



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

**“PALEOSISMOLOGIA E INCURSIONES MARINAS EN
LAGUNAS COSTERAS TROPICALES DE GUERRERO,
MÉXICO”.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

VIOLETA RANGEL VELARDE

DIRECTORES DE TESIS: DRA. MARÍA TERESA RAMÍREZ-HERRERA
M. en C. JOSÉ ANTONIO NAVARRETE PACHECO.

CIGA

CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

MORELIA, MICHOACÁN

OCTUBRE 2011

CON AMOR PARA MI FAMILIA.

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento y cariño a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Gracias al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM) por ser "mi casa" en estos años y una pieza clave en mi formación académica y personal.

El presente trabajo fue posible gracias a la beca de maestría otorgada por CONACYT, con número de registro de CVU: 270695.

Agradezco el apoyo financiero brindado por el Proyecto PAPIIT No. IN123609, "Paleosismicidad de la zona de subducción mexicana buscando candidatos de grandes sismos y tsunamis", así como la beca otorgada para la conclusión de la tesis.

A la Dra. Ma. Teresa Ramírez Herrera por su gran dedicación a mi formación, a su esfuerzo, por compartir este lapso de tiempo conmigo y permitirme soñar y crecer en su proyecto de investigación. Recuerdos muy gratos me han quedado de las experiencias de campo, académicas y personales. Muchísimas gracias.

Al M.C. José Antonio Navarrete Pacheco por sus comentarios, apoyo, te doy las gracias por contar con tu amistad y tener esa calidad humana.

Al Dr. Gerardo Bocco por confiar en mí y siempre brindarme su apoyo incondicional en el transcurso de estos años, por sus atinados comentarios y sus atenciones. Le agradezco de corazón.

Al Dr. Marcelo Lagos por ser un ejemplo a seguir, sus charlas amenas y enseñarme que todo con dedicación, esfuerzo y sentido del humor se puede lograr.

Los estudios interdisciplinarios requieren la ayuda y esfuerzo de muchas personas, que sin su colaboración no es posible obtener resultados satisfactorios y sobre todo, les doy las gracias por su amistad y el ambiente ameno de trabajo que se generó. Me refiero a los laboratorios de las distintas instituciones que me ayudaron, como:

El Laboratorio de Fitoplancton, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-UNAM, es especial al Dr. David U. Hernández Becerril por su disposición a colaborar en ésta tesis, sin su ayuda no hubiera sido posible.

Al Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, de la Facultad de Ciencias-UNAM, así como el gran trabajo realizado por la Dra. Silvia Espinosa Matías (UAM-Cuajimalpa) por el procesamiento, observación y toma de imágenes digitales.

Al Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la U.M.S.N.H., en especial a la Dra. Isabel Israde Alcántara por su amable apoyo en el procesamiento de las muestras y observación

de las diatomeas. Así como al Ing. Neftali Gonzáles por su paciencia y ayuda en el trabajo de laboratorio.

Al Laboratorio de Análisis de suelos y agua (LASA) del CIGA-UNAM, particularmente a la M. en C. Hilda Rivas y M. en C. Rosaura Páez, por sus porras, disposición y ayuda invaluable en este estudio.

Al Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, LUGA- UNAM, en especial a la Dra. Bertha Aguilar, al Dr. Avto Gogichaishvili y el Dr. Juan Morales, por dedicarme su tiempo y su empeño a enseñarme y así, mostrarme un universo completamente distinto al conocido. Gracias por ese ambiente solidario y fraternal.

A mis profesores del CIGA, les doy las gracias por su dedicación, por sembrar en mí, ese gusto por investigar y seguir aprendiendo.

A los tres poderosos técnicos del CIGA-UNAM: M. en C. Alejandra Larrazábal, M. en C. Antonio Navarrete y M. en H. Pedro Urquijo; les agradezco su apoyo técnico, atenciones, cariño y actitud siempre servicial. Los quiero mucho!

Al M.I.T. Hugo Zavala e Ing. Raquel Gonzáles por su apoyo técnico y su continua disposición.

Agradezco a la vida por permitirme conocer y convivir con seres tan valiosos y carismáticos: mis compañeros de clase en la maestría de Manejo Integrado del Paisaje, 4^a generación. Son geniales! Así como a mis compañeros: Fernando, Gaby, Chelito, Nestor, Jacky, Teodoro, Daniel, Arturo, Pedro, Ulises y al equipo tsunamita. Los quiero mucho.

A las familias Mendoza-López, Balcázar-Merlo, Papacostas-Sandoval, Alanís-Yépez, Torres-Ramos, Barberis, Calcagnino y Ceja. Gracias por creer en mí y permanecer siempre a mi lado, son una pieza fundamental de mi vida.

A los seres fortuitos de mi vida: Andrea Papacostas, Kinné Gueye, Iván Reina, Alejandra Larrazábal, Arturo Jiménez, Olivia Ruiz, Adriana Núñez, Amed López, Beto Ortiz y Rigel Zaragoza.

Finalmente y no menos importante, mi total agradecimiento a mi familia: a mi ser de luz: mi mamá; a mis cariños incondicionales, mis hermanos Estefi y Beto, a mis pilares preciosos: mis abuelos, a mi sobrina hermosa; a Luna, Amaranta y Chaparrón, por su diario cariño. El día brilla teniéndolos a mi lado. Los quiero muchísimo!

Seguramente he omitido personas valiosas, pero saben que los quiero mucho.

TABLA DE CONTENIDOS

	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 PALEOSISMICIDAD.....	5
3.1.1 SISMO Y TSUNAMI.....	6
3.1.2 ZONAS DE SUBDUCCIÓN.....	8
3.1.2.1 LICUEFACCIÓN.....	11
3.1.2.2 BRECHA SISMICA.....	12
3.1.3 CAMBIOS DEL NIVEL DEL MAR.....	12
3.1.3.1 CAMBIOS EUSTÁTICOS.....	15
3.1.3.2 CAMBIOS RELATIVOS DEL NIVEL DEL MAR.....	16
3.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS SOBRE PALEOSISMICIDAD.....	17
3.2.1 ESTUDIOS A NIVEL MUNDIAL.....	17
3.2.2 LOS GRANDES TERREMOTOS MUNDIALES DEL SIGLO XX.....	18
3.2.3 PARADIGMA.....	25
3.2.4 ESTUDIOS EN MÉXICO.....	26
3.2.5 LOS GRANDES TERREMOTOS OCURRIDOS EN MÉXICO.....	27
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	29
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	29
4.2 GEOLOGIA, TECTÓNICA Y SISMICIDAD.....	30
5. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	33
5.1 INTRODUCCIÓN.....	33
5.1.1 QUE SON LAS ZONAS COSTERAS.....	33
5.1.2 GEOMORFOLOGÍA, NIVEL DEL MAR Y TECTÓNICA.....	36
5.1.3 GEOMORFOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA EN LOS ESTUDIOS DE PALEOSISMICIDAD.....	39

	PÁGINA
5.2 METODOLOGÍA.....	42
5.2.1 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS ESPACIAL.....	43
5.2.2 MAPA GEOMORFOLÓGICO.....	43
5.2.3 MODELO DIGITAL DEL TERRENO.....	44
5.3 RESULTADOS.....	44
5.3.1 GEOMORFOLOGÍA DE LAS COSTAS DE LA BAHÍA DE POTOSÍ.....	44
5.3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SITIOS PARA LOS ESTUDIOS ESTRATIGRÁFICOS Y SU IMPORTANCIA EN EL MUESTREO.....	48
5.3.3 GEOFORMAS POTENCIALES PARA ESTUDIOS DE PALEOSISMICIDAD COSTERA.....	50
6. ESTRATIGRAFÍA Y MICROFÓSILES.....	51
6.1 INTRODUCCIÓN.....	51
6.2 METODOLOGÍA.....	54
6.2.1 MICROFÓSILES.....	54
6.3 RESULTADOS.....	57
6.3.1 ESTRATIGRAFÍA DEL Pit 005-A.....	57
6.3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES.....	59
6.3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS DIATOMEAS.....	61
7. DISCUSIÓN.....	64
7.1 EVIDENCIAS ESTRATIGRÁFICAS Y DE MICROFÓSILES	64
7.2 INTERPRETACIÓN DE LAS EVIDENCIAS.....	65
7.3 CÓMO OCURRIÓ EL SISMO?.....	67
7.4 EDADES HIPOTÉTICAS.....	68
7.5 HUBO TSUNAMI?.....	69
8. CONCLUSIONES.....	70
9. REFERENCIAS.....	71

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Fig. 1.1. Esquema de estructuración de la tesis.....	3
Fig. 3.1. Rango de magnitud detectada en los terremotos y el rango de tiempo cubierto por las distintas disciplinas aplicables al estudio de terremotos históricos	7
Fig. 3.2. Principales tipos de límites de placas.....	8
Fig. 3.3. Las tres configuraciones fundamentalmente diferentes en placas convergentes.....	9
Fig. 3.4. Licuefacción	11
Fig. 3.5. Ubicación de los terremotos de mayor magnitud del siglo XX.....	18
Fig. 3.6. Epicentro del terremoto Chileno.....	20
Fig. 3.7. Terremoto Alaska, 1964. Epicentro y tiempo de viaje del tsunami, producido por el terremoto.....	21
Fig. 3.8. Epicentro del terremoto de Sumatra-Andama, 2004.....	22
Fig. 3.9. Terremoto Chileno en 2010.....	23
Fig. 3.10. Terremoto de Japón 2011.....	25
Fig. 4.1. Mapa de localización de la bahía de Potosí.....	28
Fig. 5.1. Factores físicos controladores del desarrollo costero	34
Fig. 5.2. Geomorfología costera.....	36

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Fig. 5.3. Procesos costeros.....	37
Fig. 5.4. Análisis de los cambios en las líneas de costa en términos de emergencia y sumergencia, erosión y depositación.....	38
Fig. 5.5. Esquema de un perfil a lo ancho de una playa progresiva.....	39
Fig. 5.6. Esquema metodológico.....	41
Fig. 5.7. Fotografía de la localidad de Barra de Potosí.....	46
Fig. 5.8. Mapa geomorfológico de la Bahía de Potosí.....	46
Fig. 5.9. Perfil topográfico desde la línea de costa hacia tierra adentro.....	41
Fig. 5.10. Formación de suelos enterrados	48
Fig. 6.1. Localización del área de estudio en la costa de Guerrero	57
Fig. 6.2. Columna estratigráfica Pit 005-A.....	59
Fig. 6.3. Diatomeas del Pit 005-A observadas en el Microscopio óptico.....	61
Fig. 6.4. Diatomeas del Pit 005-A observadas en el Microscopio Electrónico de Barrido	62
Fig. 7.1. Estructuras de licuefacción	66

LISTA DE TABLAS

	PÁGINA
TABLA 3.1. Grandes terremotos mundiales del s. XX de acuerdo a su Mw.....	18
TABLA 3.2 Parámetros fuente definidos por la magnitud de los terremotos registrados.	26
TABLA 3.3 Comparación de los tres grandes eventos y la edad de las placas oceánicas y su tasa de convergencia.	26
TABLA 3.4 Sismos históricos con Mw ≥ 7.5 del siglo XX en México	27
TABLA 5.5 Geoformas con potencial para estudios de paleosismicidad en la costa.	49
TABLA 6.6 Escaneo general utilizando el Microscopio Electrónico de Barrido.....	60

RESUMEN

La paleosismología utiliza análogos de terremotos modernos para estudiar las huellas estratigráficas que han dejado antiguos eventos de gran magnitud y/o sus posibles tsunamis. El levantamiento o subsidencia cosísmicos de la corteza terrestre modifica el paisaje drásticamente. Las geoformas sirven como reservorio de la evidencia paleosísmica. La costa del Pacífico del sureste de México se encuentra en la zona de subducción; en donde particularmente en la brecha sísmica de Guerrero, se espera que ocurra un sismo de gran magnitud. Cercano a la brecha, se localizan las costas de la Bahía de Potosí. Estudios en la columna estratigráfica demuestran contactos basales abruptos entre unidades, que evidencian cambios rápidos en los procesos de sedimentación, así como la presencia de una estructura de licuefacción. Esta última, por sus características y las del sitio, es producto únicamente de un sismo de $M \geq 5.5$. Estas evidencias sugieren el acontecimiento de dos eventos sísmicos. Las unidades estratigráficas y los cambios paleoecológicos, inferidos de las diatomeas, sugieren un cambio rápido de ambiente marino a terrestre que refleja un levantamiento cosísmico, que cambió el nivel de la costa. Las tasas de sedimentación estimadas en otro núcleo en este estero y correlacionadas al sitio de estudio (Pit 005), sugieren una edad aproximada para el primer evento como 1905. El catálogo de sismos históricos en México señala dos eventos registrados cercanos a esa fecha: 1907 en las costas de Guerrero (M 8.3) y en 1911 en las costas de Michoacán (M 7.9), como probables candidatos. La estructura de licuefacción, suprayacente al contacto abrupto descrito e inyectada en unidades suprayacentes más jóvenes, la más joven de una edad entre 25 a 32 años (de acuerdo a las tasas de sedimentación), podría asociarse al terremoto de $M_w = 8.1$ ocurrido en las costas de Michoacán, el 19 de septiembre de 1985.

Palabras clave: *Cambios relativos del nivel del mar, Paleosismología, terremoto, licuefacción, tsunami.*

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, las civilizaciones se han asentado en la costa adaptándose a los cambios del nivel del mar. Cada lugar marítimo posee una perspectiva única de su línea costera, construida a partir de su historia, cultura y la propia naturaleza física y biológica de la costa (Davidson-Arnott, 2010).

Los asentamientos en zonas costeras han aumentado considerablemente en las últimas décadas, las Naciones Unidas estiman que dos tercios de la población mundial viven a menos de 100 km de la línea de costa (Bloom, 1998). En 1994, se estimó que el 33.5% de la población mundial vivía en un rango de elevación entre 0 y 100m sobre el nivel del mar. Once de quince ciudades con más de 10 millones de habitantes, sugieren que la mayoría de la población vive en elevaciones bajas cerca de las costas. Existe una estrecha relación entre la disminución de la población al incrementar la altitud, y solo las personas de mediana edad, viven por arriba de los 194m. s.n.m.m. Los peligros geofísicos que perjudican a la humanidad son afectados por la altitud. Si se evalúa el peligro de los riesgos costeros solo en las grandes urbes se desestimaría sustancialmente el número de personas afectas. El balance de los beneficios y peligros que la población humana posee en diferentes altitudes, depende de factores físicos, biológicos, económicos e históricos (Cohen y Small, 1998).

En ocasiones, características propias de la línea de costa y áreas adyacentes, como son: su forma, estructura, topografía, perfil, etc. pueden limitar o favorecer la afectación provocada por tsunamis desencadenados por sismos, y marejadas provocadas por huracanes. Lo anterior, aunado a la modificación de la línea de costa por actividades humanas, como son: construcción de infraestructura (espigones, puertos, etc.), cambio de la cobertura y uso del suelo, como la eliminación de bosques de manglar en zonas tropicales, torna más vulnerable a la población.

El estudio de la historia de la tierra y su aplicación en la reconstrucción de escenarios pasados y predicción de escenarios actuales, resultan de vital importancia para poder identificar los posibles eventos que se presentan en una región determinada y así poder cuantificar y evaluar aquellos de mayor importancia en una escala tanto espacial como temporal (McCalpin y Nelson, 2009).

Una excelente explicación a muchos de los procesos geológicos, se basa en la revolución científica de la década de los 1960's definida por la teoría de tectónica de placas. Esta teoría elucida el movimiento observado de la litosfera terrestre por medio de los mecanismos de subducción y de expansión del fondo oceánico, los cuáles generan los principales rasgos geológicos de la tierra (Tarbuck y Lutgens, 2003).

Los estudios de Paleosismología (estudio de antiguos terremotos) en costas tectónicamente activas resultan de vital importancia, debido a la escasez de conocimiento y cultura ante el peligro por grandes terremotos y sus tsunamis. El registro de tsunamis brinda a largo plazo información para predicción y mapeo de peligros ante tsunamis. Los registros históricos no son muy extensos para desarrollar una cronología predictiva de los eventos utilizando solo datos históricos. La forma de obtener datos a largo plazo es estudiando depósitos de tsunamis prehistóricos (Pinegina *et al.*, 2003).

La falta de información básica, de educación y de preparación ante estos fenómenos, ha ocasionado la muerte de miles de personas. Actualmente no se conoce el periodo de recurrencia de grandes eventos en muchas zonas del mundo y aunque estos fenómenos no son frecuentes, sus daños son devastadores.

México se ubica en una zona de convergencia de placas tectónicas, y particularmente en las costas de Guerrero existe una zona de brecha sísmica, que no ha presentado actividad desde 1911, por lo tanto, la tensión sigue acumulándose y es posible que se pueda generar un gran terremoto y un tsunami (Ortiz *et al.*, 2000; Larson *et al.*, 2004, 2007).

El presente estudio se ubica en la localidad de Barra de Potosí, en el municipio de Petatlán, Guerrero; busca identificar evidencias geológicas de grandes sismos históricos (con una deformación cosísmica) y/o sus posibles depósitos de tsunamis, ocurridos en el Holoceno tardío, en sitios preseleccionados del área mediante el enfoque multiproxy.

Estructura de la tesis

La presente tesis de Maestría en algunos apartados se encuentra elaborada bajo el formato de artículo. La redacción al inicio de la misma posee la estructura típica de: Introducción general sobre el tema; objetivos generales y específicos; un marco teórico; la ubicación del área de estudio; discusión y conclusiones. Los métodos y los resultados, se desarrollan en dos capítulos-artículo, correspondiendo cada uno con los dos objetivos específicos: la caracterización geomorfológica y el estudio estratigráfico y paleontológico. Finalmente la integración de los resultados obtenidos en ambos capítulos se exponen en la discusión, que conduce a una conclusión final (Fig. 1.1).

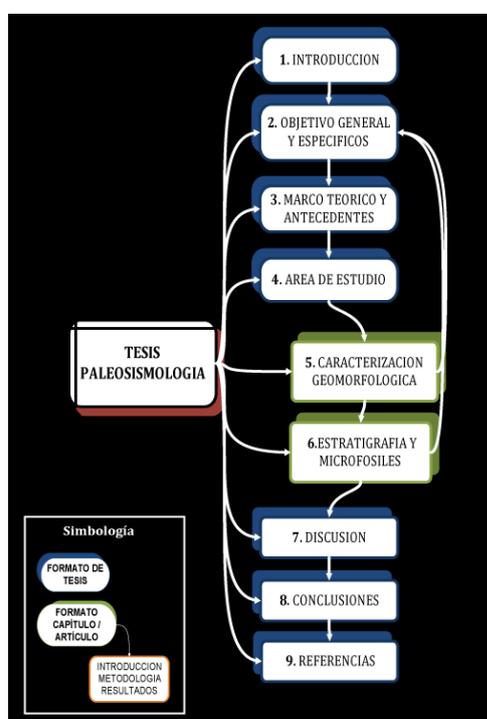


Fig. 1.1 Esquema de estructuración de la tesis.