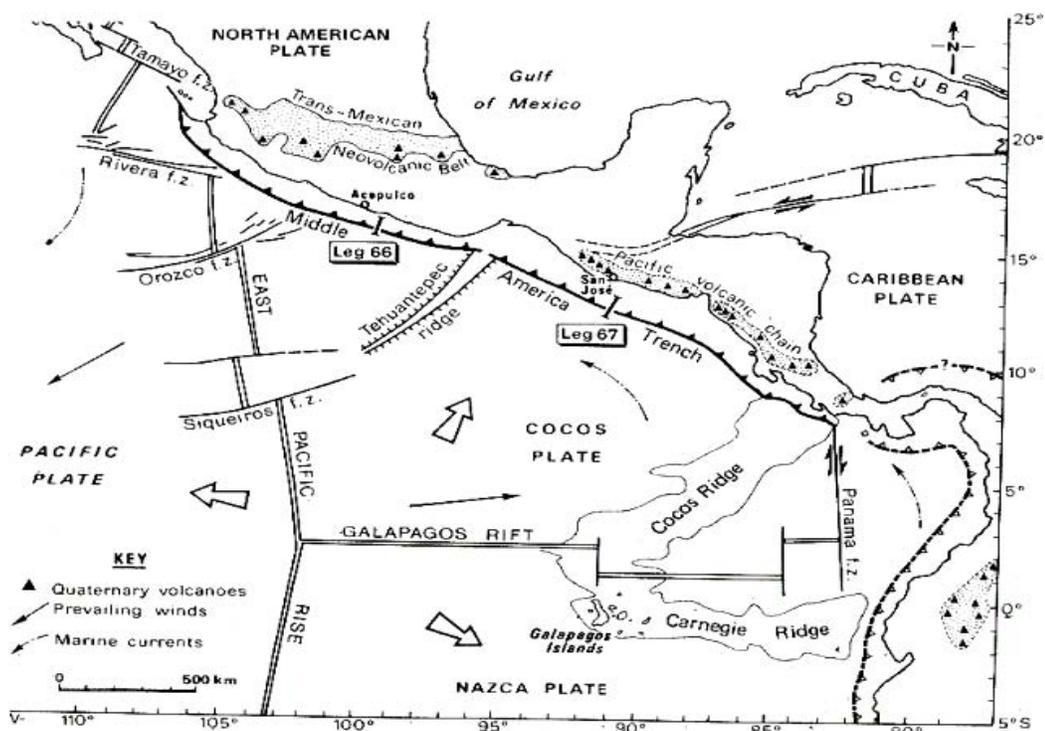


Fig. 3.1 Marco tectónico de México. Fuente: *Geology.geoscienceworld, 2002*

3.2 ANTECEDENTES SISMICOS EN OAXACA

El desarrollo de la sismología en Oaxaca, al igual que en México, presenta en términos generales dos etapas: la primera, se dan descripciones y reportes de los efectos y los daños causados por importantes sismos históricos, y la segunda, corresponde a la fase instrumental e inicia la instalación de sismógrafos en el país, y que corresponde a principios de este siglo.

Las descripciones de sismos en el pasado constituyen un rico acervo bibliográfico de gran utilidad para la sismología moderna, ya que nos permite identificar fallas activas por medio de los daños reportados, los epicentros de sismos importantes en el pasado histórico y cotejar esa información con sismos más recientes. Por otro lado, el catálogo de sismos históricos en ciertas regiones muestra algunas veces un patrón recurrente de sismos importantes que permite estimar el potencial de las diferentes zonas sísmicas de nuestro país. Las primeras descripciones históricas de sismos en Oaxaca datan de la época prehispánica. Los códices contienen referencias de sismos, por ejemplo, en el Códice Tellariano donde se señala el año en que ocurrió un sismo (Fig.3.2), aunque en él ni en otros se marcan fechas, duración y daños (García, 2001).

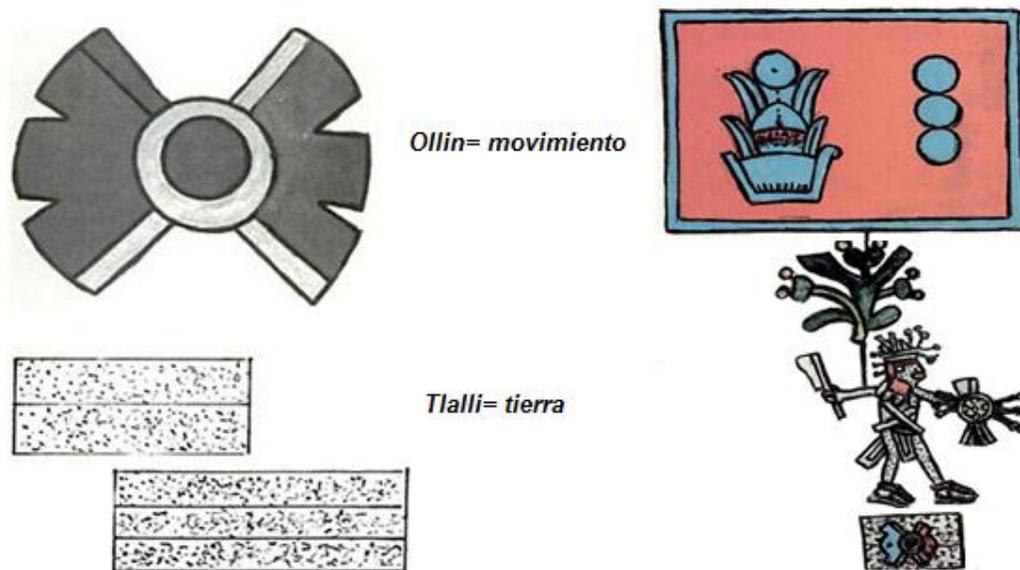


Fig. 3.2 Códice Tellariano. "Año de tres cañas; sujetaron los mexicanos al pueblo de Tepoztlán.... Este año hubo un temblor de tierra". Fuente. García, 2001

Al sobrevenir la conquista de México, los españoles, procedentes de regiones asísmicas, se concretaron a hacer anotaciones de los efectos observados, sugiriendo interpretaciones de estos fenómenos según el pensamiento de la época. Así, se hacen descripciones como la de Rodrigo Rangel en la que menciona que el 10. de abril de 1523 "*como a las ocho de la noche se sintió en Oaxaca, Cañada y pueblos de la sierra un temblor*". Este informe corresponde al primer terremoto del cual hacen mención los españoles a su llegada a México (García, 2001).

El impacto de los cambios ocurridos a lo largo del periodo colonial se manifestó en las formas de concebir y entender los fenómenos naturales que se reflejan, destacando las siguientes características como parte de este periodo:

Relatos

En los que se habla de la destrucción de las construcciones y duración del fenómeno, en comparación a los códices en los que solo se fechaba el año. Ejemplo, 1603; 31 de Diciembre. *Temblor con duración aproximada de 12 minutos, destruye el convento de San Pablo y el colegio de la compañía de Jesús muchas viviendas colapsadas. Así mismo en la Mixteca muchos templos y conventos fueron averiados.* (Atlas, 2003) o el del 19 de julio de 1882; Oaxaca, "*...se sintió en Oaxaca y pueblos del estado un fuerte y espantoso terremoto que puso en gran alarma a todos sus habitantes, en Oaxaca cuarteó muchas casas en la parte baja de la población. En Huajuapán de León destruyó todos los edificios de azotea; más de 800 familias quedaron en la miseria, pues las casas que no se desplomaron, quedaron amenazando ruina...*" (Reinoso, 2010) Hubo también documentos oficiales como el del El Fondo Real de Intendencia de Oaxaca, que además de proveer información sobre daños, costos, avalúos y gastos requeridos y erogados, nos habla del origen de los recursos empleados, o de los cuestionarios que tuvieron que resolver los curas para entregar al obispo de Antequera.

El sistema de las creencias religiosas.

Influye en la visión y actividades del hombre, resultando evidente en el registro de los sismos durante ese periodo. Así, en lugar de decirnos que el temblor ocurrió en tal día

de tal mes, se informa que fue en la pascua o el día del festejo de tal santo, esta forma de fechar se mantuvo durante todo el periodo, por ejemplo, una serie de sismos ocurridos en marzo 1727, incluyendo el día de San José reforzó las creencias *“la Población de Oaxaca pidió protección al señor de San José, cuya fiesta celebraba la iglesia en el día ... fue jurado patrono de la ciudad contratan terrible azote, a cuya protección se debía que en tantas ruinas de edificios, ninguno hubiese muerto”*

Relación del fenómeno sísmico con otros eventos.

Se entiende la descripción hecha en 1787; 28 de marzo. *“...hubo un temblor de tierra que duró cinco minutos, y el resto del día y de la noche, repitió como diez veces, se quebrantaron algunas partes del Palacio, el Cañón de la Diputación y otras varias casas”*. Se informa de un enorme maremoto en la Barra de Alotengo, Oaxaca y Acapulco, lo que hace pensar que fue de subducción de excepcional magnitud mayor de 8.5° (García, 2001).

Este tipo de descripciones continuaron en gacetas y periódicos durante mucho tiempo hasta el siglo XX, cuando comienza la segunda etapa que se habló, con la participación de México en el desarrollo de la sismología moderna, y que ya se había iniciado propiamente el 1o. de abril de 1904. En esta fecha se reunieron en Estrasburgo dieciocho países, entre ellos México, con el fin de formar la Asociación Sismológica Internacional. Los países se comprometían a instalar en su territorio nacional una red de instrumentos sismológicos que permitiría mejorar notablemente las localizaciones epicentrales e iniciar el estudio metódico de los sismos utilizando instrumentos modernos distribuidos en todo el mundo.

Hasta 1910, cuando el gobierno decretó la fundación del Servicio Sismológico Nacional el 5 de septiembre, y se instalaron los primeros sismógrafos (Fig. 3.3), empezaron a tomar mediciones con sismógrafos "Wiechert" de fabricación alemana, y la Red Nacional quedó inicialmente construida por una estación central instalada en Tacubaya, D.F. y estaciones foráneas como en Oaxaca. Cabe añadir que la gran mayoría de estos sismógrafos mecánicos continúan operando en la actualidad y ofrecen un registro instrumental continuo y uniforme de la sismicidad en México durante los últimos 60 ó 70 años (García, 2001).



Fig. 3.3 Primera estación sísmológica de Oaxaca. Fuente. SSN.

De los sismos más importantes ocurridos en el estado entre 1910-1999 son los siguientes (SSN, 2011; Reinoso, 2010):

EVENTO	FECHA	LAT.	LONG.	MAG.	ZONA
1	03/02/1911	15	98	8.3	Costa de Oaxaca
2	27/03/1911	18.2	96.2	7.3	Veracruz-Oaxaca
3	02/06/1916	16.77	95.9	7	Oaxaca
4	29/12/1917	17.4	94.85	7	Istmo de Tehuantepec
5	29/12/1917	15	97	7.1	Costa de Oaxaca
6	22/03/1928	15.83	96.15	7.7	Costa de Oaxaca
7	17/04/1928	17.26	96.44	7.7	Oaxaca
8	17/06/1928	16.22	97.18	8	Oaxaca
9	04/08/1928	16.37	97.8	7.4	Oaxaca
10	09/10/1928	16.37	97.8	7.8	Oaxaca
11	15/01/1931	16.13	96.8	8	Oaxaca
12	16/01/1931			7	Costa de Oaxaca
13	05/06/1935			7	Oaxaca
14	26/07/1937	18.19	96.03	7.2	Veracruz-Oaxaca

EVENTO	FECHA	LAT.	LONG.	MAG.	ZONA
15	23/12/1937	17.1	98.07	7.7	Guerrero-Oaxaca
16	02/01/1938			7.2	Costa de Oaxaca
17	20/11/1942	16.47	94.43	7.2	Istmo de Tehuantepec
18	25/11/1942			7.2	Costa de Oaxaca
19	11/10/1945	18.32	97.65	7.1	Oaxaca
20	07/06/1946	16.5	94	7.1	Istmo de Tehuantepec
21	11/07/1946	17.23	94.62	7.1	Istmo de Tehuantepec
22	11/08/1948	17.75	-95.25	7	Oaxaca
23	14/12/1950	17.22	98.12	7.3	Guerrero-Oaxaca
24	09/07/1951			6.2	Oaxaca
25	23/08/1965	16.3	95.8	7.8	Oaxaca
26	22/08/1968	16.6	97.7	7.4	Oaxaca
27	28/08/1973	18.3	96.54	7.3	Veracruz-Oaxaca
28	29/11/1978	15.86	96.64	7.8	Costa de Oaxaca
29	22/06/1979	16.99	94.73	6.5	Istmo de Tehuantepec
30	24/04/1983	15.87	95.4	6.7	Golfo de Tehuantepec
31	13/07/1986	16.08	94.2	6	Istmo de Tehuantepec
32	15/07/1987	17.39	97.26	6	Oaxaca
33	14/09/1995	16.75	-98.67	7	Costa de Oaxaca
34	25/02/1996	15.83	98.25	6.9	Costa de Oaxaca
35	19/03/1996	15.49	97.55	6	Costa de Oaxaca
36	19/07/1997	16	98.23	6.3	Costa de Oaxaca
37	02/02/1998	15.65	96.43	6.4	Costa de Oaxaca
38	15/06/1999	18.13	-97.54	7	Huajuapán
39	30/09/1999	15.89	-97.07	7.4	Costa de Oaxaca
40	12/02/2008	16.40	-94.16	6.6	Unión Hidalgo
41	30/06/2010	16.24	98.0	6.0	Oaxaca

Tabla. 3.1 Sismos de mayor afectación para Oaxaca. Fuente: Reinoso 2010 y SSN 2011

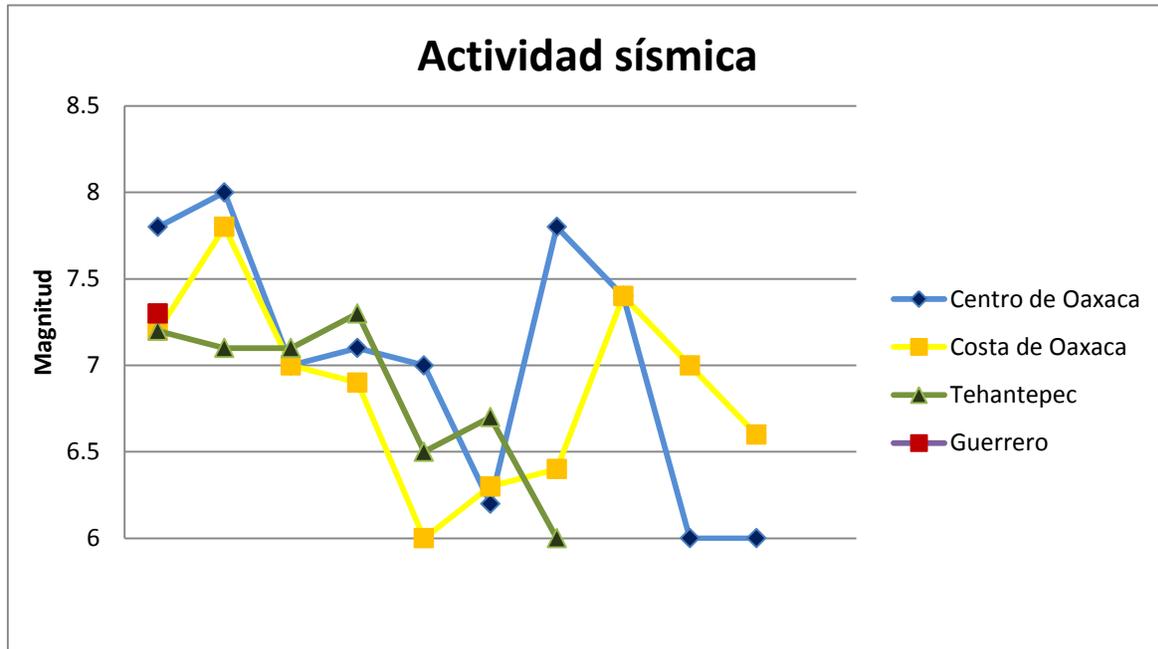


Tabla. 3.2 comparación de los sismos ocurridos en 4 regiones del estado Fuente: Reinoso 2010, SSN 2011

De acuerdo a las Tablas 3.1 y 3.2 se llega a concluir que las dos zonas donde se producen mayor número de sismos son las del centro y costa de Oaxaca. En la primera se ha registrado la mayor magnitud (8.3°R) en 1911, pero a partir de ese evento bajo la intensidad sísmica llegando a los 6°R en 1987 lo que permite comprender que actualmente se encuentra recargándose nuevamente debido a que la liberación de la energía ha sido poca.

Los sismos en Tehuantepec y en las cercanías al estado de Veracruz demuestran que de las zonas sísmicas, esta es la de menor magnitud, no superando los 7.5°R y el cual no ha producido un sismo desde hace 25 años. En los límites de Guerrero y Oaxaca solo se ha producido un sismo (7.7°R) de alta intensidad en 1937, esto permite concluir que es una zona más estable.

En términos generales la gráfica muestra que de 1911 a 1978 se estuvieron produciendo sismos mayores a 7°R, con una media de un sismo cada 2 años, tomando en consideración todas las zonas, y que a partir de 1979 hubo una tendencia de disminución en la magnitud, siendo menores que 6.9°R, que continuando hasta 1999, cuando se registraron 2 sismos mayores a 7°R, y a partir del 2000 vuelve a descender la magnitud.

3.3 INSTRUMENTACIÓN SISMICA EN OAXACA

Actualmente el estado de Oaxaca cuenta con redes de instrumentación sísmica a base de equipos sismológicos y acelerográficos por parte de Instituciones dedicadas al estudio de estos movimientos, con la finalidad de determinar el comportamiento del suelo en sitios de interés ante la acción de los sismos. A continuación se describen brevemente las redes de instrumentación por parte del Instituto Tecnológico de Oaxaca, Comisión Federal de Electricidad y el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Protección Civil, 2000).

Red regional del I.T.O

Los equipos que se ubican en estas estaciones son sismógrafos analógicos RANGER alimentados con energía solar mediante fotoceldas, a excepción del ubicado en las estaciones PES que es un acelerógrafo digital modelo DR-200 y sensores HSA-3 y RANGER. Las estaciones sísmicas que conforman la Red regional del Instituto Tecnológico de Oaxaca son las siguientes:

NOMBRE	LOCALIDAD	CLAVE	LAT.	LONG
Temascal	presa Miguel Alemán	(TMH)	18° 13.51'	96° 22.38°
Teotitlan	Teotitlan	(TEO)	18° 07.63'	97° 04.48'
Guevea de Humbolt	Guevea de Humbolt	(GVH)	16° 47.67'	95° 22.43'
Tlaxiaco	Sta. María Asunción	(TLA)	17° 15.60'	97° 41.40'
Puerto Escondido	Puerto Escondido	(PES).	15° 52.23'	97° 04.44

Tabla. 3.3. Estaciones Sísmicas de la red I.T.O. Fuente: CENAPRED

Red acelerográfica del Instituto de Ingeniería de la UNAM

La red acelerográfica en el estado, por parte del Instituto de Ingeniería de la UNAM surge a consecuencia del estudio de la actividad sísmica en la zona de subducción Mexicana, en la que se detectó que la zona centro de Oaxaca tiene una alta probabilidad

de generar un sísmico de gran intensidad en corto de tiempo. Esta red considera la instrumentación de la franja costera entre Puerto Ángel y Pinotepa Nacional; instalación de una línea de atenuación hacia las ciudades de Oaxaca y Puebla e implementación de una red local en la ciudad de Oaxaca.

La selección del sitio para cada estación se basa en tres condiciones principales: tipo de suelo, seguridad y facilidad de acceso. Las características de las estaciones se muestran en la siguiente tabla.

NOMBRE	TIPO DE SUELO	CLAVE	LAT. N.	LONG. W.
Pinotepa Nacional	Limo arenoso	PNTP	16.349	98.061
Jamiltepec	Roca	JAMI	16.285	97.82
Las Negras	Roca	LANE	15.948	97.182
Puerto Ángel	Roca	PANG	15.666	96.491
Río Grande	Roca	RIOG	16.014	97.439
Miahuatlan	Roca			
San Martín Los Canseco	Roca			
Oaxaca (Fac. de medicina)	Aluvial	OAXM	17.084	96.716
Oaxaca (Cd. de las canteras)	Roca			
Oaxaca (Alameda)				
Oaxaca (Esc. Prim Benito Juárez)				
Oaxaca (Cd. Universitaria)				
Oaxaca (Inst. Tec. de Oaxaca)				
Oaxaca (Esc. Prim F. J. Múgica)				

Tabla. 3.4. Estaciones de la red acelerográfica de la UNAM. Fuente: CENAPRED 2000

Red sísmica de la Comisión Federal de Electricidad.

El departamento de sismotectónica de la gerencia de estudios de Ingeniería Civil de la Comisión Federal de Electricidad, determina el potencial sísmico de sitios determinados, y caracteriza su respuesta ante la ocurrencia de temblores, proporcionando los parámetros sísmicos necesarios para el diseño de estructuras civiles.

En el estado de Oaxaca se localiza una red de sismógrafos de la CFE con la finalidad de realizar las actividades anteriores. La ubicación de estos equipos se describe en la siguiente tabla:

EQUIPO	CLAVE	LAT.	LONG.
Sismógrafo	HUA	16° 14.05'	95° 07.45'
Sismógrafo	AGS	16° 06.13'	95° 26.52'
Sismógrafo	PBJ	16° 26.20'	95° 26.41'
Sismógrafo	PCH	15° 44.43'	96° 27.46'
Sismógrafo	IXT	17° 19.86'	96° 29.01'
Sismógrafo	TLA	17° 14.78'	97° 41.83'
Sismógrafo	TEO	18° 08.45'	97° 04.08'
Sismógrafo	LCD	16° 09.19'	97° 41.12'

Tabla. 3.5. Estaciones Sísmicas de la red C.F.E. Fuente: CENAPRED 2000

Estaciones sísmicas del Instituto de Geofísica de la UNAM

El Instituto de Geofísica de la UNAM cuenta con 4 estaciones sísmicas en el estado de Oaxaca, las cuales son operadas por el Servicio Sismológico Nacional. Se establecieron con la finalidad de evaluar el comportamiento del suelo en los lugares donde estas se ubican. Las características principales de ellas son las siguientes:

Tres estaciones sísmicas son de banda ancha, contando todas con digitalizador de 24 bits marca Quanterra Q680, con antena de GPS para control temporal. Estas estaciones cuentan con un sensor de velocidad de banda ancha marca Strekeisen modelo STS-2; tienen un sensor de aceleración de balance de fuerza, marca Kinematics, modelo FBA-23 con rango de aceleración de balance de fuerza y con rango de 2g.

De igual forma, se busca un sitio en la ciudad de Matías Romero para ubicar una estación en la región del Istmo de Tehuantepec; esta estación contará con el mismo equipo que las tres anteriores. Se cuenta con una estación de periodo corto analógica y una sola componente que se encuentra en la ciudad de Oaxaca, la cual se dará de baja próximamente y se localizara también en este lugar la estación mecánica con un sensor Wickert del año de 1910. La localización de las estaciones anteriores es la siguiente:

EQUIPO	LOCALIDAD	ELEVACIÓN	CLAVE	LAT.	LONG
Sismógrafo y acelerógrafo	Huatulco	100	HUIG	15.768°	96.108°
Sismógrafo y acelerógrafo	Oaxaca, Oax.	1600	OXIG	17.073°	96.733°
Sismógrafo	Oaxaca, Oax.		OXX	17.082°	96.723°
Sismógrafo y acelerógrafo	P. Nacional	500	PNIG	16.395°	96.127°

Tabla. 3.6. Estaciones sísmicas de la UNAM. Fuente: CENAPRED 2000

INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA EN OAXACA

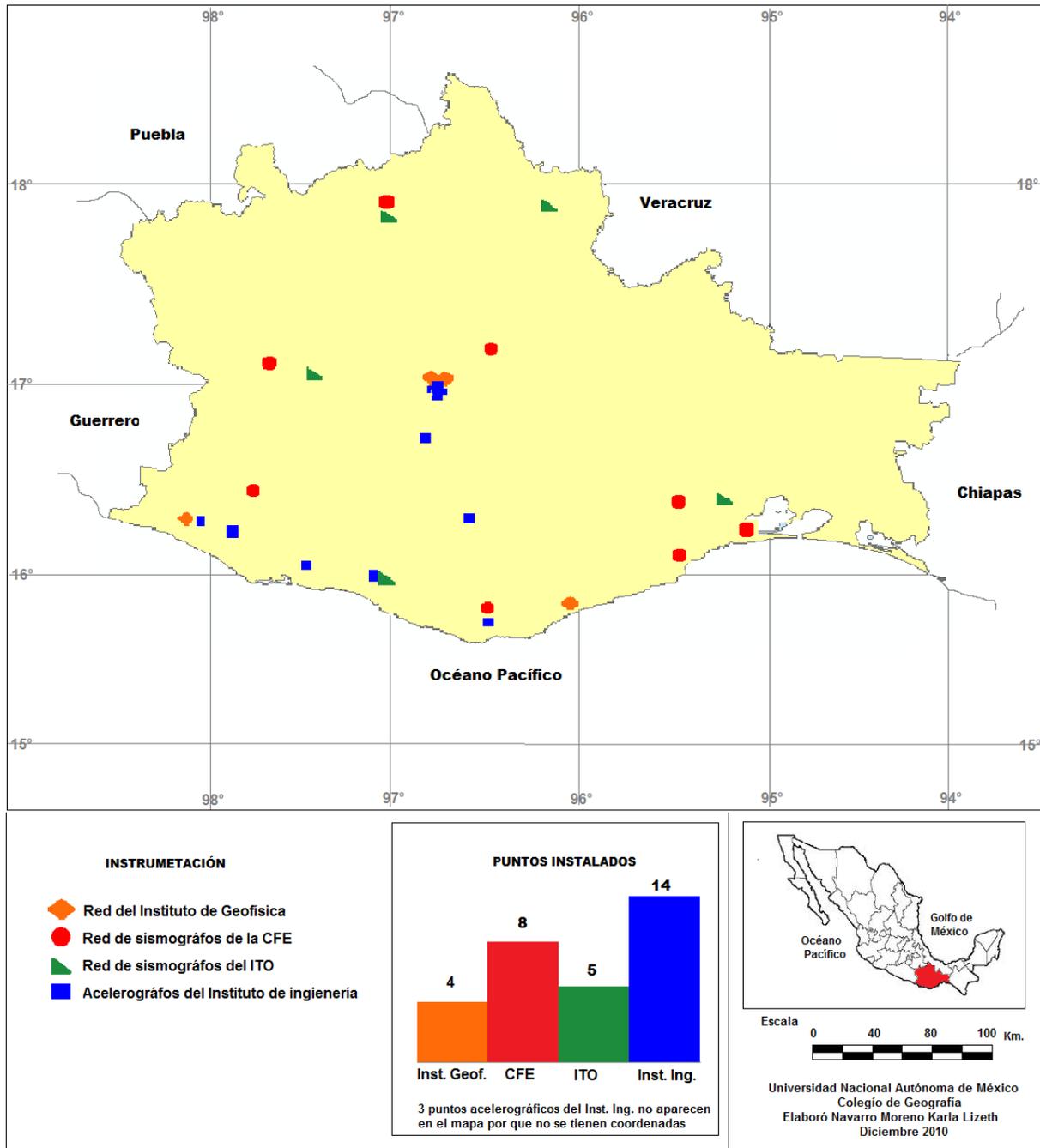


Fig. 3.4 Instrumentación sísmica en Oaxaca. Fuente. CENAPRED 2000

3.4 MODELACIÓN DE LA SISMICIDAD

De acuerdo al trabajo realizado por Reinoso (2010), para poder llevar a cabo una evaluación probabilista del riesgo, es necesario definir en términos cuantitativos las probabilidades de ocurrencia y las incertidumbres asociadas de diferentes eventos de tal forma que todos los escenarios posibles queden cubiertos.

El peligro que induce la actividad sísmica sobre regiones con poblaciones o asentamientos humanos ha derivado en la necesidad de establecer parámetros que definan el nivel de la amenaza, y metodologías generales que permitan estimar dichos parámetros.

Los parámetros que definen el nivel de peligro en un modelo de amenaza sísmica se conocen como parámetros de movimiento fuerte. Estos definen la intensidad del movimiento en el sitio de análisis considerando la actividad sísmica de la región. La actividad sísmica se define con los catálogos históricos de los sismos que han afectado la región y definiendo las características de los sismos que pueden llegar a presentarse. A partir de esta información se estiman las aceleraciones en roca por medio de ecuaciones conocidas como funciones de atenuación, las cuales dependen principalmente de la distancia de la fuente sismogénica al sitio, la magnitud sísmica, y el tipo de mecanismo focal de ruptura.

3.4.1 Estimación de parámetros de movimiento fuerte

La mayor parte de la energía de un sismo se libera en forma de ondas de esfuerzo, que se desplazan por la corteza de la Tierra. Dado que la magnitud está relacionada con la energía liberada en el foco del sismo, la intensidad de dichas ondas se encuentra relacionada con la magnitud. Los efectos de la magnitud son principalmente: a) el aumento en la amplitud de la intensidad, b) la variación en el contenido frecuencial y c) el aumento en la duración de la vibración.

A medida que las ondas se desplazan por el medio rocoso son absorbidas parcial y progresivamente por los materiales por los que transitan. Como resultado, la energía por unidad de volumen varía en función de la distancia. Dado que la intensidad está relacionada con la energía de las ondas, se encuentra también relacionada con la distancia. Muchas

funciones de atenuación relacionan la intensidad en términos de algún parámetro de movimiento fuerte, con una de las distancias presentadas en la Fig. 3.5, la cual caracteriza de diferente manera el origen del movimiento vibratorio. La distancia D1 representa la distancia del sitio a la proyección en superficie del plano de falla. D2 es la distancia a la superficie de falla. D3 es la distancia epicentral. D4 corresponde a la distancia hasta la zona en la superficie de falla que liberó una mayor cantidad de energía, la cual no necesariamente corresponde con el hipocentro, y por último D5 es la distancia hipocentral. El uso de alguna distancia en particular depende del parámetro a inferir. Por ejemplo, D4 es la distancia que mejor se relaciona con los valores pico del movimiento fuerte, dado que la mayor parte del rompimiento se produce en esta zona.

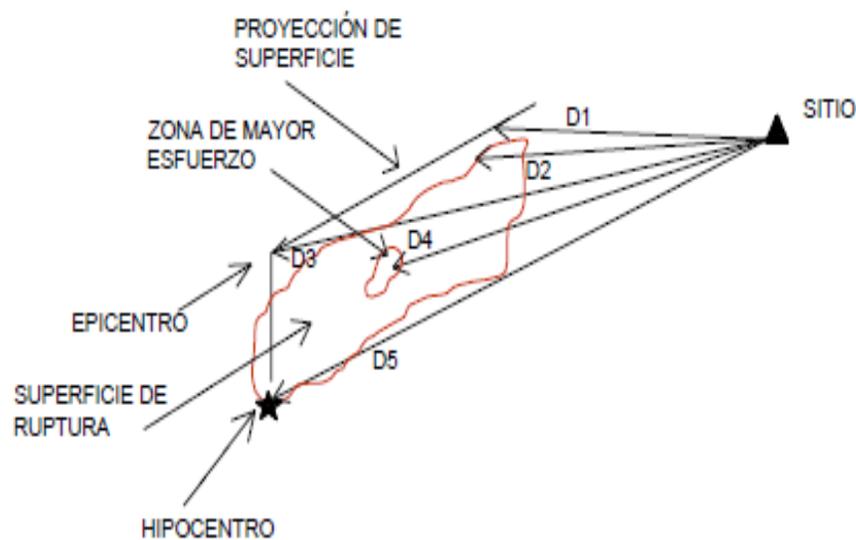


Fig. 3.5 Ejem. de varias medidas de distancia usadas en funciones de atenuación. Fuente: Reinoso ,2010

3.4.2 Estimación de los parámetros de amplitud

La estimación de los parámetros de amplitud se hace comúnmente a partir de regresiones realizadas a partir de conjuntos de datos históricos en áreas con buena instrumentación sísmica. A continuación se describen algunos parámetros que definen la amplitud de un movimiento sísmico.

Aceleración máxima

La aceleración máxima es el parámetro más empleado en los estudios de amenaza sísmica para representar el movimiento del terreno, por lo cual se han propuesto diversos modelos de atenuación de este parámetro con la distancia y las propiedades del medio transmisor. A medida que se cuenta con mayor cantidad de registros de sismos, es posible refinar las funciones de atenuación, lo que deriva en una frecuente publicación de correlaciones nuevas y más refinadas. El nivel de refinamiento aumenta a medida que se desarrollan métodos de procesamiento más avanzados.

Un sinnúmero de funciones de atenuación de aceleración máxima se han desarrollado a nivel mundial en las últimas 4 décadas, dada la alta relevancia de este parámetro dentro de los análisis de amenaza sísmica. En un marco más local en relación al estado de Oaxaca, se han realizado estudios que utilizan bases de datos de movimientos fuertes para desarrollar leyes de atenuación propias del entorno sísmico y neotectónico de la región.

Velocidad Máxima

Análisis similares a los realizados para la aceleración máxima del terreno han derivado en la obtención de relaciones de atenuación de la velocidad máxima horizontal a partir de la misma base de datos. García *et al.* (2005) desarrollaron funciones de atenuación de velocidad para una región que comprende al estado de Oaxaca, dicha función se obtuvo empleando registros de sismos moderados a través de regresiones, teniendo ésta la siguiente forma:

$$\log PGV(cm/s^2) = -2.4 + 0.71M - 0.0023R + \log R + 0.004H + \sigma$$
$$\sigma_{\log PGV} = 0.26$$

Ordenadas del espectro de respuesta

Dada la importancia que ha tenido el espectro de respuesta dentro de la práctica de la ingeniería sísmica, se han desarrollado relaciones de atenuación para obtener las ordenadas del espectro de manera directa. Esto puede realizarse a partir de regresiones sobre espectros calculados a registros acelerográficos de zonas con buena instrumentación sísmica.

Amplitud del espectro de Fourier

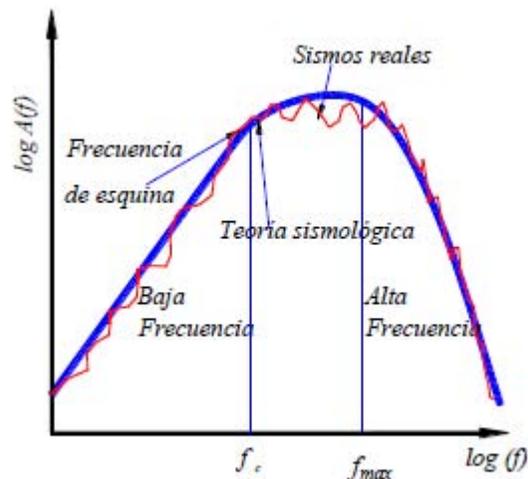
Alternativamente se puede calibrar un modelo teórico de las características físicas de una fuente, medio de tránsito de ondas, y comportamiento de la respuesta en el sitio, para predecir la forma del Espectro de Fourier. A partir de la solución del rompimiento instantáneo sobre una superficie esférica en un medio perfectamente elástico (Brune, 1970), es posible estimar las amplitudes del espectro de Fourier, en sismos lejanos por medio de la relación (McGuire & Hanks, 1981 y Boore, 1983):

$$|A(f)| = \left[CM_o \frac{f^2}{1 - (f/f_c)^2} \frac{1}{\sqrt{1 + (f/f_{max})^8}} \right] \frac{\exp(-\pi\eta R/Q(f)v_s)}{R}$$

Donde f_c es la frecuencia de esquina, f_{max} la frecuencia máxima o de corte (ver Formula 3.2), $Q(f)$ es el factor de calidad, M_o es el momento sísmico, y C es un constante dada por:

$$C = \frac{R_{\Theta\Phi} FV}{4\pi\rho v_s^3}$$

donde $R_{\Theta\Phi}$ es el patrón de radiación, F depende del efecto de superficie libre, V da cuenta de la partición de la energía en dos componentes horizontales, ρ es la densidad de la roca, y v_s es la velocidad de onda de corte en la roca.



3.6 Modelo teórico de atenuación de Espectros de Fourier. Fuente: reproducción. Reinoso, 2010

Duración

La duración del movimiento aumenta al aumentar la magnitud sísmica. Sin embargo, la variación con la distancia depende de cómo se defina el parámetro. Para duraciones basadas en amplitudes de aceleración absoluta, como la determinada con el umbral de duración, tienden a disminuir a medida que aumenta la distancia, dado que la aceleración absoluta disminuye de la misma manera. Duraciones basadas en aceleraciones relativas se incrementan con la distancia, y derivan en duraciones muy largas aun cuando las amplitudes sean muy pequeñas.

3.4.2 Cálculo de la amenaza

El cálculo de la amenaza sísmica emplea las definiciones y métodos presentados anteriormente, para establecer el nivel de peligro esperado en un sitio o zona determinada, bajo la influencia de la actividad sísmica de fuentes identificadas. Históricamente los científicos se han preocupado por desarrollar metodologías de cálculo que representan cada vez mejor el comportamiento de las fuentes, el tránsito de las ondas dentro del medio rocoso, la respuesta de los suelos y la respuesta estructural en el sitio de interés. De esta manera, es posible identificar dos metodologías primordiales de evaluación de amenaza que engloban los esfuerzos realizados en el pasado en diferentes estudios en el ámbito mundial.

Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes y los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, puede calcularse la amenaza sísmica considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura. La amenaza, expresada en términos de las tasas de excedencia de intensidades S_a , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$v(S_a) = \sum_{n=1}^N \int_{M_0}^{M_u} -\frac{\partial \lambda}{\partial M} \Pr(SA > S_a | M, R_i) dM$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas N , y $\Pr(SA > S_a | M, R_i)$ es aquella definida con la ecuación. Las funciones $i(M)$ son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas.

La integral se realiza desde la intensidad menor esperada, M_0 , hasta la mayor intensidad que se puede presentar en una fuente, M_u , lo que indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes.

Conviene hacer notar que la ecuación anterior sería exacta si las fuentes sísmicas fueran puntos. En realidad son volúmenes, por lo que los epicentros no sólo pueden ocurrir en los centros de las fuentes sino, con igual probabilidad, en cualquier punto dentro del volumen correspondiente. Se debe tomar en cuenta esta situación subdividiendo las fuentes sísmicas en triángulos, en cuyo centro de gravedad se considera concentrada la sismicidad del triángulo. La subdivisión se hace recursivamente hasta alcanzar un tamaño de triángulo suficientemente pequeño como para garantizar la precisión en la integración de la ecuación anterior.

3.5 ESTIMACIÓN DE ESCENARIOS

Como resultado se pueden obtener diferentes escenarios que definirán el peligro sísmico. Ejemplo de dichos son para diferentes magnitudes y diferentes fuentes generadoras. Además de lo anterior, es importante mencionar que debido a que se conocen los parámetros de excedencia de las magnitudes para cada una de las fuentes de interés, cada uno de los escenarios que se muestran en este documento, así como aquellos que se emplean para definir el riesgo por sismo, están asociados a una probabilidad de ocurrencia, dato importante al usar un método de estimación probabilista.

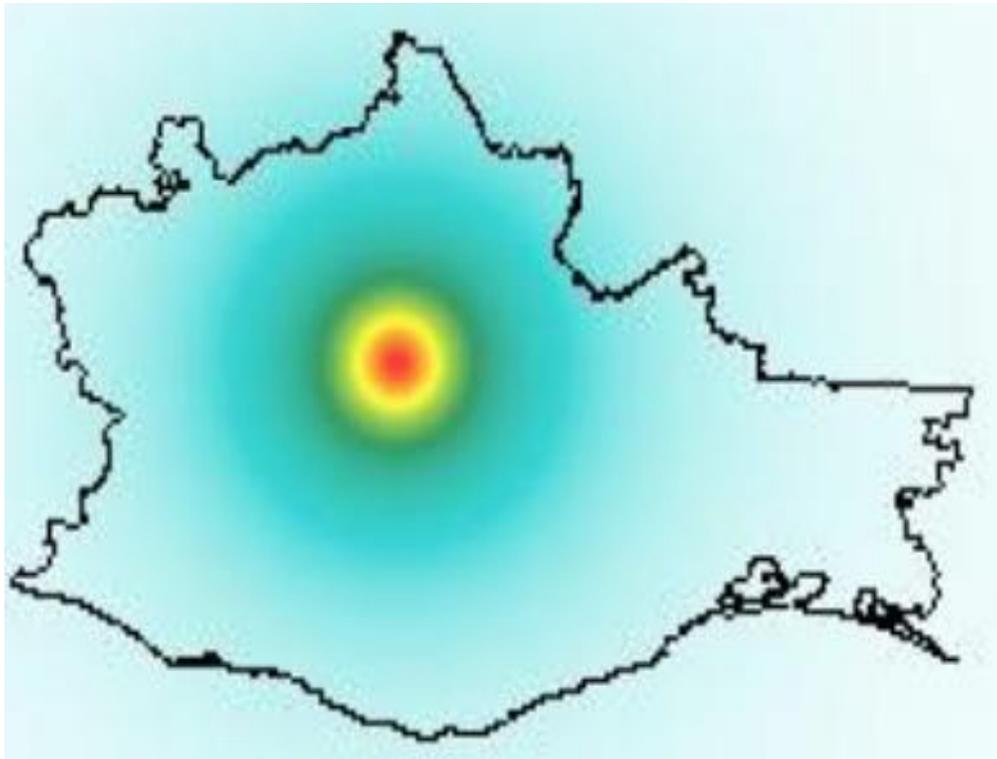


Fig. 3.7. Sismo intraplaca superficial simulado con magnitud de 5.2. Fuente: Reinoso 2010.

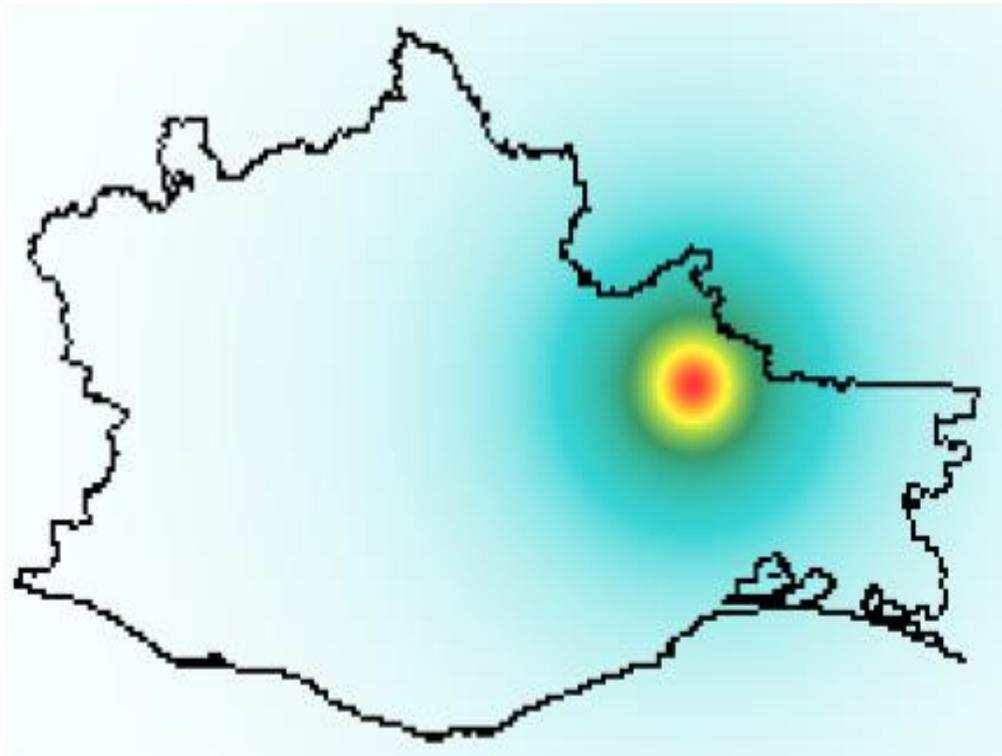


Fig. 3.8. Sismo intraplaca superficial simulado con magnitud de 6.8. Fuente: Reinoso 2010.

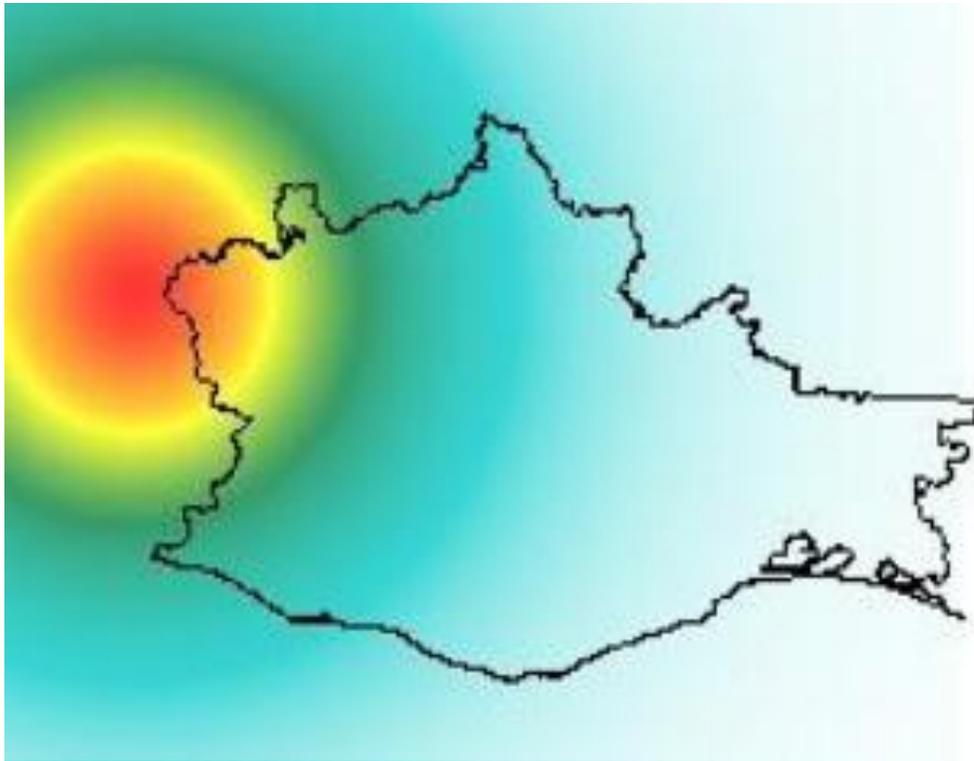


Fig. 3.9. Sismo intraplaca superficial simulado con magnitud de 7.1. Fuente: Reinoso 2010.

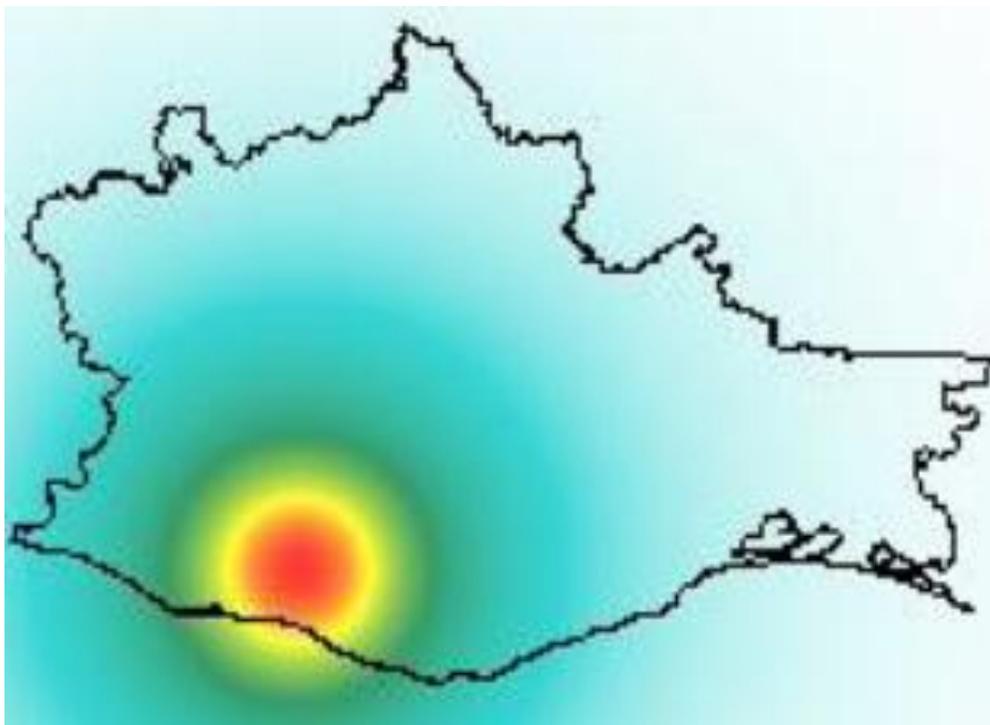


Fig. 3.10. Sismo intraplaca superficial simulado con magnitud de 8.2. Fuente: Reinoso2010.

Los escenarios hechos por Reinoso (2010) en las 4 magnitudes, están establecidas en zonas de debilidad geológica; los primeros cuatro son considerados intraplaca, esto es, dentro de la placa norteamericana, mientras que el último, esta en la zona de contacto entre las placas Norteamericana y Cocos, o también llamada zona de subducción.

Como se puede deducir en las figuras anteriores, la actividad sísmica en el estado de Oaxaca es considerable y están muy bien definidos los límites tectonoestratigráficos.

El escenario de magnitud de 5.2 se encuentra ubicado en el centro del estado, en la franja más estrecha de los Valles Centrales entre la Mixteca y la Sierra Norte, en el norte de la ciudad de Oaxaca de Juárez, dentro de la falla de Oaxaca al norte del contacto con la falla Donaji, las cuales son las limitantes con los terrenos tectonoestratigráficos Cuicateco y Zapoteco.

El sismo de intraplaca, simulado a una intensidad de 6.8, con epicentro entre la Sierra Norte y el Istmo de Tehuantepec, es de propagación de onda pequeña. El escenario se encuentra sobre la cabalgadura de Vista Hermosa, límite entre el terreno Maya y el Cuicateco.

En escenario de magnitud de 7.1 fue centrado en el estado de Guerrero, en continuación con la falla de Juchatengo división entre el terreno Mixteco y Chatino.

Por último, el cuarto escenario de 8.2, es el único realizado en la zona de subducción en la Trinchera Mesoamericana en los límites de la brecha de Guerrero, zona más activa y donde se cree que la energía liberada será la que produzca un gran sismo, parecido al de 1985. Su epicentro se localiza en Puerto Escondido, parte oriental de la costa, abarcando de Pinotepa Nacional hasta la zona de Huatulco.

EPICENTROS DE SISMOS EN OAXACA

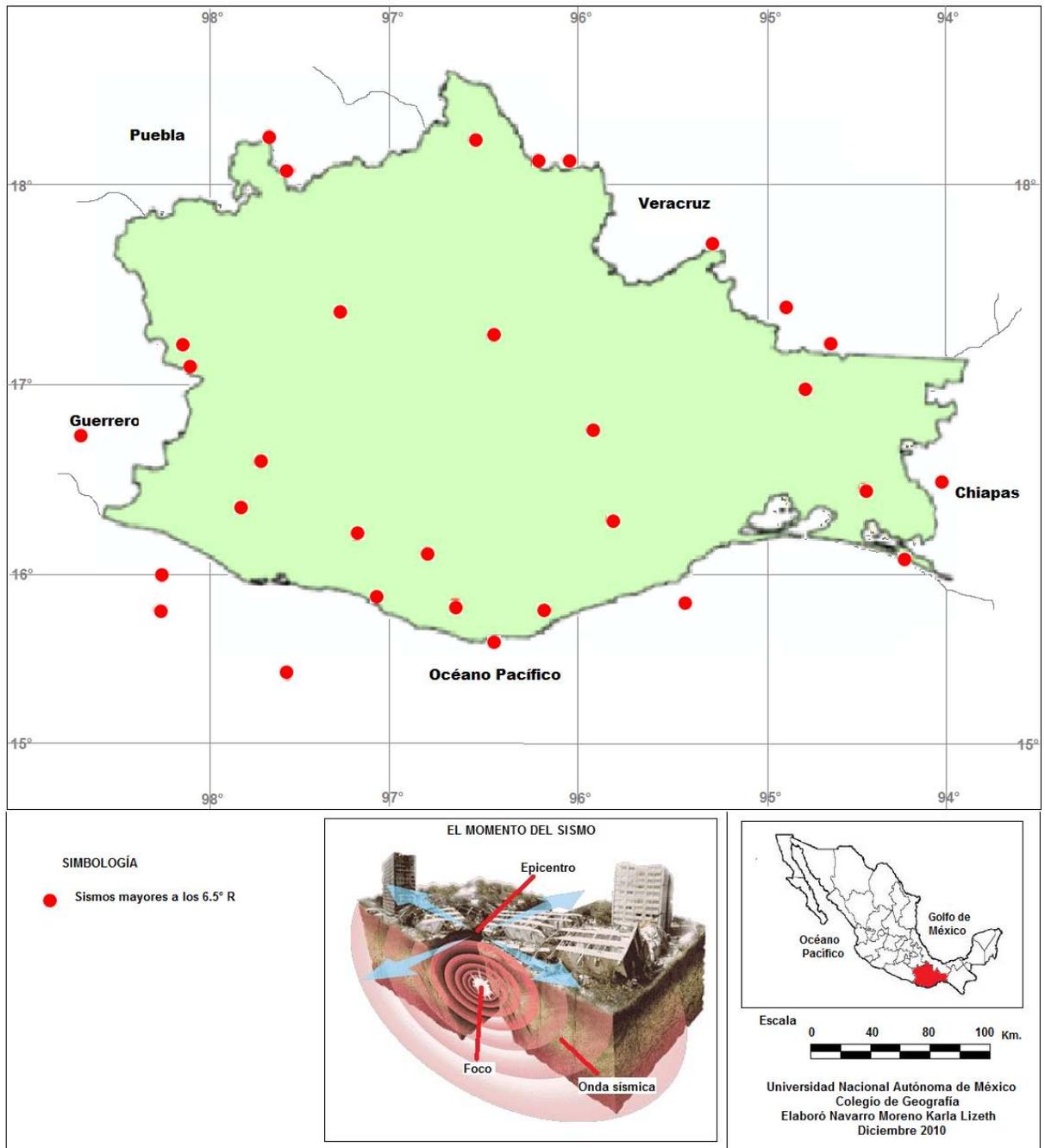


Fig.3.12. Epicentros de sismos con magnitudes mayores o igual que 6.5° R. Fuente Reinoso, 2010

EPICENTROS DE SISMOS EN OAXACA

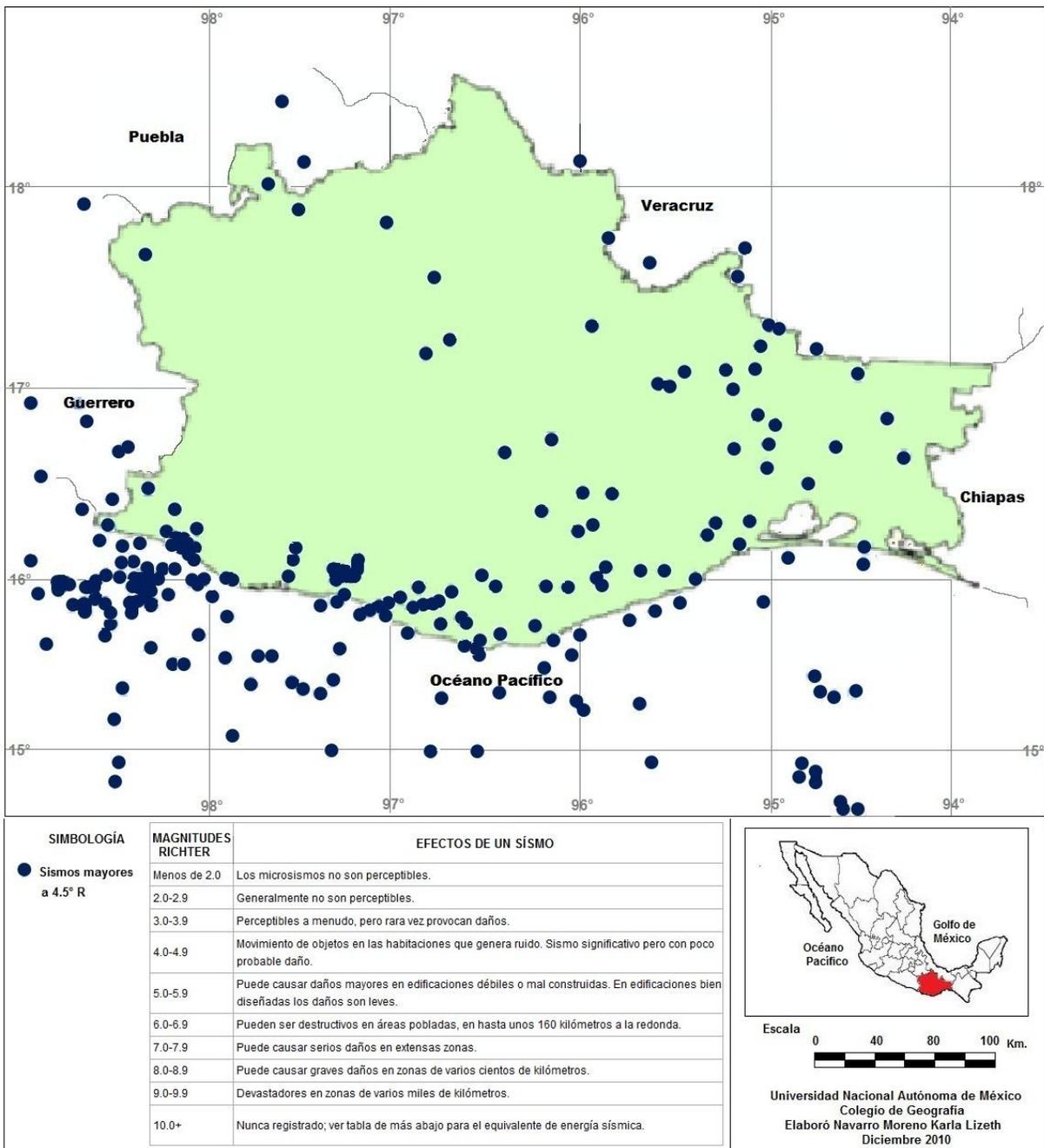


Fig.3.11. Epicentros de sismos con magnitud mayor o igual que 4.5° R.. Fuente Reinoso, 2010

3.6 Estimación de amenaza probabilista en roca

Además de escenarios específicos como los mostrados en la sección anterior, una vez conocidas las fuentes sísmicas y las leyes de atenuación, se pueden obtener los mapas.

Los resultados obtenidos se expresan por medio de intensidad como la aceleración máxima del terreno ($A_{máx}$) o aceleraciones espectrales, ambas para diferentes periodos de retorno. Las figuras 3.11 y 3.12 muestran mapas para los periodos de retorno de 150 y 500 años.

Esta información ejemplifica los resultados que se obtienen de definir el peligro sísmico, con ella, se está en posibilidades de definir diferentes escenarios en magnitud, localización (fuente) y periodo de recurrencia. Esta información, junto con los resultados que se obtengan del estudio de efectos de sitio.

ACELERACIÓN MÁXIMA EN 150 AÑOS

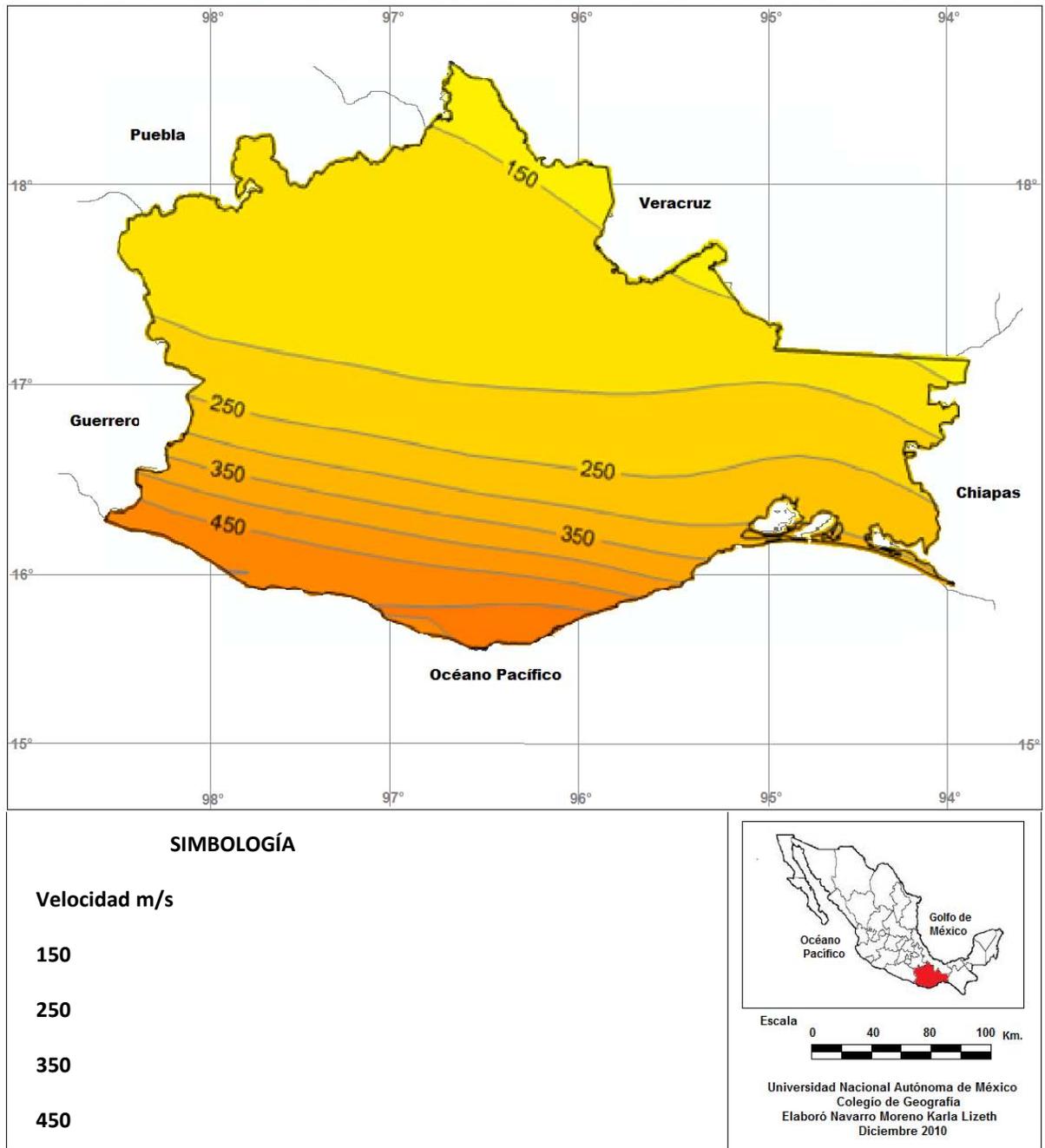


Fig. 3.13. Aceleraciones máximas del terreno, para un periodo de retorno de 150 años. Fuente: *Reinoso, 2010*.

ACELERACIÓN MÁXIMA EN 500 AÑOS

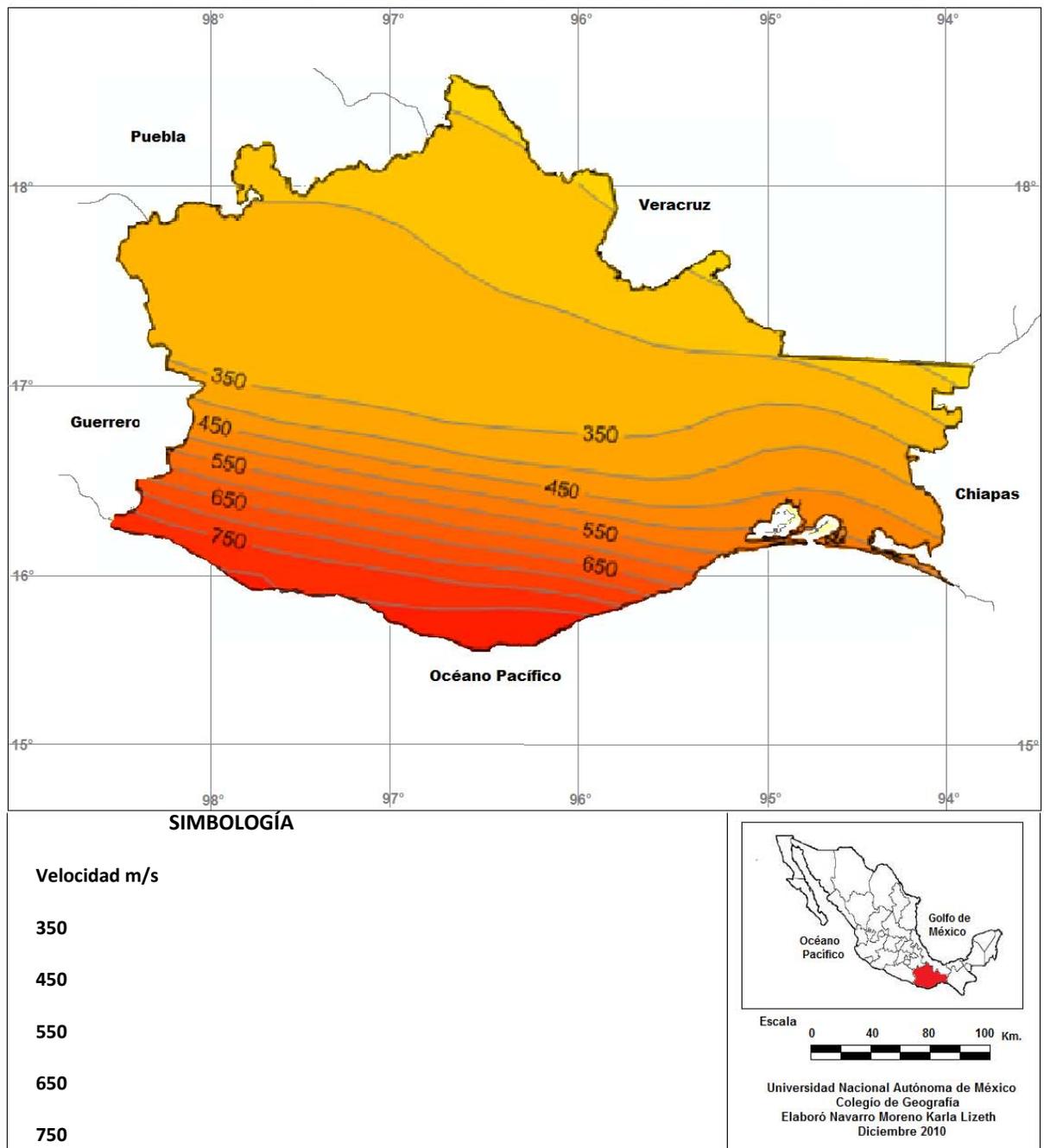


Fig. 3.14. Aceleraciones máximas del terreno, para un periodo de retorno de 500 años. Fuente: *Reinoso, 2010*.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS FISIOCRÁFICO

La Geografía como se ha expresado, destaca como una ciencia integradora, porque se nutre tanto de la Geología, Biología, Climatología, que son ciencias naturales, como de la Economía, Sociología, que son ciencias sociales. En este capítulo se abordará la relación que tiene la Geografía con la Geología, ya que es la parte exterior de la corteza terrestre que desempeña el papel de sustrato para todos los procesos naturales y actividades humanas.

Así es que, los procesos que están activos dentro de la corteza son manifestaciones de los que actúan en niveles más internos de la Tierra; mientras que los procesos que actúan sobre la superficie, están controlados o influenciados básicamente por el relieve cuyo origen primario se deriva de los procesos activos de la corteza terrestre.

La morfología de una región depende fundamentalmente de la constitución geológica de la misma. Esto quiere decir que la naturaleza de las distintas rocas, sean estas sedimentarias, cristalinas o volcánicas, y las estructuras que estas poseen, determinan en primera instancia los defectos que los procesos exógenos producirán sobre ellas. Los cambios diurnos de temperatura facilitarán la desintegración de las rocas cristalinas y los productos de esa desintegración se prestarán para su acarreo o transporte por los ríos. Por otra parte, las calizas en un clima húmedo y cálido, por ejemplo, favorecerán no solo el desarrollo cárstico, sino también, el desarrollo de lateritas con grandes extensiones de terrenos fangosos o lodosos. La presencia de rocas volcánicas, incluyendo aparatos volcánicos, en regiones de clima húmedo, resulta en una morfología de terreno ondulante con la presencia de cerros aislados. Obviamente, la morfología de una región, a su vez, determina, en la mayoría de los casos, los sitios aptos para establecer un asentamiento humano y las actividades a las que los lugareños se van a dedicar.

4.1 LIMITACIONES DE LA CARTA FISIOGRÁFICA DEL INEGI

Cuando se originó la palabra fisiografía (etimología la *physis*: naturaleza, y *grapho*: describir) solo se podían hacer descripciones superficiales, pero al igual que con la palabra geografía, está a tenido una evolución, por los conocimientos e instrumentos que se han desarrollado a lo largo del tiempo, lo que hace posible describir la litología y seguir dentro del mismo origen de la palabra, donde se describe en conjunto.

Para carta fisiográfica del INEGI, perteneciente a la Síntesis Geográfica del Estado de Oaxaca (1987), se tomó en cuenta a la vegetación, morfología y el clima, dejando con menor importancia a las condiciones litológicas, esto no es incorrecto, pero si incompleto porque solo se toma en cuenta a las condiciones superficiales.

Esto ocasiona que cuando alguien que requiere consultar la información geológica y geomórfica conjunta en un mapa, el fisiográfico del INEGI no sea el adecuado.

Cuando se revisa la carta realizada por esta institución, a escala 1:50 000, el lector encuentra como primer problema, el visual, puesto que en él, solo hay 5 colores, pertenecientes a las provincias fisiográficas nacionales, ocupando así por ejemplo, la sierra un 80% del estado.

El segundo problema y el más importante se repite en los mapas de cualquier escala del INEGI:

Al norte del paralelo 18°50' norte, al noroeste de Oaxaca y en limitantes con Puebla, se ubica el área del Sistema Volcánico, como parte de la subprovincia del Sur de Puebla.

El área de la Mixteca esta circunscrita con sierras altas y bajas, lomeríos cañadas, mesas y valles a la Sierra Madre del Sur, en el noroeste de Oaxaca.

A la Cordillera del Sur, subprovincia de la Sierra Madre del Sur, inicia en el noroeste de Oaxaca a 185 km. del litoral del Pacífico.

Las proporciones bajas con planicies y lomeríos con altitudes de menos de 600 m, corresponden a la costa sur de las denominadas Planicies Costeras del Pacífico.

Las llanuras del Istmo, las establece como una discontinuidad, que denomina Cordillera Centroamericana.

Partes planas y más septentrionales, del Istmo de Oaxaca las considera como Llanura Costera del Golfo.

A la Sierra Madre de Chiapas, que se sitúa al este de Oaxaca las denomina Sierras de Chiapas y Guatemala.

Las Depresiones Centrales de Oaxaca son marcadas como sierras.

Si se observa con atención la Sierra Madre Oriental y la Sur están unidas como Sierras Orientales perteneciente a la provincia de la Sierra Madre del Sur, además si se interpolara con un topográfico y un geológico las limitantes no coincidirían.

La Depresión del Balsas es omitida como unidad, quedando dentro de la cordillera de la Costa Sur, la cual es extendida hasta la limitante noroeste del estado.

La Llanura Costera Veracruzana está bastante reducida en su anchura mientras que no aparece la zona que se encuentra entre la planicie Costera del Golfo entre la Planicie Istmica Septentrional y Sierra Madre de Chiapas.

Mientras que en el mapa fisiográfico de escala mayor, encontrado en la página de internet de INEGI (Fig. 4.1), el problema visual es que las diferentes provincias repiten colores en donde la variación es de tonos, ocasionando que los lectores es el no puedan distinguirlos, mientras que se repiten las omisiones anteriores.

4.2.1 Metodología

Para la realización del mapa fisiográfico se tomaron en cuenta las siguientes cartas del INEGI: la topográfica, geológica, uso de suelo, vegetación y clima. Los datos de entrada para la cartografía quedan determinados en un conjunto de datos acotados a dos valores; X, Y (longitud y latitud respectivamente).

Mapa de geoformas. Para su elaboración del mapa, se toma la carta topográfica y se escogen las curvas de nivel a cada 50 m., esto nos permite clasificar el relieve en las principales formas; luego se sobrepone con la geológica y uso de suelo; de ello se obtienen regiones, de las cuales surgen las divisiones de las geoformas, este mapa es importante ya que será la base de nuestro mapa fisiográfico por las siguientes razones:

El mapa geológico y uso de suelo, dan una noción más exacta de donde limitan la roca, ayudando así a delimitar la provincia fisiográfica.

De la roca intemperizada surge el suelo, y de él nace la vegetación

La topografía es fundamental para delimitar la provincia y determinar el cambio de clima.

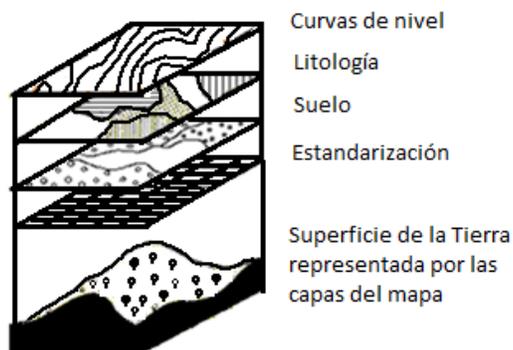


Fig. 4.2. Información en capas temáticas de un Sistema de Información Geográfica: Fuente Propia

GEOFORMAS DE OAXACA

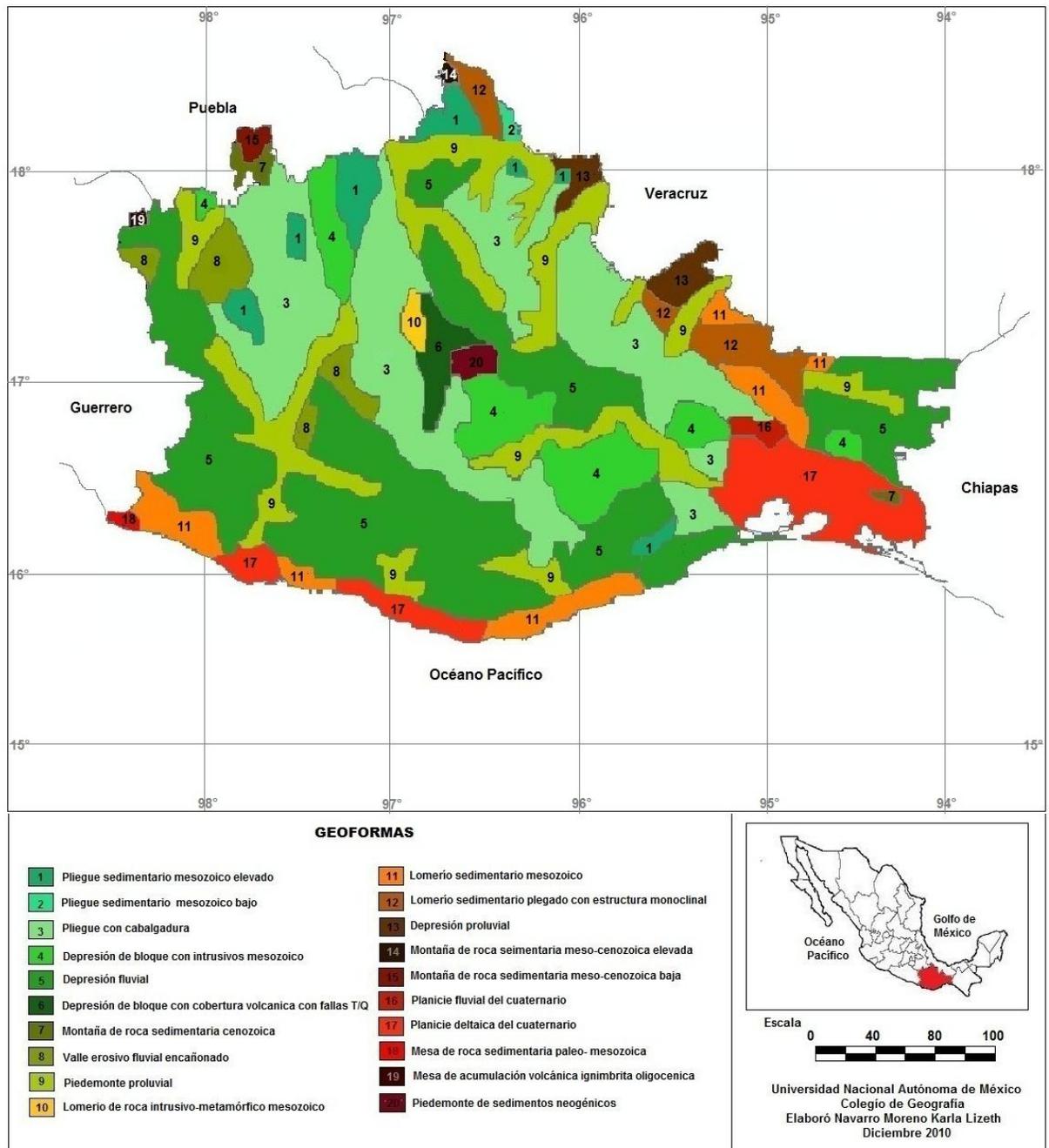


Fig. 4.3 Mapa de Geoformas de Oaxaca. Fuente: Correa, 1986; INEGI 1987

4.2.2 Mapa fisiográfico

FISIOGRAFÍA DE OAXACA

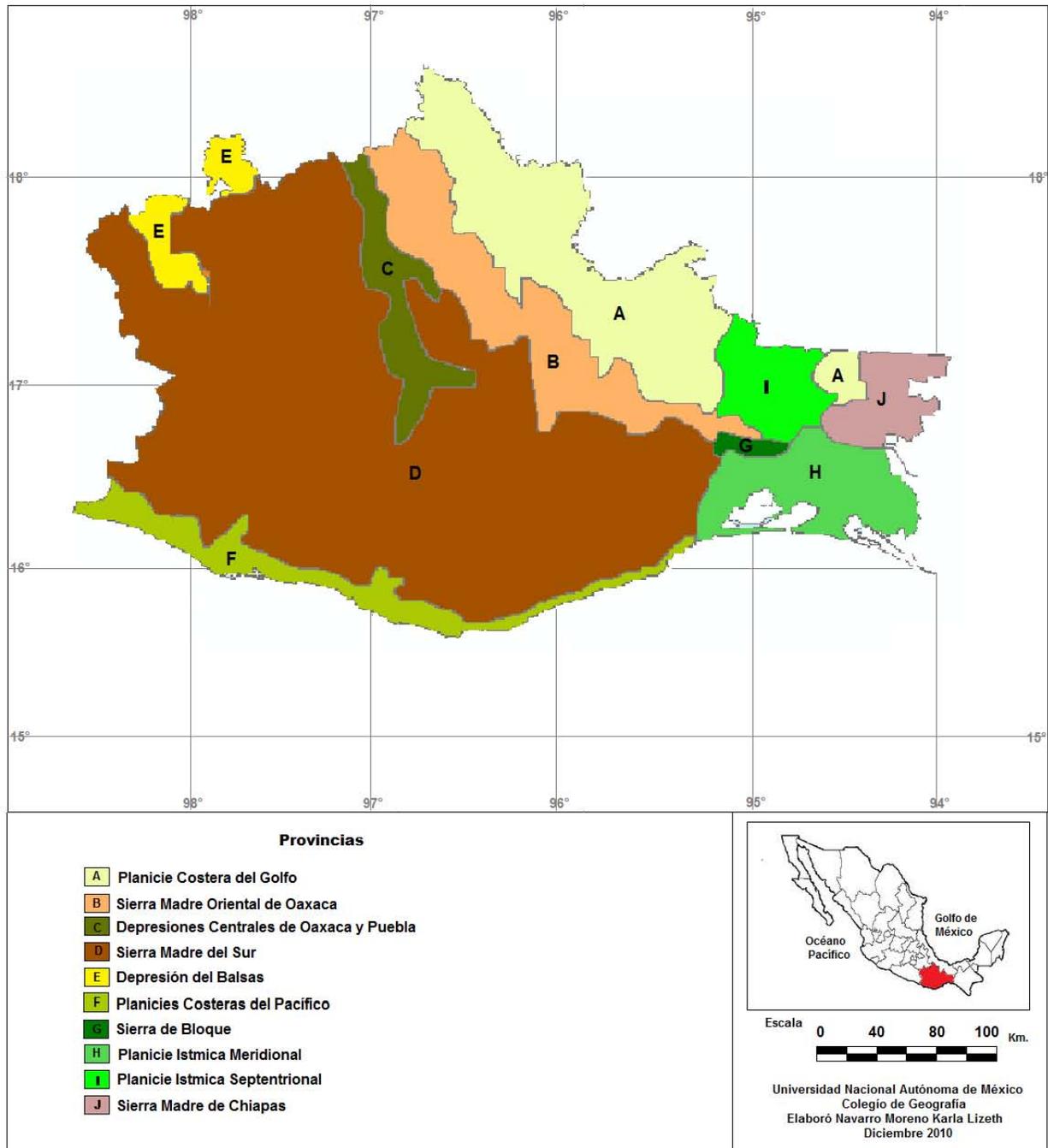


Fig. 4.4 Mapa Fisiográfico de Oaxaca. Fuente: Correa 198; INEGI, 1987

4.3 ANÁLISIS DEL MAPA FISIOGRÁFICO

Según el estudio realizado por el autor de la presente tesis y con base en la fisiografía elaborada para Oaxaca (Correa, 1986) las provincias fisiográficas son:

Planicie Costera del Pacífico

Comprende una serie de planicies y lomeríos que siguen una dirección más o menos oeste-noroeste, este-sureste, desde el este de la punta de Maldonado hasta el este de la Punta el Choro y se extiende por 361 km de largo con un promedio de casi 14 km de ancho. En su tramo más angosto, frente a Punta Embarcadero tiene una amplitud de 2 km, mientras que frente a la Laguna de Chacagua se amplía por casi 30 km. Con todo y lomeríos la amplitud máxima se ubica entre la laguna Cerralero, en dirección nornoroeste, hasta El Rosario municipio de Zacatepec. De Pinoteca Nacional hacia el este se le conoce como Costa Chica, colinda al norte con la Sierra Madre del Sur, al este con la Planicie Ístmica Meridional, al sur con el Océano Pacífico y al oeste con la Costa Chica de Guerrero.

Las planicies costeras están constituidas lógicamente por rocas sedimentarias aluviales del cuaternario, sobretodo de Santiago Tepextla hacia el oeste de Punta Cometa. Al oeste de las planicies llega a encontrarse rocas ígneas intrusivas del Terciario y del Jurásico, así como rocas graníticas intrusivas del Terciario y del Jurásico, que entre Punta Cometa y playa Zapotenco llegan hasta el mismo litoral. Entre Salchi y el Río Copalita se advierten las ígneas intrusivas del Jurásico, y en el resto de la costa hasta Punta El Chivo las rocas metasedimentarias del Paleozoico.

Los lomeríos se ubican al extremo oeste, al norte de la planicie entre Punta Cometa y Santiago Astata. También se hacen presentes al este del Río Grande y norte de La Planta. La Sierra Madre del Sur baja la encontramos limitando con la planicie entre el Río Verde y San Pedro Pochutla entre Santiago Astata y Punta Chivo. Junto a San Pedro Amusgos y el Río La Arena se tienen valles con laderas y lomeríos. Hay valles con ladera en Santos Reyes Nopala. Áreas con playa y barra las ubicamos al oeste, sur y este de la Laguna Corralejo.

Sierra Madre Oriental

Tiene una longitud de casi 270 km y una anchura promedio de casi 70 km. La Sierra Madre Oriental en Oaxaca, se inicia en el Río Petlapa (frontera con Puebla). En la parte más septentrional tiene a la sierra Mazateca, y se extiende con dirección noroeste-sureste hasta Guevea de Humboldt, donde se encuentra la sierra Banderilla. En esta parte limita con la sierra de bloque de Tolitoquete, al suroeste de Valle Nacional está la sierra de Juárez, y casi desde Valle Nacional hasta la cañada con Río Tehuantepec, se le conoce como sierra Mixe, esa zona es alta, y tiene al cerro Zempoaltepetl, 3,280 m, al noreste de Santa María Tlahualtepec.

La orogenia Laramide ejerce impacto en la fisiografía de la Sierra Madre. La tectónica modifica y cambia la situación original de las formaciones, desde el Jurásico hasta el Cretácico Superior, con un buen número de fallas inversas y plegamientos en “decollament” (Viniestra, 1998). Todo esto repercutió en la sedimentación costera durante el Cenozoico.

La orogenia de la Sierra Madre Oriental es muy compleja y lo mismo su evolución que se manifiesta en movimientos de deslizamientos por gravedad, por la gran pendiente que se desarrolló.

El frente de avance de pliegues y fallas de sobre-corrimiento, se proyecta sobre sedimentos del Eoceno que se depositan al este en Veracruz, se advierte por el perfil de erosión de más de 20° (Viniestra, 1998). El frente de la Sierra Madre presenta una gruesa secuencia de rocas sedimentarias mesozoicas que descansan sobre basamento metamórfico, esquistos, gneises y filitas.

Para INEGI, las rocas dominantes son las metamórficas que se encuentran desde el paralelo de Teotitlan hasta el sureste de San Juan Mazatlán, frente a la cuenca del Río Tehuantepec dominan las rocas mesozoicas del Cretácico y Jurásico (areniscas, calizas y metasedimentarias), así como las ígneas intrusivas del Cretácico (granitos) y las extrusivas del Terciario (emisiones basálticas). Al norte de la sierra de Juárez hay una secuencia sedimentaria cretácica de rocas calcáreas, también rocas ígneas del Paleozoico al sureste de San Juan Mazatlán.

La denominada Sierra Compleja es la topografía más extensa en la Sierra Madre y va desde el oeste de Teotitlan, pasando por la sierra de Juárez, Santiago Choapan, cerro las Flores, hasta el Río Los Perros, en La Primavera, entre otros lugares.

La Sierra de Cumbres Tendidas se ubica en la sierra Mazateca al noreste de Ixtlan de Juárez, en Agua Canoa, Agua León, entre otros. Sierra baja compleja, al norte y este de San Juan Mazatlán, al sur de la Presa Miguel de la Madrid. Sierra baja, entre San Agustín y San José Chiltepec. Los lomeríos desde Santiago Yareo hasta arroyo Lirio. Lomerío con cañada, se encuentra alrededor de la presa Benito Juárez.

La Sierra Madre del Sur

La Sierra tiene una longitud de 366 km y una anchura promedio de 122 km. Está orientada sensiblemente noroeste-sureste tienen sus cumbres una altitud de más de 2,000 m y algunos de los cerros como el cerro Nube (3,720 m) se elevan arriba de los 3,500 m.

Conforma un sistema de cordillera, que se desarrolló por compresión y plegamiento, con diversas fallas, generalmente inversas y traslapes, así como emplazamientos intrusivos, metamorfismo, volcanismo y otros eventos. Cabe resaltar que el volcanismo no resulto tan activo como se presentó durante el terciario en otras sierras.

La forman principalmente plegamientos mesozoicos y no dejan de estar paragneises, esquistos, migmatitas y otras rocas que corresponden al Precámbrico, Paleozoico, Mesozoico y probablemente hasta el Terciario temprano.

La colisión e interacción de la placa continental (Norteamericana) con la oceánica (Cocos) en gran parte del Mesozoico, particularmente en el Terciario y Cuaternario determinaron su formación, y sigue afectando la geomorfología y la fisiografía de esta porción oaxaqueña.

El desarrollo de la Sierra Madre del Sur, así como su evolución, al igual que el de la Sierra Madre Occidental se da por el magmatismo que se presentó. Varios ciclos de eyecciones se tuvieron, algunos de basicidad y otros de alcalinidad, lo mismo que por los emplazamientos plutónicos graníticos y dioríticos, lo que caracteriza a la formación del sistema cordillerano.

La Sierra Madre del Sur se inició como sistema orogénico, durante la orogenia Laramide en México. Rocas sedimentarias paleozoicas y mesozoicas se plegaron, sufriendo deformaciones y por tanto metamorfismo. El basamento lo conformarían rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas (Mixteca alta).

En la porción sur se encuentra la sierra de Juquila y la de Zolotepec. Se presentan cerros como el Yacunda, 2,950 m, al suroeste de Santo Domingo Ixcatlán; el Gueyon, 2,750 m, al suroeste de Mihuatlán y el Quiexobee de 3,600 m en el este de la misma.

La sierra es compleja y alta en la proximidad de Yacunda hasta el noroeste de Cahuaca, de Putla Villa Guerrero hasta Independencia, hasta el sur de Yolotepec hasta Zazondencia y Santa María Sola, y de este lugar por el Río Sola hasta Coatlán. También los tenemos desde el Zapote hasta el cerro del Burro, suroeste de Reforma Ixtlayutla al sureste de Tultepec, de Tetaltepec de Valdez a Santa Catarina, Juquila, de San Andrés Paxtlán al oeste Pluma Hidalgo, entre otros.

Sierras de cumbres tendidas, casi de San Marcos de Arteaga hasta la proximidad de Coicoyán al sur de Tlaxiaco, de Santiago Juxtlahuaca hasta Guerrero, el cerro de la Niebla; desde el sur de Sola hasta el cerro del Eslabón, desde San Vicente Nuño hasta el Río de las Minas, al noroeste de Santiago Amortepec, a los alrededores de Santa María, entre cerro Verde y Santa María Apasco, al noroeste de las Flores, este de Santiago Chazumba, Laxichio, al sur de Ozolotepec, al norte de Ecatepec y cerca de Santa María entre otros.

Sierra baja, en la vecindad de San Juan Cieneguilla, al noreste de Coatlán, al oeste de Ihualtepec; en Santa María Huatulco, al noreste del Corral de Piedra y al oeste de Iloxicha.

Sierra Madre de Chiapas

La Sierra Madre de Chiapas en su posición occidental, se interna al este y el extremo noreste de Oaxaca. Está integrada por un batolito granítico plegado que corresponde al Paleozoico. Esta porción al oeste y sur, llega a una altitud de casi 100 m y en el centro-está a más de 1,800 m. El sistema de toformas que domina es el de sierra alta de cumbres escarpadas, tiene elevaciones como el cerro Chichón de 1,950 m, así mismo, en la sierra Cordón, el Retén, casi alcanza dicha altura, mientras que en la sierra Espinazo del Diablo en algunas áreas llega a

1,240 m, y en la sierra Tres Picos, 1,030 m. En la parte alta nacen ríos como el Uxpanapa, el Corte, el Espíritu Santo, el Niltepec, el Chichihua, el Ostuta, el Zanatepec y otros.

La formación de la Sierra Madre de Chiapas fue originada por el movimiento intrusivo del batolito que la conforma, que comprimió sedimentos marinos mesozoicos, acción que favoreció la sal subyacente de la cuenca salina jurásica de Campeche, así mismo los grandes movimientos de giro que dio la Plataforma Yucateca y que ha provocado fallas de transurrencia, plegamientos de recumbencia hacia el oeste, movimientos de la plataforma metamórfica Paleozoica de Yucatán, girando de este a noreste y norte, desde Guatemala, se manifiestan con las fallas de transurrencia de Motagua y Polochic, que nacen en la región norte del Caribe (Antillas), para perderse en las costas del Pacífico y en la depresión de Chiapas (Viniestra, 1998). Al norte de estas dos fallas, las fracturas son frecuentes en Chiapas y continúan hacia Tabasco, en dirección Noroeste, habiéndose originado desde el Paleoceno.

El emplazamiento diorítico del Paleozoico (batolito) al intrusar las rocas mesozoicas y cenozoicas creó esfuerzos tangenciales que comprimieron y plegaron, de tal manera que la orogenia desarrollada corresponde a la orogenia Laramide; durante ella, la sal subyacente jurásica dio movilidad a las rocas para llegar al plegamiento formando un sistema orográfico muy complejo, con dislocaciones donde los planos axiales normales con orientación noroeste-sur cambiaron de echado, lo que origina recumbencias dirigidas al suroeste, y contrarias a la dirección de los esfuerzos (Vianegra, 1998).

Esta Sierra Madre en Oaxaca se extiende por 110 km de oeste a este y tiene una anchura media de 68 km y es más amplia al este en la frontera con Chiapas.

Llanura Costera del Golfo

En Oaxaca, esta llanura va desde Rancho Viejo junto al Río Omapa hasta Vicente Guerrero y Lázaro Cárdenas, sigue un rumbo noroeste-sureste. Esta es una llanura de gran sedimentación determinada sobre todo por los ríos que la atraviesan y que nacen en la Sierra Madre Oriental, algunos de ellos son muy caudalosos como los ríos Papaloapan y Coatzacoalcos. Los materiales que dominan son del Terciario medio (conglomerados y areniscas). También los tiene del

Terciario superior (conglomerados), del Cuaternario (aluviones), del Plioceno (lutita y areniscas), del Cretácico superior (calizas), que se ubican más cerca de la Sierra Madre. En la porción norte de la llanura (junto a las presas) el área es de rocas intrusivas del Paleozoico, en el noreste de la misma, entre otras.

Se extiende por casi 230 km y tiene una amplitud promedio de 27 km. Entre las topofomas, domina al norte la llanura aluvial de lomeríos (Vicente Camalote a Roca de los Ríos); los lomeríos de San José, Río Manso a Vicente Guerrero, al sur de Reforma, este de las presas De la Madrid y Miguel Alemán; los valles de llanura con lomeríos se encuentran al norte y oeste de las presas ya mencionadas.

En el Jurásico, gigantescas cuencas salinas se habían formado en las inmediaciones del área que ahora es el Golfo de México, llegaban hasta la cuenca Veracruz o Papaloapan, y la poca plasticidad y estabilidad de la sal origino en las rocas subyacentes grandes efectos en la fisiografía y geomorfología estructural.

La cuenca de Veracruz que linda con la Sierra Madre Oriental, es de la edad Terciaria (Viniestra, 1998) La orogenia Laramide que se prolongó en el oriente del país hasta el Eoceno, se manifestó fuertemente y alcanzo su etapa final al plegar en el subsuelo las rocas mesozoicas y del Cenozoico temprano, a lo largo de la llanura costera, así mismo dejo definidas varias provincias geológico-sedimentarias que periódicamente transgredían las aguas del Golfo, una de ellas fue la Cuenca de Veracruz, así como la del Istmo, y la de Mascupana, las cuales dividió el horst tectónico mesozoico. La llanura costera estuvo sujeta a cambios estructurales, erosiones parciales, discordancias angulares, transgresiones y regresiones.

En el Paleoceno y vinculada a efectos de continuidad de la Sierra Madre, se tiene la antefosa de Soyaltepec donde se desarrollaron sedimentos calcáreos, azolves y pantanos, conforme cambió la batimetría.

El frente de avance de los plegamientos y fallas de sobrecorrimiento de la Sierra Madre, se proyectaron sobre los sedimentos de la Cuenca de Veracruz, del Eoceno.

Con hundimientos periódicos del Golfo, los sedimentos continentales y marinos azolvan las áreas en toda la periferia del Golfo, en el Cenozoico. Hay evidencias de que la placa continental en esta región oriental estuvo activa y sujeta a transgresiones marinas, depositaciones, desajustes por compresión con sus consiguientes levantamientos, tensiones que afallan, erosiones y otros eventos como vulcanismo (Los Tuxtlas).

Llanura Costera Oaxaqueña ocupa ahora el este de la cuenca de Veracruz, que actualmente corresponde a la llanura costera en su porción donde discurre el Río Papaloapan y el Coatzacoalcos.

Valles de la Depresión del Balsas

Comprende los valles de río Mixteco, afluente del Río Atoyac, que corresponde a la cuenca del balsas, así como lo de los subafluentes Santiago del Río, Salado y Juxtlahuaca, entre otros. Tiene ramificaciones desde el sur de San Jorge Nuchita hasta Mixtepec, La Escopeta, Juxtlahuaca y San Marcos Arteaga. Desde San Antonio Chilotepec, frontera con Puebla, hasta Mixtepec. Tiene una longitud de 80 km y una amplitud media de casi 3 km; aunque en la parte norte se amplía casi 7 km, la ramificación hacia San Marcos es de casi 30 km, y de 35 km la que se dirige a la Escopeta y Santiago, de casi 50 km la que va al sur de Juxtlahuaca. También se puede incluir que se encuentra sobre el Río Tonalá o Salado en Huajuapán de León y que se extiende por casi 15 km hasta la presa Yesocuta. Para algunos fisiógrafos, parte de los lomeríos con cañadas o no, que se localizan próximos a los valles, forman parte de la depresión.

Valles como los de Chilapa y Tamazulapán y el de Tlaxiaco tienen corrientes que finalmente terminan en el Río Mixteco.

En estos valles, al norte, se ubican rocas paleozoicas metamórficas (esquistos); al suroeste rocas ígneas extrusivas volcanoclasticas y sedimentarias del cretácico (caliza), metamórficas (esquistos) paleozoica, al noreste sedimentarias terciarias (limonita, arenisca, caliza) y jurásicas (lutita, arenisca), al sur volcánico clásticas del Terciario, sedimentarias del Cretácico (caliza) del Jurásico (lutita, arenisca, caliza) y del Terciario (conglomerado).

Las topoformas dominantes al norte son valle de laderas tendidas y valle intermontano con lomerío en las otras partes.

Entre el Cretácico Inferior y medio, la parte norte (al oeste de Huajuapán) se encontraba formando parte de la isla de Omotepec (tierra precámbrica), en cuanto a la del sur correspondía al Golfo de Tlaxiaco.

La deriva continental desde finales del Triásico hasta el Cenozoico temprano, determina que la colisión entre la placa continental y la oriental del Pacífico, originan esfuerzos de compresión, de tal forma que se arquea hacia arriba la franja occidental continental, se retiran los mares, se crea una orogenia andina con actividad volcánica, y los empujes tangenciales del oeste al este, forman antefosas; las pulsaciones orogénicas se extienden desde Chihuahua y Tamaulipas a Veracruz, Oaxaca y Chiapas.

La deriva continental siguió actuando, la interacción de las placas del Pacífico oriental y la de Cocos en subducción hicieron sentir sus efectos, se enmarca el sistema orogénico, las rocas antiguas se pliegan y deforman, se conforma la Sierra Madre del Sur y la Depresión del Balsas. Los basamentos la conforman rocas metamorfizadas como se observa en la Mixteca Oaxaqueña alta.

Otros Valles Intermontanos

Se tienen otros valles como el del Río Verde con sus afluentes Atoyaquillo, Cuanana o Colorado, Río Grande, Salado, Tezontepec y Tlacotepec, que corresponden a cañones, y se ubican en un suelo tanto de rocas intrusivas como sedimentarias y metamórficas antiguas. Otro valle semejante se ubica en el Río Tlalixtaquilla al extremo noroeste de la entidad, y sobre rocas volcanoclasticas y calizas con lomeríos y el del Río Usila que da a la presa De La Madrid, sobre rocas metamórficas.

Se encuentran pequeños valles al extremo suroeste de la entidad por el curso de los ríos Santa Catarina-Verde y Putla (Villa Guerrero), en rocas antiguas; uno más se tiene en el Río San Juan, entre Chacal y Nejapa, en rocas terciarias y cretácicas.

El Valle tendido, al noreste de Nochistlán, en rocas sedimentarias cenozoicas, el del Rio La Arena, en parte del Rio Colotepec y el Manialtepec , todos en roca granítica y al Sur de la Sierra Madre del Sur.

Corresponden a valles tendidos con lomeríos, los que están en la depresión de Soyaltepec (presas M. Alemán y M. de la Madrid), en rocas sedimentarias cretácicas y terciarias, y son de valle ramificado con lomeríos, el de Valle Nacional y el del Rio Cajones, ubicados tanto en rocas sedimentarias como en metamórficas cretácicas.

Valle de lomeríos con cañadas, se ubica junto a la presa Benito Juárez, tanto en rocas sedimentarias cuaternarias como intrusivas, así como metamórficas extrusivas terciarias y sedimentarias cretácicas.

Valles Centrales del Norte

Los valles centrales de Oaxaca ocupan la parte centro-sureste de la entidad y donde corre la carretera de San Pablo Huitzo, Oaxaca, Ocotlán, Miahuatlán de Díaz. Su longitud es de más de 130 km, tiene un amplitud media de 18 km; al sureste de Oaxaca tiene una nueva ramificación que llega más al sureste de Santiago Mazatlán con longitud de casi 6 km y una amplitud media de casi 17 km, aquí se encuentra la carretera de Oaxaca a Santiago. El apéndice, al sureste de Ocotlán a San Jerónimo y el Potrero, se extiende por casi 28 km, con una amplitud media de 12 km. Entre estos valles se localiza Etlá, Telixtlahuaca, Oaxaca, Zimatlan, Ocotlán, Ejutla, Yautepec, Miahuatlán, Ayoquezco, Tlacolula, Mazatlán, Mitla y otras localidades, tienen una altitud de casi 1,600 m. El Rio Verde que se origina al noroeste de Oaxaca de Juárez es conocido en su parte septentrional como Atoyac, y corre de norte a sur para salir de la planicie antes de confluir con el Rio Sola de Vega.

Entre el sistema de topofomas de los valles, tenemos: el valle de laderas tendidas con lomeríos que se extiende de Oaxaca hacia el sur, por casi 80 km de Oaxaca a Huitzo por casi 20 km; el valle aluvial con lomeríos, de Oaxaca hacía el sureste por de 45 km, lomeríos con planicies entre Huitzo y San Pedro Ixtlahuaca, entre San Juan del Estado y Oaxaca, que de norte a sur se llega a extender por casi 30 km, también de Agua Blanca a La Compañía por más de 20

km; de Ejutla hasta Santo Tomas por 35 km, entre otros. En la ramificación de Oaxaca a Mihuatlán dominan las rocas sedimentarias cuaternarias (aluvión), las precámbricas graníticas, las sedimentarias terciarias (conglomerado) y las sedimentarias cretácicas (calizas), de Oaxaca a Huitzo e Ixtlahuaca, las sedimentarias cuaternarias (aluvión), las precámbricas graníticas, las sedimentarias del Terciario (conglomerado), y las sedimentarias cretácicas (calizas); de Oaxaca con dirección a Tlacolula, tanto las sedimentarias cretácicas (lutita, arenisca) y las del Cuaternario (aluvión).

Los valles, del centro norte van desde San Juan Bautista (Río Quiojtepec), Santa Catarina (río San Antonio) al este de Santa Ana Yereni (Río Grande), hasta Teotillán de Flores y San Antonio; éstas tres ramificaciones se juntan en San Juan Cuicatlán, por el norte, siguiendo el Río Xiquila; hay otra ramificación hasta San Miguel Tepixtepec con dirección a Oaxaca de Juárez, se extiende por 91 km y su anchura media es de 7 km, aunque en el extremo noreste alcanza los 18 km. La topografía que domina es la de valle ramificado con lomeríos y solo en el extremo norte se presenta el lomerío (noroeste de Nanahuatipan). La roca dominante es la sedimentaria del Plioceno (arenisca, conglomerado) las sedimentarias del Cretácico Inferior y del Cretácico (caliza), al este del valle existe una larga falla normal (65 km longitud) que limita al este con rocas cretácicas cataclásticas, metamórficas del noroeste de la Sierra Madre Oaxaqueña. Este valle que también se domina de Cuicatlán conecta con el de Tehuacán, Puebla que incluye la Cañada Oaxaqueña.

En este valle, existía un antiguo lago que el Río Santo Domingo, al labrar su cabecera durante el Oligoceno en la vertiente de la Sierra Madre Oriental, lo drenó, arrojando su material al mar que bañaba las costas calcáreas de la Sierra ya dicha, en el este.

Llanura Costera Septentrional

La Llanura Costera Septentrional del Istmo, donde los límites son con Veracruz hasta Matías Romero, tiene una penetración al sur de 48 km, prosigue al suroeste hasta Vichinga por 15 km y después al sureste por 38 km, limitando con la sierra El Bloque (Tolistoque), que separa a las dos porciones ístmicas. La amplitud media de la llanura, en esta porción oaxaqueña es de 15 km. Se ubica en terrenos del Triásico-Jurásico conformados de rocas sedimentarias

(conglomerado y areniscas), del Terciario, también rocas sedimentarias (caliza) del Jurásico con extrusivas (andesitas), e intrusivas acidas del Paleozoico. La topografía dominante es de llanura con lomeríos. Esta llanura está ligada a la llanura costera del Golfo y varios afluentes y subafluentes del Río Coatzacoalcos como el Tortuguero, Chalchijapa, y otros que han contribuido con sus sedimentos a su conformación.

Llanura Costera Meridional del Istmo

La Llanura Costera Meridional del Istmo se inicia en Yerba Santa, se extiende con rumbo este-sureste hasta los Corazones y Chachimbo, al este de Oaxaca. Al norte se encuentran localidades como La Vieja, La Chapopa, La Ollaga, Chihuahatlan e Ixtepec. Al sur de la Laguna Superior e Inferior del Mar Muerto, tiene frente al Pacífico barras alargada anchas y bocas estrechas. Se extiende por 133 km, con una anchura media de 49 km. Los depósitos de materiales que dominan en ella son sedimentarios del Cuaternario y provienen de sierras vecinas. En esta llanura se han hecho presentes procesos de emersión. Al norte del mar muerto se encuentran afloramientos de roca ígneas del Paleozoico, metamórficas del Paleozoico (esquistos) y extrusivas e intrusivas del Terciario (Chahuities, Las Anomas, Ixhuatan); al norte de la carretera ístmica que va a Chiapas se ubican rocas ígneas del Terciario y metasedimentarias del Terciario, entre otras. Al norte de La Ventosa se llegan a presentar sedimentarias del Cretácico, y lo mismo al oeste, donde también se encuentran las intrusivas Cretácicas y extrusivas del Terciario. Al oeste de Salinas Cruz, se hacen presentes rocas. La más extendida de las topografías es la de llanura y en menor extensión llanura con piso rocoso, la cual es atravesada por los ríos Tehuantepec, los Perros, Miltepec, la Blanca y otros.

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN DEL MAPA FISIGRÁFICO EN LA AMENAZA SÍSMICA

Durante un sismo, se presentan cambios del comportamiento de la onda sísmica, en diferentes lugares, a esto se le conoce como efecto de sitio; las dos principales es cuando el suelo modifica el contenido frecuencial junto con la amplitud del sismo haciéndolo más o menos destructivo, y la otra es cuando un suelo presenta falla o se fisura, este se mueve horizontal y verticalmente. Para estimar de manera adecuada las intensidades sísmicas a las que se va a encontrar sujeta una comunidad, es necesario identificar y determinar los efectos locales que se puedan presentar ante la ocurrencia de un sismo, estos pueden ser de amplificación (en la mayoría de los casos) o atenuación. (Reiniso, 2010). Oaxaca se encuentra en una región sísmica importante en la República Mexicana, por ello se debe tomar en cuenta el estudio del efecto de sitio para la estimación de la amenaza. En los capítulos anteriores se definieron los siguientes puntos para la evaluación de la amenaza sísmica.

Con relación a las definiciones, se buscaron los términos que dejara comprensible la investigación.

En lo relativo a las zonas fuente, se localizaron los puntos, que provocan sismicidad en el estado y en la predicción del tipo de movimiento se consideran los mapas de los escenarios sísmicos.

En la observación Instrumental, se localiza y se utiliza para la información, la cual ayudo a calcular la magnitud promedio de cada zona.

Para las condiciones regionales, se considera el suelo y la geología por la información que ofrecen.

Finalmente a continuación se integrará toda esa información con el mapa fisiográfico.

5.1 IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO FISIOGRÁFICO EN EL ESTUDIO DE LA SISMICIDAD

Ya se bosquejó que para realizar un estudio de amenaza sísmica, es necesario contar con información que reúna de manera más específica las condiciones que permiten entender el comportamiento de las ondas, por ello, se propuso un mapa con una clasificación basada en relieve, roca y suelo. Este mapa sirve para ser más exacto a la hora de contemplar información cartográfica y compararla con los escenarios hechos para el Atlas 2010 y así, determinar el lugar de la amenaza teniendo en cuenta el análisis fisiográfico, como se muestra en la Fig. 5.1. En el medio litológico y topográfico se da la transferencia de la onda sísmica originada en la falla, lo que ocasiona diferente interacción en el suelo y por ende en la estructura.

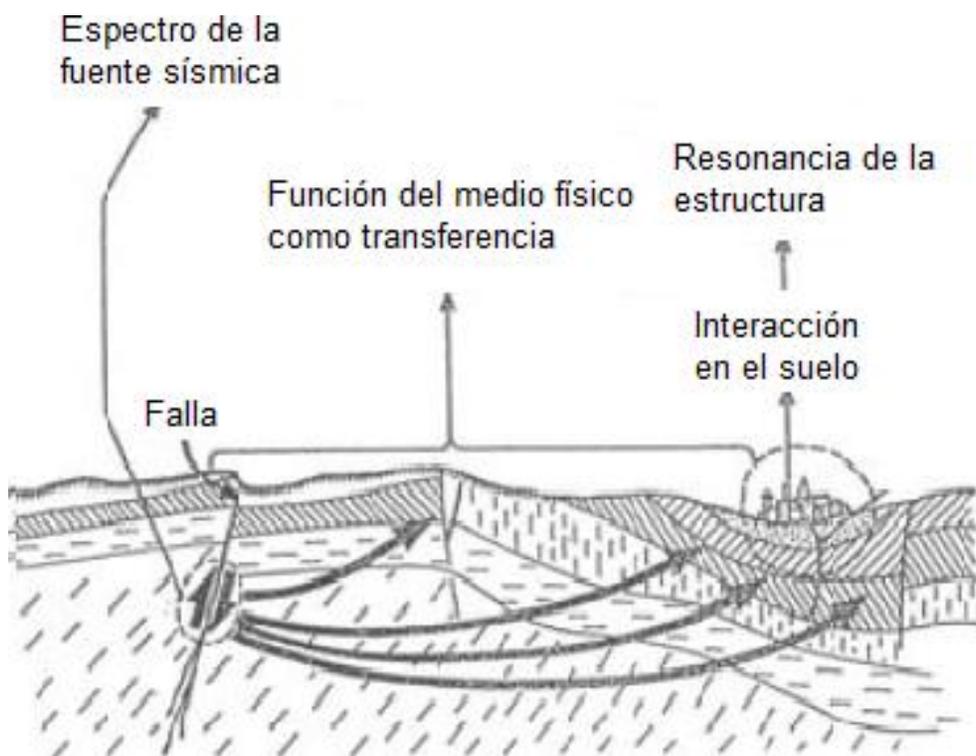


Fig 5.1. Representación en las ondas en el terreno. Fuente: Wessten Cees, 2010

5.2 RELACIÓN DEL MAPA FISIOGRÁFICO CON EL DE LOS ESCENARIOS SÍSMICOS

El escenario de magnitud de 5.2

El escenario intraplaca simulado con una magnitud de 5.2 se encuentra ubicado en el centro del estado, su epicentro se localiza en la franja más estrecha de los Valles Centrales entre la Mixteca y la Sierra Norte, en el norte de la ciudad de Oaxaca de Juárez, dentro de la falla de Oaxaca al norte del contacto con la falla Donaji, las cuales son las limitantes con los terrenos tectonoestratigráficos Cuicateco y Zapoteco.

Si un sismo producido a lo largo de una falla, como amenaza es fuerte; la alta densidad de población oaxaqueña, así como sus condiciones socioeconómicas, la vuelven la zona más vulnerable zona del estado y con mayor riesgo.

Las siguientes regiones sufrirían daño: La Cañada abarca completamente los dos distritos, el de Teotitlán y Cuicatlán y sus respectivos 45 municipios; en Papaloapan también alcanza dos distritos el de Yustepec y Choapam; en Sierra norte incluye los distritos de Ixtlan, Villa Alta y Mixe; en Valles centrales quedan totalmente comprendidos sus distritos; Etna, Zaachila, Zimatlán, Centro, Tlacolula, Ejutla y Ocotlán, dando como total 121 municipios; la Sierra sur 3 de sus 4 distrito entran dentro del área; Sola de Vega, Miahuatlán e Yautepec, equivalente a 60 municipios; en la Mixteca comprende los distritos de Cohixtlahuaca, Teposcolula, Nochixtlán y Tlaxiaco.

El escenario de magnitud de 6.8

El escenario ubicado en el noreste del estado con magnitud de 6.8 se encuentra sobre la cabalgadura de Vista Hermosa, límite entre el terreno Maya y el de Cuicateco. El sismo de intraplaca, con epicentro entre la Sierra Norte y el Istmo de Tehuantepec, es de propagación de onda pequeña.

Las regiones afectadas son: Papaloapan, se vería afectado el distrito de Choapam, en sus 6 municipios; del centro hacia el oeste de la Región Sierra Norte y teniendo mayor afectación en el sureste debido a que el epicentro abarca el municipio de San Juan Mazatlán perteneciente al

Distrito Mixe; en los Valles Centrales, el distrito de Tlacolula sería el afectado desde Santo Domingo Albanadas, pasando por San Juan del Rio y San Pedro Quiatoni; Sierra Sur, alcanza gran parte del distrito de Tautepec, desde Najapa de Madero hasta Asunción Tlacolulita; en el Istmo de Tehuantepec las ondas afectarían un 70% de la región alcanzando San Miguel Tenango, y Salinas Cruz en el suroeste, hasta Domingo Ingenio en el sureste. Los municipios San Juan Cuichicovi y Matías Romero forman parte del epicentro.

El escenario de magnitud de 7.1

En escenario de magnitud de 7.1 fue centrado en el estado de Guerrero, en continuación con la falla de Juchatengo división entre el terreno Mixteco y Chatino. La simulación de magnitud 7.5, con epicentro en Ayotzanga Gro., se amplía hasta la región de la Mixteca, la Sierra Sur y la Costa, llegando por el este a San Juan Tepeoscolula, en el distrito del mismo nombre; al norte hasta Tepelmeme Villa de Morelos, en el distrito de Coixtlahuaca; y al sur a San Juan Bautista, en el distrito de Jamiltepec.

Un sismo intraplaca en esta zona, afectaría las regiones de la Mixteca y Cañada del 10 al 25%, mientras uno de la misma intensidad pero en el centro traería pérdidas del 10 al 25% en las regiones de Cañada, Valles Centrales, Sierra Norte y Sur.

El escenario de magnitud de 8.2

Por último, el cuarto escenario de 8.2, es el único realizado en la zona de subducción en la conocida trinchera mesoamericana en los límites de la brecha de Guerrero, zona más activa y donde se cree que la energía liberada será la que produzca un gran sismo, parecido al de 1985.

Su epicentro se localiza en Puerto Escondido, parte oriental de la costa, abarcando de Pinotepa Nacional hasta la zona de Huatulco. La propagación es menor en rocas metamórficas, pero por su intensidad dañara más que el sismo simulado en 7.5, en los límites de Guerrero donde la roca predominante es la ígnea extrusiva, provocando mayor fracturamiento y permitiendo rapidez velocidad la energía liberada. El máximo nivel de riesgo se registraría en Puerto Escondido, aunque esta última se encuentre relativamente lejos del epicentro, su vulnerabilidad es alta por las condiciones socioeconómicas.

5.3 REGIONES SISMOGÉNICAS

Una manera de interpretar los mecanismos focales, es observando su distribución espacial, el tipo de falla y profundidad (SSN, 2006). En base a la tectónica, sismicidad y fisiografía se hace una propuesta de regiones sismogénicas, tomando en consideración los epicentros, las características tectónicas y la liberación de energía de los sismos dentro de cada región. A continuación se describe cada una de las regiones.

Tehuantepec

Los sismos muestran una variación entre los 6 y 140 km de profundidad, siendo los de mayor hondura los cercanos a Unión Hidalgo y Matías Romero (60-139 y 73-140 km de prof. respectivamente), mientras que los superficiales son cercanos a la zona de Salinas Cruz (6 - 59 km de prof.). Las magnitudes son de los 4.5° a los 6.6° R. De acuerdo a estos resultados, se pueden interpretar como sismos asociados al rompimiento de la placa de Cocos subducida bajo la placa de Norteamérica en la región de Oaxaca, de la Cocos surge una inclinación hacia el oeste pudiéndose corroborar al comparar las diferencias del ángulo de subducción entre la zona de Oaxaca y la de Chiapas. La Dorsal de Tehuantepec parece actuar como una zona de transición en la morfología entre los estados de Oaxaca y Chiapas. En la zona de Oaxaca, la placa de Cocos subduce con un ángulo menor de 30°, mientras en Chiapas presenta un ángulo mayor a los 45° (Leyva, 2010).

Varios autores (Ponce et al, 1992) manifiestan que el Istmo de Tehuantepec está ubicado en una compleja zona donde limitan tres grandes placas; la placa Norteamericana, la de Cocos y del Caribe. Como Barrier (1997) menciona el Istmo de Tehuantepec es una continuación de la zona de fracturas inactivas de la placa de Cocos.

Costa

En la Costa la profundidad del hipocentro varía de los 3 a los 44 km de profundidad, con magnitudes de los 4.5° a 6.0° R. Ubicado frente a la zona de subducción abarca toda la costa de Oaxaca hasta Salinas Cruz. Respecto a las poblaciones usadas como referencia encontramos

que desde Pinotepa Nacional hasta la Crucecita las profundidades seguirán conservándose desde los 5 hasta los 40 km. y no hay un cambio gradual de la magnitud de esta a oeste.

Oaxaca

Relacionado con la falla de Oaxaca y la de Donaji, la magnitud varía de los 4.5° a los 5.5° R, la profundidad del hipocentro va de los 8 a 92 km de profundidad, de acuerdo a los registros del SSN es la tercera zona en actividad en los últimos 5 años, pero es la segunda en el registro histórico de sismos mayores a 6.5°, y la que ha registrado los sismos de mayor magnitud. La Falla es una quebrantamiento como consecuencia de las tensiones originadas en la zona de subducción.

Oriente

Es una región donde en los últimos 5 años no se han registrado sismos mayores a los 4.5 ° R.

Papaloapan

Solo se ha registrado en los últimos 5 años un sismo dentro de la entidad con una profundidad de 107 km, pero en Veracruz muestran una variación de 50 a 80 km con una magnitud de 4.5°R. De acuerdo con estos resultados se puede interpretar que estos sismos están asociados al rompimiento de la parte final de la placa de Cocos subducida bajo la de Norteamérica, en la Región Puebla y Oaxaca (Leyva, 2010).

Huajuapán

Se registran un sismo de 51 km de prof. y 4.5°R en al noreste de Tepelmeme y otro en Huajuapán con 61 km de prof. y 4.5°R. Es una zona relacionada con la brecha de Guerrero.

SISMOGÉNESIS DE OAXACA

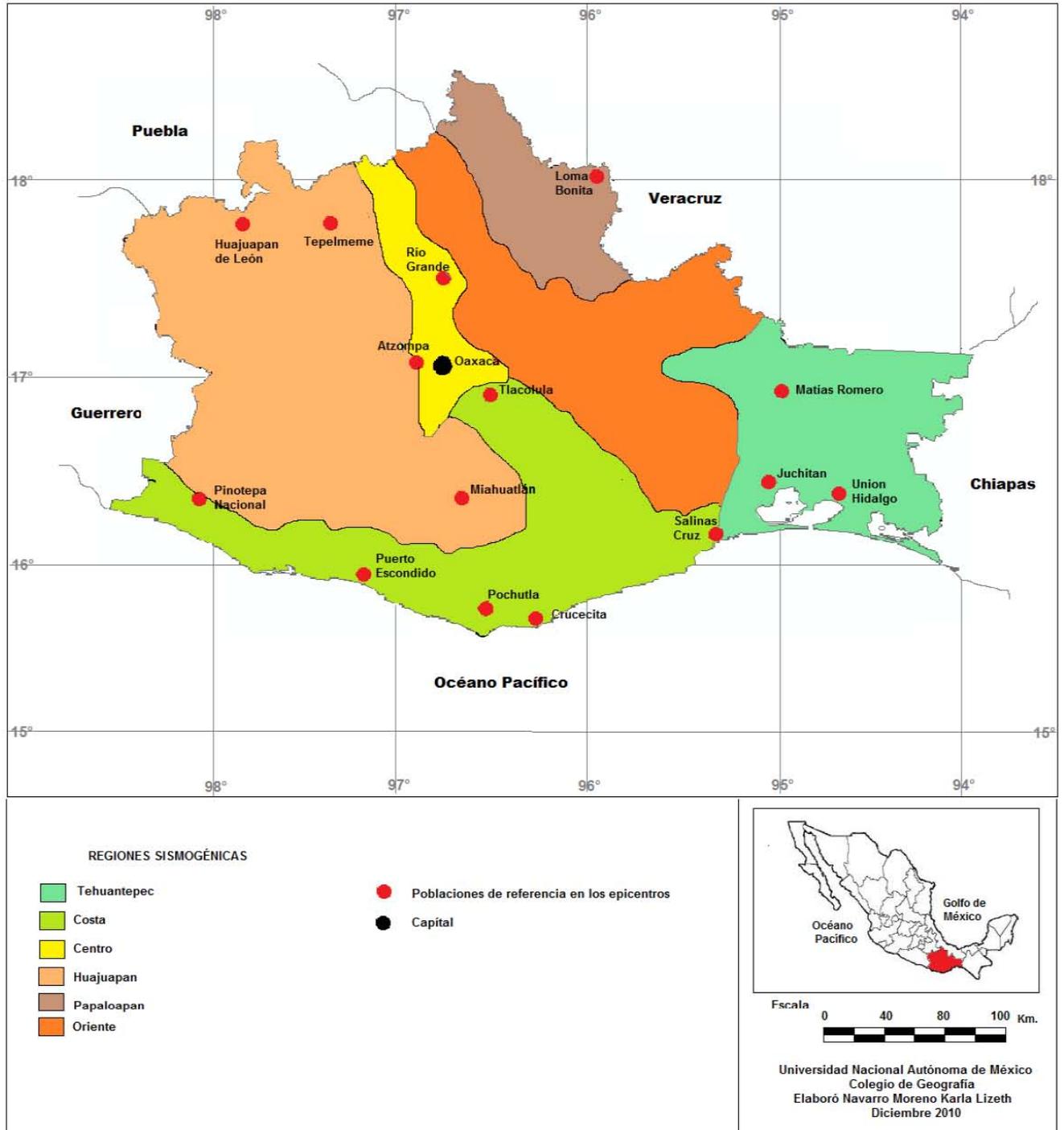


Fig 5.2. Sismogénesis de Oaxaca. Fuente: Navarro, 2011

FECHA	LATITUD	LONGITUD	PROF.(KM)	MAG.	ZONA
2006-01-18	16.87	-94.44	131	4.9	60 km al noreste de Unión Hidalgo, Oax
2006-01-25	16.14	-94.95	59	4.6	26 km al este de Salina Cruz, Oax
2006-02-20	15.98	-98.36	3	4.5	52 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2006-03-17	17.8	-95.86	107	4.5	34 km al sur de Loma Bonita, Oax
2006-03-28	15.08	-95.66	18	4.7	92 km al sureste de Crucecita, Oax
2006-04-30	15.89	-98.67	6	4.6	83 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2006-06-08	15.44	-94.6	18	4.7	104 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2006-06-23	14.85	-94.67	9	4.5	157 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2006-06-27	14.79	-94.57	16	5.3	168 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2006-07-07	15.78	-96.26	31	4.7	14 km al oeste de Crucecita, Oax
2006-07-07	16.66	-94.34	122	4.5	56 km al noreste de Union Hidalgo, Oax
2006-07-19	15.46	-98.4	19	4.5	104 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2006-07-22	17.08	-94.58	128	4.6	54 km al noreste de Matías Romero, Oax
2006-08-10	14.56	-94.97	16	5.0	181 km al sur de Salina Cruz, Oax
2006-08-10	14.69	-95.17	10	4.5	158 km al sureste de Crucecita, Oax
2006-08-14	15.82	-95.77	45	4.5	40 km al este de Crucecita, Oax
2006-08-14	14.66	-94.82	20	4.5	173 km al sur de Salina Cruz, Oax
2006-08-16	15.67	-98.27	5	4.6	78 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2006-08-19	15.91	-97.3	52	5.5	19 km al sureste de Rio Grande, Oax
2006-09-23	15.68	-96.62	20	4.5	18 km al suroeste de Pedro Pochutla, Oax
2006-10-01	16.11	-94.55	60	4.8	50 km al sureste de Union Hidalgo, Oax
2006-10-19	15.37	-95.72	20	4.6	62 km al sureste de Crucecita, Oax
2006-10-20	15.66	-97.28	12	4.7	32 km al suroeste de Puerto Escondido, Oax
2006-11-08	16.05	-96.54	45	5.1	31 km al sur de Miahuatlan, Oax
2006-11-10	15.46	-97.48	20	4.8	61 km al sur de Rio Grande, Oax
2006-11-13	15.13	-96.55	26	4.5	69 km al sur de Pedro Pochutla, Oax
2006-12-05	16.0	-98.67	16	4.5	77 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2007-01-03	16.06	-97.55	20	4.8	14 km al noroeste de Rio Grande, Oax
2007-01-15	15.92	-95.51	29	4.5	45 km al suroeste de Salina Cruz, Oax
2007-01-29	15.09	-94.89	59	4.6	125 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2007-02-11	15.78	-98.93	16	4.8	112 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax

2007-02-14	16.76	-96.18	78	4.6	39 km al sureste de Tlacolula, Oax
2007-02-28	17.33	-95.04	128	4.7	50 km al norte de Matías Romero, Oax
2007-03-01	15.44	-94.79	20	4.6	93 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2007-03-15	16.08	-97.26	15	5.1	20 km al noreste de Rio Grande, Oax
2007-04-12	15.02	-94.81	14	4.5	135 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2007-05-04	17.2	-96.84	70	4.8	13 km al noroeste de Sta. María Atzompa, Oax
2007-06-01	17.03	-95.61	73	4.5	63 km al noroeste de Matías Romero, Oax
2007-06-20	15.52	-94.83	13	4.7	83 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2007-08-08	15.01	-94.91	18	4.6	133 km al Sur de Salina Cruz, Oax
2007-08-20	17.34	-95.96	92	4.5	70 km al noreste de Tlacolula, Oax
2007-08-24	16.08	-95.71	63	4.6	56 km al oeste de Salina Cruz, Oax
2007-08-26	16.24	-98.1	13	4.9	13 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2007-08-28	17.32	-94.99	140	4.5	50 km al norte de Matías Romero, Oax
2007-09-10	15.4	-94.8	10	4.8	97 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2007-10-01	16.2	-98.41	7	4.5	41 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2007-10-20	16.08	-95.6	26	4.5	44 km al oeste de Salina Cruz, Oax
2007-11-13	16.14	-98.04	5	4.5	22 km al sur de pinotepa nacional, Oax
2007-11-19	15.12	-96.8	27	4.5	78 km al suroeste de Pedro Pochutla, Oax
2007-11-21	16.13	-97.19	22	4.6	29 km al noreste de Rio Grande, Oax
2007-11-24	15.72	-96.18	20	4.5	7 km al suroeste de Crucecita, Oax
2007-12-10	15.74	-96.92	27	4.6	21 km al sureste de Puerto Escondido, Oax
2007-12-12	16.09	-98.14	8	4.7	30 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2007-12-13	17.26	-96.7	82	4.5	20 km al noreste de Sta. María Atzompa, Oax
2008-01-07	14.98	-94.81	18	4.8	140 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2008-01-18	16.88	-95.1	107	4.5	7 km al oeste de Matías Romero, Oax
2008-02-12	16.19	-94.54	90	6.6	44 km al sureste de Union Hidalgo, Oax
2008-03-08	17.22	-94.81	137	4.5	46 km al noreste de Matías Romero, Oax
2008-05-04	15.41	-96.75	10	4.5	48 km al suroeste de Pedro Pochutla, Oax
2008-05-17	16.18	-98.06	40	4.8	18 km al sur de Pinotepa Nacional, Oax
2008-07-18	17.95	-97.49	51	4.5	16 km al noroeste de Tepelmeme, Oax
2008-07-30	15.98	-96.1	49	5.1	24 km al norte de Crucecita, Oax

2008-09-10	15.91	-95.07	78	4.8	33 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2008-09-16	14.78	-94.64	16	4.6	166 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2009-01-27	18.08	-97.65	64	4.5	33 km al noreste de Huajuapán de León, Oax
2009-02-17	16.72	-94.71	82	4.8	30 km al noreste de Unión Hidalgo, Oax
2009-03-29	15.42	-94.7	6	4.6	99 km al sureste de Salina Cruz, Oax
2009-04-07	15.82	-96.65	20	4.8	21 km al noroeste de Pedro Pochutla, Oax
2009-05-07	15.96	-98.17	20	4.7	45 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2009-05-26	15.86	-95.65	10	4.6	52 km al este de Crucecita, Oax
2009-09-18	15.49	-97.53	17	4.8	59 km al sur de Río Grande, Oax
2010-01-20	16.53	-94.86	93	4.7	7 km al noroeste de Unión Hidalgo, Oax
2010-02-08	15.9	-96.86	37	5.8	23 km al este de Puerto Escondido, Oax
2010-03-20	16.0	-98.74	20	4.5	83 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2010-04-08	16.81	-95.26	91	4.5	24 km al suroeste de Matías Romero, Oax
2010-04-16	16.14	-98.41	10	5.1	45 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2010-04-19	15.98	-97.67	8	4.5	25 km al oeste de Río Grande, Oax
2010-06-08	15.26	-96.67	35	4.6	58 km al suroeste de Pedro Pochutla, Oax
2010-06-25	15.22	-96.44	12	5.1	58 km al sur de Pedro Pochutla, Oax
2010-06-30	16.22	-98.03	8	6.0	13 km al sur de Pinotepa Nacional, Oax
2010-07-24	17.06	-95.13	118	4.6	22 km al noroeste de Matías Romero, Oax
2010-09-21	15.73	-95.19	17	5.0	50 km al sur de Salina Cruz, Oax
2010-09-27	16.17	-94.88	20	4.5	33 km al sureste de Juchitán de Zaragoza, Oax
2010-11-24	15.72	-98.89	14	4.8	112 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oax
2010-11-26	16.13	-95.91	20	4.5	47 km al noreste de Crucecita, Oax

Tabla. 5.1. Catálogo sísmico de Oaxaca 2006-2010. Fuente: SSN, 2011

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

Los sismos pueden constituir una de las catástrofes naturales más devastadoras y aterradoras que existen, produciendo que se pierdan bienes, salud y hasta la vida; algunos han llegado a causar cientos de muertes y graves daños. A largo de la historia en el estado de Oaxaca han ocurrido una gran cantidad de sismos y la población se ve continuamente afectada por estos fenómenos que no se pueden evitar. La situación económica de su población, el tipo de sus construcciones, la disgregación política, entre otros, aumentan su vulnerabilidad. Es por ello que este tipo de trabajos son importantes para conocer con mayor certeza la probabilidad de ocurrencia, lo que permitiría alertar a las poblaciones y con ello mitigar el desastre.

La metodología utilizada permite contar con una serie ventajas respecto a la tradicional porque integra el conocimiento físico con el fenómeno sísmico. Esta metodología ayuda a establecer las zonas donde puede haber fenómenos secundarios, asociados al movimiento del suelo, como lo son deslizamientos, asentamientos diferenciales del suelo, ~~flujos de tierra y de lodo~~ e inundaciones.

También existe una relación con la vulnerabilidad estructural debido a que las ondas sísmicas afectan a los edificios y estructuras, esto es, cuando los movimientos horizontales (aceleración) son transferidos a las construcciones crean fuerzas que lo hacen resonar, trayendo como resultado el incremento en la oscilación y dada una suficiente duración y el tipo de construcción, el efecto de resonancia puede resultar en daño total o parcial.

De acuerdo a la investigación se concluye que:

La zona más amenazada es el centro y centro norte de Oaxaca, donde se localiza la activa falla de Oaxaca, la cual es normal, al este hay fallas normales e inversas en roca aflorante caliza, en su área septentrional las hay normales e inversas; mientras en la meridional se hacen evidentes fracturas en rocas subyacente mesozoica y aflorantes como la caliza, arenisca, conglomerados, cataclásticas, gneiss y residuales de diversas edades. En esta área se encuentra la zona con mayor número de epicentros de igual o mayor a 6°R. El que sea la zona más habitada la vuelve también la más vulnerable; por lo tanto también podría ser considerada la zona de mayor riesgo. En la zona sur, al noroeste al noroeste de Huatulco con a Oaxaca y Teutilán, concretamente entre San Miguel Puerto, San Cristóbal y San Amatlán, se concentra la tercera área oaxaqueña con mayor número de sismos iguales o mayores de 4°R.

La segunda zona en amenaza es la sur, paralela a la costa, donde se concentran la mayor cantidad de sismos mayor o igual a 4°R. Las aceleraciones de las ondas sísmicas tienen una rápida disminución en la velocidad de las ondas (Fig. 3.14) al entrar a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur donde dominan las rocas metamórficas.

La costa está muy dislocada con numerosas fracturas y fallas normales (las cuales quedan evidentes por el drenaje) en rocas graníticas e ígneas muy interperizadas que al conjuntarse con las precipitaciones que se dan entre los 800 y 3000 m., y que provoca que sea una zona azotada por inundaciones, deslizamientos, entre otros. La costa del pacífico al contar con centros turísticos como Huatulco, Salinas Cruz y Puerto Escondido, entre otros, y localidades como Pochutla, Río Grande, Santiago Pinotepa, que concentran mucha población también pueden ser muy afectados. Al concentrarse puntos turísticos como Salinas cruz o Huatulco, se verán afectadas, pero su costa en gran parte escarpada por la Sierra Madre del Sur la protege de fenómenos asociados como lo son los tsunamis.

En la zona ístmica, siguiendo el meridiano de Salinas Cruz o el de Mathias Romero, también son numerosos los epicentros de sismos con magnitudes mayores a o iguales a los 4°R. en esta zona se encuentran localidades como Santo Domingo, Tehuantepec, Juchitan de Zaragoza, Sto. Domingo Ingenio, Ixtepec y Unión Hidalgo, entre otras que concentran importante población. A comparación de las dos zonas anteriores, esta tiene menor vulnerabilidad debido a la construcción de sus casas y al relieve.

Como amenaza relacionada a otros fenómenos es la zona noreste del estado, esto es porque su fisiografía es de sierras de calizas y también ocurren ahí las grandes precipitaciones, haciendo que la topografía sea inestable a otros fenómenos como los deslizamientos; además de que por la caliza permite que haya más expansión de la onda sísmica. Otra zona con situación similar en la Mixteca (con predominio de rocas sedimentarias (calizas, lutitas, areniscas) y precipitaciones de 700 a 1100 m., y donde no faltan las fracturas.

Aún queda mucho por hacer, un ejemplo es sin duda el que realizó el Instituto de Ingeniera (Reinoso, 2010), pues en uno de sus proyectos retomo al estado de Oaxaca y lo trabajo desde la vulnerabilidad estructural; pero aún falta que se conjugue la amenaza con el relieve y este con la vulnerabilidad sociopolítica, las cuales ayudaran para realizar estudios de riesgo más exactos y que sirven para apoyar a las instituciones y autoridades a tomar decisiones de planificación, división de recursos y como base para responder ante una emergencia.

REFERENCIAS

Arango Guevara A.F., 2005, Análisis de la sismicidad tectónica en Colombia y México entre los años de 1999 y 2001, Centro de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla, Noviembre, Bol-E, Vol. 1, No. 2.

Arellano, 1997, Peligro sísmico en Latinoamérica y el Caribe, Instituto Panamericano de Geografía e historia, Capítulo IV, pp. 67.

Arvizu Lara. G., 2009, El deslizamiento en el río Grijalva Chiapas, especialidad en geología, ai México, pp. 25.

Astroza I. M., Sandoval H. M., Kausel V. E., 2005, Estudio comparativo de los efectos de los sismos chilenos de subducción del tipo intraplaca de profundidad intermedia, Congreso chileno de sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, Noviembre, pp. 16-19.

Barrientos Ávila L., Fernández duran J.J., 2006, Análisis geográfico y estadístico de la sismicidad en la costa mexicana del Pacífico, Boletín de los Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica Vol. 3, núm. 1, pp. 26.

Barrier E., Velasquillo L., Chávez M., Gaul Mon R., 1998, Neotectonic evolution of the Isthmus Tehuantepec (southeasten Mexico), Tectonophysic 287, pp. 77-96.

Castillo Nieto F. Rodríguez Luna E., etal., 1996, Monografías Geológico Minera: Estado de Oaxaca, Consejos de recursos minerales. Ed. Secretaria de comercio y fomento industrial (SECOFI), pp. 1-96.

CENAPRED, 2000, Sismicidad en el estado de Oaxaca 1990 -2000, Gobierno del estado de Oaxaca.

Cervantes Zamora, Cornejo Olgín S.L., Márquez R. L., Espinosa Rodríguez J.M., Miranda Víquez E., pineda Velázquez A., 1990, Provincias fisiográficas de México, escala 1: 4000000, metadato.

CONACYT, 2001, La incorporación de conocimientos científicos y tecnológicos en el manejo de los riesgos es un factor decisivo en la disminución de los mismos y de sus consecuencias catastróficas. www.conacyt.gob.sv

Correa Pérez G., 1979, Geografía Física del estado de Michoacán, Gobierno del Estado y EDDISA, México, pp. 92.

Correa Pérez G., 1986, Fisiografía del estado de Oaxaca, Geografía del estado de Oaxaca, inédito, México.

- Correa Pérez G., 1987, Clasificación fisiográfica del Relieve, Inédito, México.
- Correa Pérez G., 2003, Atlas del estado de Michoacán, UMSNH, SEP, EDDISA, México. pp. 200.
- Cuanalo O. A., Quezada P.P., Aguilar M. A., Olivar A. M., Barona D. E., 2006, Sismos y lluvias, factores detonantes de deslizamientos de laderas en las regiones montañosas de Puebla, México, Gnoiss (online) Vol. 4 Art. 13. pp. 1-14.
- Delgado Argote L., Carballido Sánchez E., 1990, Análisis tectónico del Sistema Transgresivo Neogénico entre Mascupana, Tabasco y Puerto Ángel, Oaxaca, Univ. Nal. Autón. Méx., Instituto Geología, Revista, vol. 9, núm.1, pp. 21-32.
- Escobar G.D., 2003, Modulo para el Curso de metodología de la investigación Geotecnia y medio ambiente, Universidad de Colombia, pp. 112.
- Farreras F. S., Domínguez M. R, Gutiérrez M. C., 2005, Tsunamis, Seri fascículos, agosto, 2da ed., pp. 38.
- García Acosta V., 2001, Historia del desarrollo sismológico en México, Ediciones Científicas Universitarias, pp. 13-87.
- Gobierno del Estado de Oaxaca (2003), Peligro de Origen Geológico y localización de zonas vulnerables, Tomos I, Atlas estatal de riesgos. pp. 185.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1987, Síntesis geográfica del estado de Oaxaca, pp. 166.
- Leyva Soberanis R., Williams Linera F., Riquer Trujillo G., 2010, Regiones sismogénicas de mayor peligro sísmico para el estado de Veracruz, Congreso Internacional de AcademiaJournals.com, Chiapas, vol. III pp. 79-84.
- López Oscar A., Reyes Carlos, Durán Roberto, Bitrán Daniel, Lermo Javier, 2001, El sismo de Oaxaca del 30 de septiembre de 1999 (Mw=7.5). Méx, D.F.; México. Centro Nacional de Prevención de Desastres. (CENAPRED), Secretaría de Gobernación (SEGOB); México, Universidad Autónoma de México (UNAM) Instituto de Ingeniería; dic. 2001. pp. 65.
- Lugo Hupb J., 2004, Reseña de “¿Geografía sin Geología?” De Czesna, Z., M.Alcaide Orraca y E. Monroy Soto, Universidad Nacional Autónoma de México investigaciones Geográficas, Abril n. 53 pp. 20.
- Maskrey A., 1993, Los desastres no son naturales, Santa Fe de Bogotá, Colombia, Ed. Tercer mundo editores, www.bdigital.unal.edu.co. pp. 166.
- Monroy Salazar S., 2009, Riesgo Sísmico en Santa María Tixmadejé, Acambay Estado de México, Para Obtener el grado de Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 185.

- Ohtake M., Matumoto T. and Latham V., 1977, Seismicity gap near Oaxaca, southern Mexico as a probable to a large earthquake, pure and applied geophysics, vol. 115 No.1, pp. 375-385.
- Pacheco J., Jiménez C., Pérez Santana J., Estrada J., Cruz J.L., Cárdenas A., Li yi Tan., Gutiérrez M.A., Rubí B., Santiago J.A., 2002, sismicidad del centro y sur de México (periodo enero a marzo, 2002), GEOS, Unión Geofísica Mexicana, Abril, pp. 49-54.
- Pacheco J., Jiménez C., Pérez Santana J., Franco S. I., Estrada J., Cruz J.L., Cárdenas A., Li yi Tan., Gutiérrez M.A., Rubí B., Santiago J.A., 2003, sismicidad del centro y sur de México (periodo enero a junio, 2003), GEOS, vol. 23. No. 1, pp. 28-36.
- Pacheco J., Jiménez C., Pérez Santana J., Estrada J., Cruz J.L., Cárdenas A., Li yi Tan., Gutiérrez M.A., Rubí B., Santiago J.A., 2005, sismicidad del centro y sur de México (periodo enero a junio, 2004), GEOS, Vol. 24, No. 3, pp. 457-461.
- Ponce L., Gaulon R., Suarez G., Lomas E., (1992), Geometry and state of stress of the downgoing Cocos Plate in the isthmus of Tehuantepec, Mexico, Geophysical Research Letter, vol. April, nom. 8 pp. 773-776.
- Ramos H. S., 2010, Reporte de actividad sísmica en Chiapas enero- febrero 2010, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, pp. 79-85.
- Reinoso A. E., Niño L. M. Bautista J. E., 2010, Actualización del Atlas de Riesgos del Estado de Oaxaca en los Fenómenos Geológicos e Hidrometeorológicos, pp. 142.
- Servicio Sismológico Nacional, 2011, Sismicidad histórica, Catalogo fecha inicial 1 enero 1930 fecha final 1 enero 2011, magnitud mínima 4 magnitud máxima 9, <http://www.ssn.unam.mx>.
- Singh Shri. K., Ordaz Schoeder M., 1994, Sismicidad y movimientos fuertes en México, una visión actual, Centro nacional de prevención de desastres (CENAPRED), cuaderno 18, pp. 20-35.
- Vasiliev Y. Milnichuc V., Arabadzhi M., 1981, Geología general histórica. Editorial Mir Moscú. pp. 254-264.
- Villota, H., 1989, El Sistema CIAF de Clasificación Fisiográfica del Terreno, Revista CIAF, Vol. 13, No. 1, pp. 55-70.
- Viniegra, Osorio F., 1998, Geología histórica de México, Editorial UNAM-SESIAB, pp. 213.
- Westen Cees, 2010, Introducción a los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, UNESCO-RAPCA. www.itc.nl/external/unesco-rapca, pp. 1-26.
- Zoltan de Cserna, Alcaide Orraca, Monroy Soto E., 2002, ¿Geografía sin Geología?, Temas Selectos de Geografía de México, Instituto UNAM, Geografía, pp. 75.