

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA
Y METALURGICA



PELIGROS GEOLOGICOS
FENOMENO GEODINAMICO: TSUNAMIS

ESTUDIO DEL ORIGEN Y CONSECUENCIAS
DEL TSUNAMI DEL 23 DE JUNIO DEL 2001 EN
LA COSTA SUR DEL PERU

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEOLOGO

Presentado por:
MANUEL DANIEL OLCESE HUERTA

LIMA - PERU
2004

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su más sincero agradecimiento y reconocimiento especial a su Alma Mater la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA por haberme pulido y formado en sus aulas.

A la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, por el apoyo brindado y haber hecho posible la culminación de la presente tesis.

Del mismo modo, agradezco la colaboración de mis asesores, compañeros de trabajo, entre otros que aportaron con sus sugerencias a la revisión y corrección de los mapas, tablas y a la redacción de esta tesis, orientada a contribuir con la Defensa Civil Peruana al conocimiento del Peligro Geológico: Tsunamis enmarcado dentro de los Fenómenos Geodinámicos, que es una de las causas principales de los desastres en nuestro país.

Los conceptos que aquí se exponen surgen de la experiencia adquirida en los estudios y trabajos realizados en la Costa Sur del Perú y otras zonas costeras del país en los últimos seis años, así como la experiencia desarrollada por otros profesionales investigadores para quienes va mi respeto y mi reconocimiento.

Las impresiones fotográficas fueron obtenidas de los archivos del autor, de la Dirección de Hidrografía y Navegación, del Instituto Geofísico del Perú, de la Internet, a quienes agradezco sus aportes.

Debo agradecer también sobre todas las cosas a nuestro Creador, Dios, por ayudarme y dirigirme en la realización de la presente tesis.

Además en forma muy especial a mis señores padres Manuel y Hortensia, a mis hermanos quienes siempre me alentaron y me apoyaron en todo sentido para culminar mi carrera universitaria y convertirme en un profesional competente. A mi hija Natalie quien es la persona que más quiero en este mundo y la fuerza de inspiración y amor para realizar y desarrollar cualquier trabajo que emprenda.,

Y un agradecimiento muy especial a mi querida esposa y excelente madre Grace Milagros Caballero Marroquín, quien sin su apoyo y constante empuje no hubiera logrado culminar la presente Tesis.

Daniel OLCESE Huerta

INDICE

RESUMEN	06
CAPITULO 1	
GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes.....	08
1.2 Objetivos	09
1.3 Finalidad	09
1.4 Alcances	09
1.5 Plan de Trabajo.....	10
CAPITULO 2	
GEOLOGIA	
2.1 Introducción.....	13
2.2 Geomorfología.....	13
2.2.1 Faja Litoral	13
2.2.2 Cordillera de la Costa	15
2.3 Geomorfología submarina	15
2.3.1 Plataforma Continental	16
2.3.2 Talud Continental	16
2.3.3 Fosa Oceánica	18
2.3.4 Placa de Nazca.....	18
2.3.5 Naturaleza del Fondo Marino.....	19
2.4 Marco geológico	19
2.4.1 Estratigrafía.....	19
2.5 Geología estructural	28
2.5.1 Marco Estructural.....	28
2.5.2 Estructuras del área de estudio.....	31
2.5.2.1 Zona de Fallamiento en Bloques.....	32
2.5.2.2 Zona de Emplazamiento del Batolito de la Costa.....	32
2.6 Geología histórica	32
CAPITULO 3	
FUNDAMENTO TEÓRICO	
3.1 Definición de tsunami o maremoto	34
3.2 Generación de tsunamis	34
3.2.1 Por movimiento sísmico	34
3.2.2 Por erupción volcánica.....	35
3.2.3 Por deslizamientos	35
3.2.4 Por caída de meteoritos	37
3.2.5 Por acción Antropogénica	37
3.3 Tipos de tsunamis según la distancia de origen.....	37
3.3.1 De origen cercano.....	37
3.3.2 De origen regional.....	38
3.3.3 De origen lejano	38
3.4 Condiciones para la generación de tsunamis	38
3.5 Características de los tsunamis	38
3.5.1 Velocidad de Propagación.....	39
3.5.2 Período	39
3.5.3 Longitud de la onda.....	39
3.5.4 Altura de Onda	40
3.6 Magnitud y energía	40
3.6.1 Magnitud	40
3.6.2 Energía	41
3.7 Daños producidos por los tsunamis	43

3.7.1	Por el Momento de flujo	43
3.7.2	Por inundación.....	44
3.7.3	Por socavamiento	44
3.8	Fuerzas generadas	44
3.8.1	Fuerzas de Oleaje	45
3.8.2	Fuerzas de Arrastre.....	45
3.8.3	Fuerzas de Impacto	45
3.8.4	Fuerzas Hidrostáticas.....	45
3.8.5	Fuerzas de Empuje	46

CAPITULO 4

GEODINAMICA SISMICIDAD Y OCURRENCIA DE TSUNAMIS EN EL PERU

4.1	Introducción.....	47
4.2	Geodinámica	47
4.2.1	Principales Rasgos Tectónicos.....	49
4.2.2	Zonificación de la Cordillera Andina.....	51
4.3	Análisis y evaluación de la Actividad Sísmica	53
4.3.1	Sismicidad Histórica.....	53
4.3.2	Sismicidad Instrumental	53
4.4	Ocurrencia de tsunamis en el litoral sur	55
4.5	Probabilidad de ocurrencia	57
4.6	Importancia de las informaciones históricas de tsunamis	58
4.7	Regiones tsunamigénicas en el Perú	59
4.7.1	Región comprendida de los 3° á 9° Latitud Sur.....	59
4.7.2	Región comprendida de los 9° á 15° Latitud Sur.....	59
4.7.3	Región comprendida de los 15° á 18° Latitud Sur.....	59

CAPITULO 5

CONCEPTOS PARA DETERMINAR EL RIESGO POR TSUNAMIS

5.1	Relación sismo – tsunami	61
5.1.1	Magnitud del sismo	61
5.1.2	Nivel de profundidad del hipocentro del sismo	61
5.2	Zona de generación de tsunamis	61
5.3	Dirección de propagación del tsunami	62
5.3.1	Zonas de Aguas profundas	62
5.3.2	Zonas cercanas a la costa	62
5.4	Cálculo del tiempo de llegada de la primera ola	62
5.4.1	Métodos gráficos	63
5.4.2	Referencias Mareográficas	64
5.4.3	Referencias Históricas	64
5.5	Altura de ola del tsunami y run – up	64
5.5.1	Altura de Ola	64
5.5.1.1	Fórmulas empíricas	65
5.5.1.2	Métodos Numéricos	66
5.5.1.3	Registros Históricos	66
5.5.2	Run-up	66
5.6	Influencia de las mareas en la altura de la ola	67
5.7	Medidas de protección ante tsunamis	69

CAPITULO 6

DETERMINACION DE LA CAUSA DEL TSUNAMI 23 DE JUNIO DEL 2001

6.1	Generalidades	71
6.2	Ubicación de elipse de generación del tsunami	74
6.3	Procedimiento para determinar elipse de generación	75
6.4	Análisis y discusión de resultados	78

CAPITULO 7	
ESTUDIOS Y EVALUACION DE DAÑOS Y EFECTOS EN LAS LOCALIDADES AFECTADAS	
7.1 Generalidades	89
7.1.1 Métodos de análisis utilizados en campo	89
7.2 Evaluación de daños	90
7.3 Evaluación final	94
7.4 Fotografías del recorrido.....	98
CAPITULO 8	
METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE VÍAS DE EVACUACIÓN Y ZONAS DE REFUGIO EN CASO DE TSUNAMIS	
8.1 Metodología a aplicar	134
8.2 Plan de evacuación	134
8.2.1 Localización y Delimitación de la Zona Inundable (Run-up).....	134
8.2.2 Estudio de la realidad local	135
8.2.3 Zonas de refugio	135
8.2.3.1 Refugios temporales	135
8.2.3.2 Refugios de emergencia	135
8.2.4 Determinación de las rutas de evacuación	136
8.2.4.1 Rutas de Evacuación Principales	136
8.2.4.2 Rutas de Evacuación Secundarias	136
8.2.5 Ejecución del proceso de evacuación.....	137
CAPITULO 9	
ELABORACION DEL PLAN DE EVACUACIÓN	
9.1 Introducción	138
9.2 Plan de evacuación para el balneario de Camaná	138
9.2.1 Formulación del Plan de Evacuación	138
9.2.2 Puesta en Funcionamiento del Plan de Evacuación	142
9.2.3 Estimación de los Posibles Efectos	142
9.3 Otras localidades	143
CAPITULO 10	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	149
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	152
ANEXO	156

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es el de ser considerado como Tesis de Grado para obtener el Título de Ingeniero Geólogo de la Universidad Nacional de Ingeniería y esta referido principalmente al análisis y evaluación Geológica y técnica del tsunami del 23 de Junio del 2001 que afectara a las poblaciones costeras de Yauca, Chala, Atico, Ocoña, Camaná, Quilca y Matarani del Departamento de Arequipa, en el Sur del Perú. Se analiza la causa del tsunami, se evalúan sus daños y efectos, se determina el riesgo de este tipo de desastres en la región recomendándose medidas de prevención y protección en apoyo a Defensa Civil, se elabora un plan de evacuación para las localidades y se establece una relación con Defensa Civil con la finalidad de prevención y mitigación.

El territorio peruano, como la mayor parte de Sudamérica, es identificado como modelo de territorio sometido a un proceso de subducción de placas tectónicas y que se manifiestan abiertamente en los fenómenos magmáticos que originan el emplazamiento del Batolito de la Costa, volcanismo y emplazamientos de yacimientos mineros, así como de movimientos sísmicos como terremotos y tsunamis y expresiones topográficas relevantes como la cordillera de los andes y la fosa marina.

En la faja costanera del sur del Perú se distinguen dos unidades geomorfológicas: la Faja Litoral y la Cordillera del Costa, las que ofrecen formas características de modelado geotectónico, clima y vegetación. La Geomorfología marina esta bien marcadas por la presencia de la plataforma, el Alto Estructural (Alto Borde de la Plataforma), el Talud Continental y la Fosa Oceánica.

A lo largo del área de estudio afloran rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, perteneciente a unidades del Paleozoico, Mesozoico, Terciario y Reciente que sobreyacen a un basamento constituido por un complejo metamórfico pre-Cambriano. Estructuralmente dichas áreas están relacionadas principalmente al modelo tectónico de placas, donde la placa oceánica se extiende a una profundidad de 80 km. aproximadamente por debajo de la placa continental. Se distinguen de oeste a este zonas estructurales donde se describen la de Fallamiento en bloques y la del emplazamiento del Batolito de la Costa.

Se hace una hipótesis de la causa del tsunami, empleando datos sobre los parámetros del sismo, análisis del tsunami y los antecedentes de tsunamis en la zona, la que probada con el método gráfico de Diagramas de Refracción determina que la fuente de generación del tsunami se ubica cerca de la fosa peruano-chilena (2,250 m, HIDRONAV), ubicándose el epicentro del sismo con las coordenadas 17°12'36"S y 73°01'12"W, siendo la distancia horizontal del foco a la fosa de 57 Km aproximadamente. El tamaño de la fuente de generación indica que el área dislocada corresponde a un sismo de magnitud $M_s = 7.7$. Al ubicarse el epicentro del sismo en el plano batimétrico se determina que el tirante de agua sobre la zona de ruptura fue de 2,250 m.

Asimismo se comprueba el riesgo de desastres por tsunami de las siguientes localidades costeras:

Camaná por ser una bahía de forma abierta, de poca pendiente y escasa plataforma continental, lo que favorece la penetración, el poder destructivo y el divagar tierra adentro del tsunami.

Las Playas de Tanaka y Chala se asientan frente al mar, en estos sitios después del sismo el mar se retiró unos 200 m. Lo mismo sucedió en Atico, Caleta La Planchada, Ocoña, Caleta Ocoña, Matarani y Mollendo.

La caleta Quilca y otras numerosas caletas de pescadores muestran un alto riesgo de desastre por tsunamis.

Los escenarios descritos exigen tomar medidas preventivas e intensificar la educación de las autoridades y de la población sobre cuando ocurren estos fenómenos y que se debe hacer para protegerse.

Se recomienda a las autoridades y a Defensa Civil emprender la planificación de las zonas costeras, lo que será además favorable para su desarrollo.

Camaná es una ciudad importante en la región por su agricultura y población de 25,000 habitantes. La ciudad se encuentra frente al mar y prácticamente a su nivel. Se ha realizado un Plan de Evacuación para Camaná según la metodología de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú y del Centro de Investigación Sísmica y Mitigación de CISMID que se desarrollara en el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (1990- 2000). Esta metodología localiza y delimita la zona inundable, estudio de la localidad, identificar zonas de refugio, rutas de evacuación y el procedimiento del conjunto de acciones coordinadas a ejecutarse durante la evacuación.

Se ha calculado que la altura de ola más probable que se presentaría en la costa de Camaná sería de 6.7 m. considerando el efecto de la marea y la braveza del mar y analizando el comportamiento de la ola dentro de la bahía la máxima altura sería de 8.0 m para el norte de la bahía y de 6.5 m hacia el sur. El tiempo crítico de llegada de la primera ola a la costa sería de 12 minutos. La delimitación de la zona potencialmente inundable permite ver que dentro de ella se encuentran colegios, iglesias, clubes de playa, restaurantes, discotecas, etc. También se ubican canales de regadío, granjas e instalaciones de descarga al mar (tuberías). Con la referencia del Censo de 1993 se ha estimado que se afectaría una población de 12,858 habitantes, la que sería mucho mayor si el tsunami ocurriera en verano y a horas punta de día sábado (35,000 veraneantes).

Se ha propuesto que la alerta natural contra tsunamis sea el mismo sismo con una intensidad mínima de VIII en la escala Mercalli Modificada y de duración de 45 segundos o más. Un aumento o descenso del nivel del mar fuera de lo normal, precedido por un sismo en la costa, puede ser la señal de que se está acercando un tsunami con origen a un ciento de kilómetros de la costa o menos.

Finalmente se emiten conclusiones sobre el sismo evaluado destacando su origen, características y efectos. Asimismo se emiten recomendaciones para sistemas de alerta, construcciones, condiciones médicas, planes de evacuaciones, planes educativos sobre tsunamis y sus efectos, planificación de las zonas costeras, para ser tomadas en cuenta ante futuros desastres, por las autoridades locales, regionales y de Defensa Civil Peruana.

Capítulo 1 Generalidades

1.1 Antecedentes

El Perú, debido a su posición geográfica se encuentra ubicado en una de las zonas sísmicas más activas del mundo conocida como el Círculo del Fuego o Círculo Circumpacífico. Por lo cual, muchos sismos han afectado nuestro país desde siglos pasados y muchos lo harán en el futuro. De todos los sismos que han afectado el Perú, algunos han sido tan severos que han originado fenómenos conocidos como tsunamis.

Los Tsunamis son fenómenos que se originan en las profundidades de los océanos y muchas veces de consecuencias más funestas que el sismo previo que la generó. Los siguientes ejemplos nos dan una idea de los daños que provocan los tsunamis:

- a) En el Japón el tsunami del 15 de junio de 1896, produjo un saldo trágico de más de 27000 víctimas; otras 3000 personas murieron en el tsunami de 1933. En Chile el 22 de Mayo de 1960 ocurrió, frente a la costa sur, un terremoto que ocasionó olas gigantes de más de 10 metros de altura que ocasionaron la muerte de 2000 personas.
- b) El principal puerto del Perú, el Callao fue destruido el 20 de octubre del 1687 y el 28 de octubre de 1746 por tsunamis, los cuales ocasionaron muerte y destrucción, siendo el segundo el que más destrucción causó, falleciendo alrededor de los 5000 pobladores del puerto y sobreviviendo alrededor de 200 personas.

Estos datos históricos, nos manifiestan que debemos estar alertas y preparados ante cualquier eventualidad que pueda ocurrir en caso de un terremoto costero.

Mediante estudios científicos se ha podido determinar que un sismo de magnitud Ms mayor que 7°, con epicentro en el mar y profundidad focal menor de 60 Km. (sismos superficiales) podrán generar tsunamis destructivos, denominándose a aquellos sismos como sismos tsunamigénicos. **El presente estudio evalúa y analiza las características generales del tsunami originado por el terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001.** Este tsunami afectó principalmente a la localidad de Camaná con olas que alcanzaron alturas máximas de 8 metros llegando a producir la muerte de 23 personas, 63 desaparecidos y cuantiosas pérdidas materiales.

Por otra parte, el Centro Internacional de Alerta de Tsunamis, con sede en Honolulu (Islas Hawaii), envió 9 mensajes de alerta informando en estos una magnitud preliminar del sismo Ms 8.0°, comunicando que se había generado un tsunami en la costa frente a Camaná, e indicando el tiempo de arribo de la primera ola del tsunami a las diferentes localidades costeras de Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá y Nicaragua, seguidamente el Centro Nacional de Alerta de Tsunamis operado por la Dirección de Hidrografía y Navegación activo la alerta entre la población. Aproximadamente 14 minutos después de ocurrido el sismo, arribó la primera ola de tsunamis frente a la costa del Balneario de Camaná de las tres olas registradas, ocasionando destrucción de más de 2000 edificaciones, e inundando incontables hectáreas de sembríos además de causar la muerte de muchos pobladores de la zona afectada.

Aprender como se originan y propagan los tsunamis en nuestra área de estudio nos proporcionará una mejor información para la prevención y mitigación de los desastres que pueden ocasionar estos fenómenos.

En la última década del siglo pasado se inició el “Programa Nacional para la Prevención y Mitigación de Desastres en el Perú” (PNPMD), el cual fue manejado por el Departamento de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas con sede en Ginebra y el Instituto de Defensa Civil del Perú (INDECI), los objetivos del PNPMD para el año 2000 eran:

1. Que todos los peruanos, por remoto que sea el lugar de su residencia, conozcan qué situaciones de desastre se pueden producir en su localidad y que deben hacer para protegerse.
2. Que todas las construcciones públicas y privadas que se realicen en el país estén adecuadamente protegidas contra los desastres.

Como colaboración y contribución al Instituto de Defensa Civil del Perú (INDECI), la presente tesis trata del estudio del tsunami del 23 de Junio del 2001 y como medida de protección se elabora el Plan de Evacuación para Camaná, plan que debe ser aprovechado por INDECI para realizar los simulacros de evacuación, asimismo en esta tesis se propone un adecuado Manejo Integral de las Zonas Costeras lo cual estaría implicando un ordenamiento territorial de la localidad hacia áreas seguras, lejos de la zona inundable. Asimismo este trabajo sobre la Bahía de Camaná debe tomarse como un “Modelo Camaná” para ser aplicado a bahías similares en el litoral peruano.

1.2 Objetivos

De acuerdo a lo anterior, los objetivos que persigue esta tesis son:

- a) Presentar este trabajo como tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Geólogo.
- b) Determinar la causa que dio origen al tsunami y estudiar su propagación hacia la costa.
- c) Realizar una evaluación de riesgo de generación de tsunamis para las localidades costeras.
- d) Elaborar el Plan de Evacuación para Camaná.
- e) Establecer esta tesis como modelo para su explotación por parte del Instituto de Defensa Civil-INDECI que son las autoridades responsables del bienestar de las poblaciones peruanas que habitan zonas costeras amenazadas por posibles tsunamis, al magisterio y a la población en general.

1.3 Finalidad

Tratar de minimizar las pérdidas de vidas humanas y materiales teniendo en consideración el tiempo mínimo de evacuación para la zona en peligro. Además mitigar los daños educando a la población sobre estos fenómenos.

1.4 Alcances

El estudio abarca el litoral Sur Peruano comprendido entre los departamentos de Ica y Tacna, haciendo énfasis a la posición crítica del tsunami frente a las principales ciudades del litoral. Además, se pudo comprobar in-situ que en la zona que se presentaron los mayores daños, fue principalmente el tramo de Pucchun (zona agrícola) hasta el Balneario de Camaná, de la provincia de Camaná y

departamento de Arequipa. En total, la extensión de costa estudiada abarca unos 600 km. de largo aproximadamente. (Ver mapa N°1)

Para determinar la causa que dió origen al tsunami haremos uso del método gráfico conocido como Curvas o Diagramas de Refracción, el cual permite reproducir el avance del tsunami desde la fuente de generación hasta su arribo a la costa.

Para la determinación del tiempo de llegada de la primera ola del tsunami a la costa, se ubicaron las presumibles zonas de generación de sismos entre la línea de costa y el eje de la fosa Peruano-Chilena.

Asimismo, proporcionamos lineamientos sobre el uso de la información asociados a los peligros geológicos para la planificación y desarrollo adecuado de zonas costeras. Uno de los principales lineamientos será el de formular el Plan de evacuación. Este Plan de Evacuación se establecerá por dos resultados previos fundamentales: El tiempo de llegada de la primera ola y la altura de ésta en la costa. El Plan de Evacuación así formulado tendrá por objetivo permitir a la población acceder rápidamente hacia lugares de mayor cota topográfica, evacuando hacia zonas seguras donde previamente se establecieron los refugios temporales, que darán cobijo a la población afectada.

La formulación de este Plan para el Balneario de Camaná obedeció a las siguientes razones:

1. El alto riesgo de desastre debido a la ubicación desfavorable de este Balneario respecto al mar.
2. El registro de los efectos destructivos ocasionados por anteriores tsunamis en la ciudad de Camaná, incluyendo éste último evento.
3. La falta de Planes de Evacuación; y
4. La facilidad de disponer de información básica como son: planos básicos de la ciudad, planos topográficos, etc.

Para la determinación del tiempo de llegada de la primera ola emplearemos el método gráfico del Diagrama de Refracción, en el que se indica la dirección de ataque del tsunami, así como una concentración o dispersión de la energía a medida que este se aproxime a la costa. La altura de ola quedará determinada haciendo uso de la fórmula de Yamaguchi, teniendo presente el nivel de la marea y la braveza del mar.

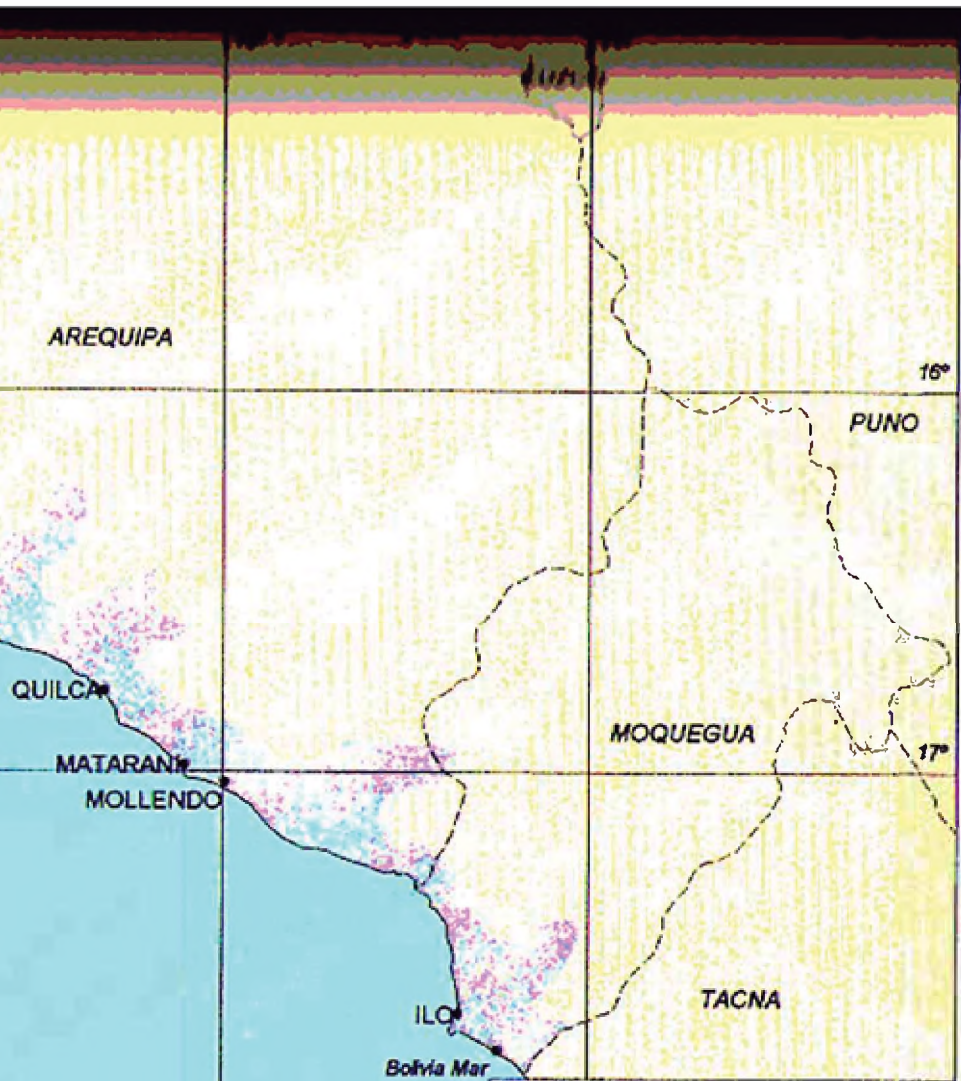
1.5 Plan de Trabajo


El Plan de trabajo empleado ha sido elaborado por la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), para formular Planes de Evacuación. Dicho plan se desarrolló para elaborar las Cartas de Inundación en caso de tsunamis y consiste en: localización y delimitación de la zona crítica, estudio de la realidad local, zonas de refugio, rutas de evacuación y finalmente, las acciones a realizar durante una evacuación.

Según esta metodología se desarrollará ordenadamente los siguientes puntos para estudiar las causas y efectos del tsunami:

1. Delimitación de las zonas generadoras de sismos con características tsunamigénicas, teniendo como base la carta de sismicidad elaborada por el Instituto Geofísico del Perú.






UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica
 Escuela Académico Profesional de Geología

PLANO DE UBICACION
 DE LAS LOCALIDADES ESTUDIADAS
 TITULANI 73 DE JUNIO 2001

Autor: Daniel OLIVERO MORALES	Fecha:	Lugar:	Hoja:
Escala: 1:50,000	Título: Profesional	Mes: 2001	1
Hoja: 1			

2. Determinación de las superficies elípticas de colapso del fondo oceánico.
3. Elaboración de los frentes de refracción de ondas, desde la zona de generación del tsunami hasta la costa de interés.

La metodología empleada consiste en elaborar un Diagrama de Refracción en el que el tiempo calculado de arribo de la primera ola concuerde con el tiempo registrado de la misma en el mareograma del puerto de Matarani ; y en base al diagrama anterior, analizar el tamaño y ubicar la fuente de generación del tsunami. De esta manera se puede conocer las características del sismo previo al tsunami.

La presente tesis intitulada "Estudio del Origen y Consecuencias del Tsunami del 23 de Junio del 2001 en la Costa Sur del Perú", fue elaborada en la División de Geofísica del Departamento de Medio Ambiente de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú.

2.1 Introducción

El territorio peruano está dentro del modelo tectónico sometido al proceso de subducción de las placas tectónicas. Este proceso de subducción de placas constituye las manifestaciones de la energía interna de la Tierra que crea nuevas estructuras, y está asociado a los fenómenos magmáticos (vulcanismo, mineralización, batolito de la costa), dando origen a los fenómenos sísmicos (terremotos, temblores, tsunamis), y fenómenos tectónicos (formación de cadenas de montañas, elevaciones, depresiones topográficas), que conforman el relieve de la Tierra. (Figs. 2.1 y 2.2)

2.2 Geomorfología

Los rasgos generales del relieve en la zona de estudio comprende las siguientes unidades geomorfológicas:

- a) Faja Litoral.
- b) Cordillera de la Costa.

Cada unidad fisiográfica ofrece formas características de modelado, clima y vegetación. Toda el área se encuentra ampliamente disectada por numerosos valles transversales casi todos secos, de rumbo NE-SW, cuyas partes planas intermedias reciben la denominación de "pampas" y dan al paisaje la fisonomía regional de la costa Sur del Perú.

2.2.1 Faja Litoral.- Se ha designado así a una faja de terreno que se extiende entre el litoral y el pie de la cadena costanera hasta una altura de 500 m.s.n.m.; su ancho varía desde unos cuantos cientos de metros hasta más de 8 Km. Dentro de esta unidad se distingue la ribera marina la cual está orientada de NW-SE, las terrazas que forman las pampas del litoral, y los conos de deyección.

En los alrededores de San Juan de Marcona esta faja se encuentra hacia el Norte y es representada por terrazas marinas, en el litoral de Chala esta faja es angosta y comprende varias superficies escalonadas, casi horizontales que van desde el nivel del mar hasta la altura de 300 m., en la zona de Atico se presentan entre la ribera del mar y la base de la escarpa longitudinal, es una faja estrecha de suave declive y su ancho disminuye gradualmente de NW-SE, en Ocoña en el borde litoral se han observado restos de terrazas marinas una en Cerro Pescadores y la otra al extremo Sur de la ciudad de Ocoña, estas se encuentran sobre una altura de 50 y 200 m.s.n.m., tienen un relieve suave y están compuestas de arenas y conglomerados, el ancho de playa con una longitud aproximada de 60 Km, varía de 5 a 300 m en la parte central, en los extremos SE y NW, dicha ribera ofrece playas estrechas con acantilados de más de 100 m de altura labrados en la formación Camaná, el litoral de esta zona se caracteriza por un perfil de contorno irregular, la parte central comprendida entre Jahuay al NW y los Cerrillos al SE de Camaná, presenta la forma de un arco, con una línea uniforme, las terrazas y los conos de deyección presentan una topografía suave con una pendiente hacia el Océano Pacífico moderada en las primeras y más acentuadas en los conos, siendo el más importante el del río Camaná. Dicho cono constituye una planicie que partiendo de la localidad de San Gregorio aguas abajo, se va ensanchando progresivamente adoptando en conjunto una forma triangular, cuyos extremos ribereños ubicados a inmediaciones de la hacienda Pucchun y La Punta Vieja, están separados alrededor de 12 Km.

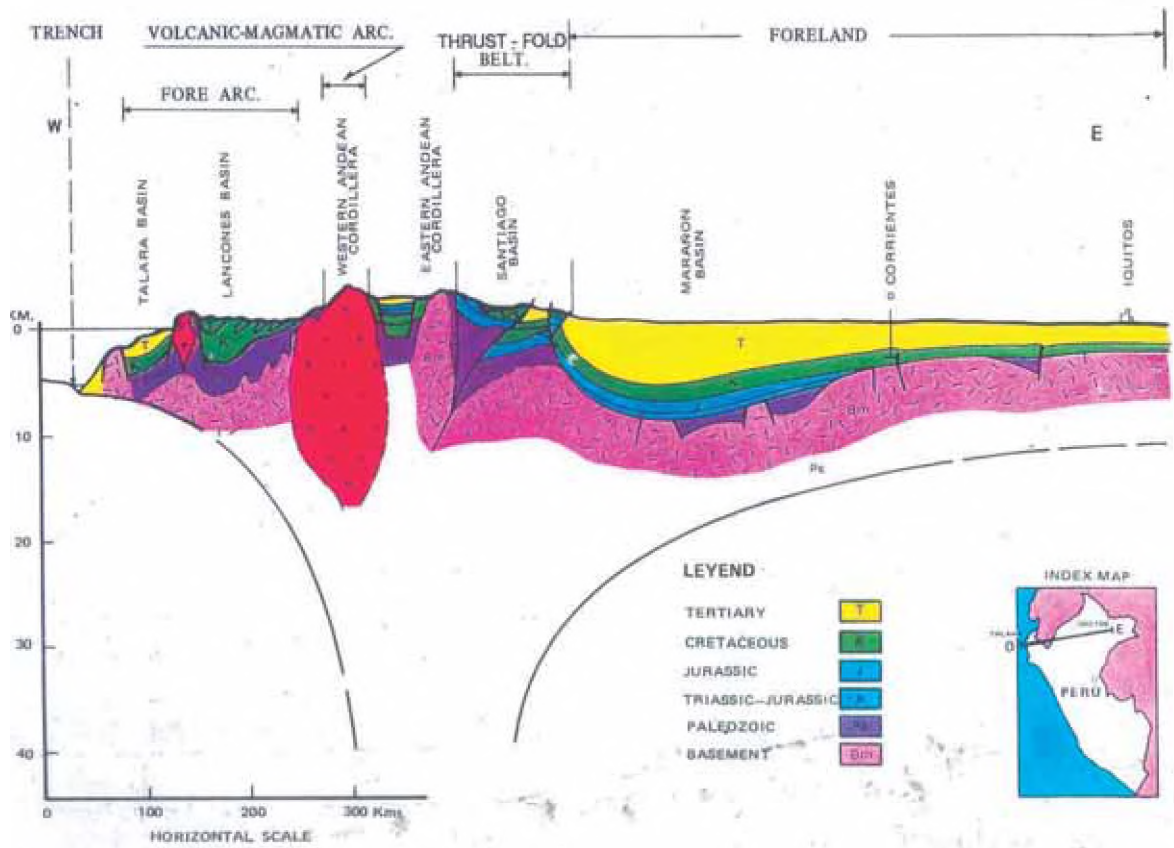


Fig. N°2.1 Características Principales de las estructuras de la corteza continental Peruana

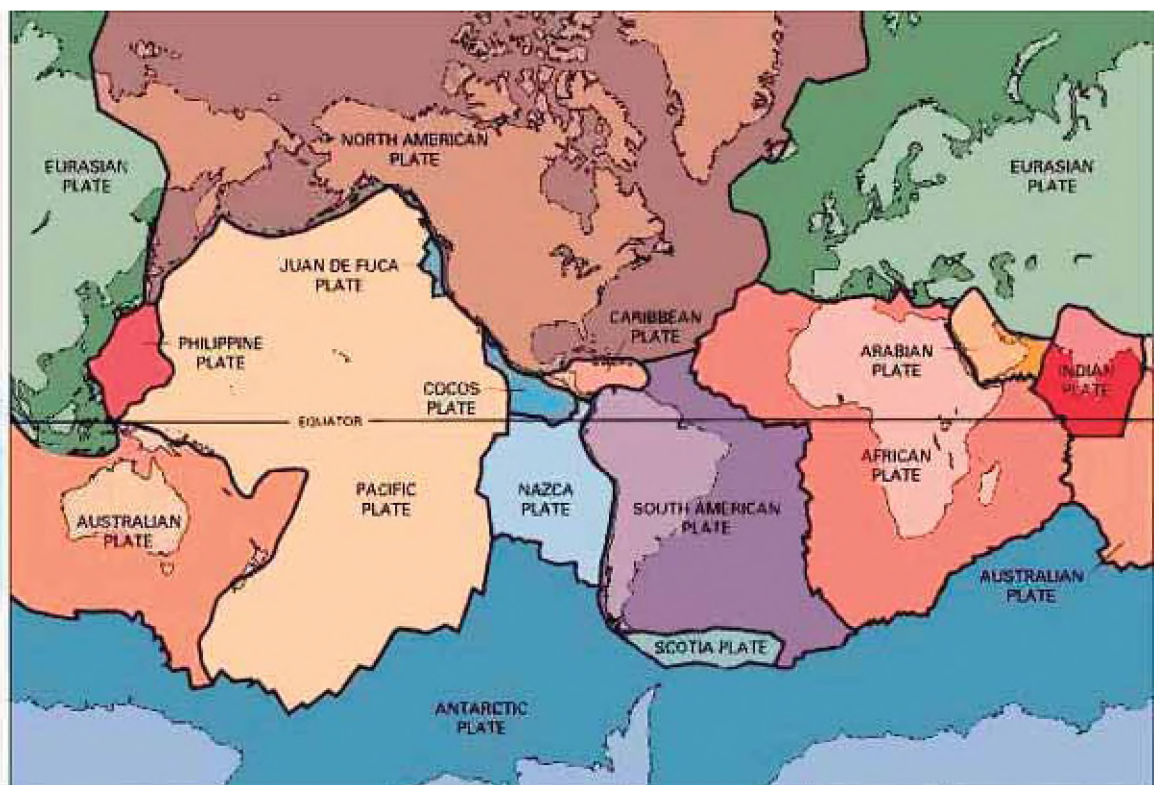


Fig. N°2.2 Mapa del mundo que muestra las placas tectónicas más importantes

Este abanico aluvial desde su inicio al Norte de San Gregorio, con una cota de 45 m.s.n.m. desciende una gradiente topográfica bastante suave. También, existen zonas alejadas unos cientos de metros de la ribera marina y aún en lugares próximos a la ciudad de Camaná, que tienen una cota o altura próxima o aún más baja que el nivel del mar, lugares donde en ciertas épocas del año aflora el agua subterránea, originando grandes aniegos. En el área de Mollendo esta faja comprende un ancho de 5 Km que se desarrolla desde la ribera del mar y la cota de 400 m.s.n.m., su relieve es bajo y de pendiente suave 5° a 6° al WSW, dentro de esta unidad la línea de costa esta formada por acantilados del orden de 80 m. de altura, esta unidad ha sido modelada por abrasiones marinas y esta compuesta por rocas gnéisicas, dioríticas y graníticas. Y en la localidad de Ilo, esta unidad comprende la ribera del mar y el pie de la Cordillera de la Costa, alcanzando una cota de 400 m. y un ancho de 3 a 7 km. Se caracteriza por presentar varias planicies de abrasión marina cubiertas por terrazas marinas escalonadas hasta los 350 m. de altitud sobre el flanco de la Cordillera de la Costa, algunas características observadas en estas terrazas indican que se trata de terrazas levantadas por procesos epirogénicos que datan desde el Terciario hasta el reciente.

2.2.2 Cordillera de la Costa.- se extiende paralela a la costa desde la Península de Paracas hasta Chile, una faja montañosa de relieve moderado y que en opinión de varios autores (Lisson 1925, Steinmann 1930), constituye los restos de un macizo que se extendía en tierra firme por una distancia considerable hacia el Oeste de la línea actual de la costa. Esta cordillera regionalmente, esta compuesta por rocas como gneis, esquistos y depósitos del Paleozoico superior.

Se presenta formando una faja de territorio elevado, orientada de NW-SE, con anchos variables de 10 a 25 Km, y esta cortada transversalmente por valles encañonados. El flanco que mira el pacífico consiste de laderas empinadas que alcanzan alturas promedio de 1,800 m.s.n.m. y el flanco oriental presenta laderas moderadas que se pierden debajo de los clastos que forman las pampas costaneras.

Las elevaciones más notables a lo largo de este macizo son de NW a SE: Zaparo Grande (1,450 m), Chupallas (1,250 m), Los Medanos (1,470 m), Puite (1,661 m), y Papal (1,774 m). Las cimas se encuentran erosionadas y cubiertas por depósitos recientes, mientras que el resto del área se caracteriza por una topografía suave de colinas con un drenaje dendrítico irregular. Además, un sistema de fallas transversales de tipo normal ha fracturado este macizo en bloques, dando lugar a la formación de áreas elevadas y depresiones que han influido en el desarrollo de las formas topográficas actuales.

2.3 Geomorfología Submarina

Estructuralmente, MACHARÉ (1986) describe las unidades morfo-estructurales en el margen continental peruano. Bajo el nivel del mar se hallan la Fosa Oceánica y parte de la región de Antearco, esta región se extiende entre la Fosa y la Cordillera Occidental (Arco Magmático); morfológicamente, se distinguen 4 sectores alargados y paralelos a la fosa (Fig. 2.2): (1) Plataforma Continental; (2) Alto Estructural cartografiado por THORBURN y KULM (1981); (3) Talud Superior y; (4) Talud Medio e Inferior.

- a) La Plataforma Continental, es más amplia y está bien desarrollada entre los 7° S y los 14° S, con variaciones que están relacionadas con la evolución geodinámica de este margen.

- b) El Alto Estructural separa las cuencas de antearco externas e internas. Al sur de los 14° S, este alto está representado por la Cordillera de la Costa. Entre 14° S y 6° S se halla sumergido y forma el borde externo de la plataforma continental; aquí fue cartografiado por THORBURNG y KULM (1981) quienes le dieron el nombre de Alto Borde de la Plataforma (Outer Shelf High: OSH). En el margen central, las islas Chincha, Hormigas, Lobos de Tierra, poseen rocas metamórficas similares. Al norte de los 6° S esta estructura reaparece en la costa formando los macizos de Illescas que, según CALDAS (1979) pertenecerían al mismo conjunto (Figura 2.4)
- c) Talud Superior, de relieve más regular, y
- d) El Talud Medio e Inferior, que está limitado hacia arriba por una ruptura de pendiente llamada, según THORBURNG y KULM (op. cit.) Umbral del Talud Superior (Upper Slope Ridge: USR).

2.3.1 Plataforma Continental.- es la prolongación del continente bajo el mar, es la zona que se extiende desde la línea de costa hasta una profundidad de 200 m, o donde ocurre un cambio brusco de la pendiente. Esta presenta relación con las 3 zonas de la costa definidas por SCHWEIGGER (1964) como zona norte, zona centro y zona sur.

La zona norte está comprendida hasta Punta Aguja, la zona centro está situada entre Punta Aguja e Isla San Gallán y la zona sur desde Pisco hasta Morro Sama. Los rasgos de la costa actual han sido adquiridos en el Plioceno–Pleistoceno, la paleogeografía terciaria se extendía por el norte hasta los 5° S y por el sur hasta los 16° S (MACHARÉ 1986). Estimaciones del área de la Plataforma han sido realizadas por SAMAMÉ (1985). Hasta la isóbata de 100 brazas indican un área de 26.800 millas náuticas cuadradas (mn²), y por debajo de ésta, incluyendo la extensión del fondo hasta 200 brazas, ha cuantificado hasta 43.400 mn².

La zona norte es relativamente angosta y su borde exterior es paralelo a la línea de costa a una distancia de 3 a 6 millas. Al norte se extiende hasta las 35 millas frente a Puerto Pizarro y Máncora, prolongándose hacia el oeste con el Banco del Perú (Banco de Máncora). Hacia el sur se estrecha hasta casi desaparecer entre Cabo Blanco y Punta Pariñas (Negritos); entre este lugar y Punta Aguja se encuentran las Bahías de Paita y Sechura, donde la plataforma se extiende hasta las 15 y 20 millas respectivamente.

En la zona centro el ancho aumenta. Frente a Pimentel es de 55 millas náuticas (mn) y en Chimbote casi alcanza 70 mn, disminuyendo hacia el sur; al sur de Huarmey se estrecha hasta 30 mn y a la latitud del Callao unas 40 mn; hacia el sur continúa siendo más angosta y alcanza sólo 5 mn en la Península de Paracas (TEVES y EVANGELISTA, 1974).

En la zona sur el promedio de la Plataforma Continental es de 5 mn y un máximo de 13 mn, cuando se ensancha en la desembocadura de los ríos Majes y Tambo, debido al acarreo de sedimentos y en menor grado frente a los ríos Locumba y Sama. En la zona sur, la isóbata de 80 bz se aproxima más a la línea de costa.

2.3.2 Talud Continental.- El límite de este talud es el borde externo de la plataforma continental, y su límite inferior es reconocido por un cambio brusco en la pendiente donde está presente la Placa de Nazca. El eje de subducción constituye el eje de la Fosa Oceánica. También se le reconoce

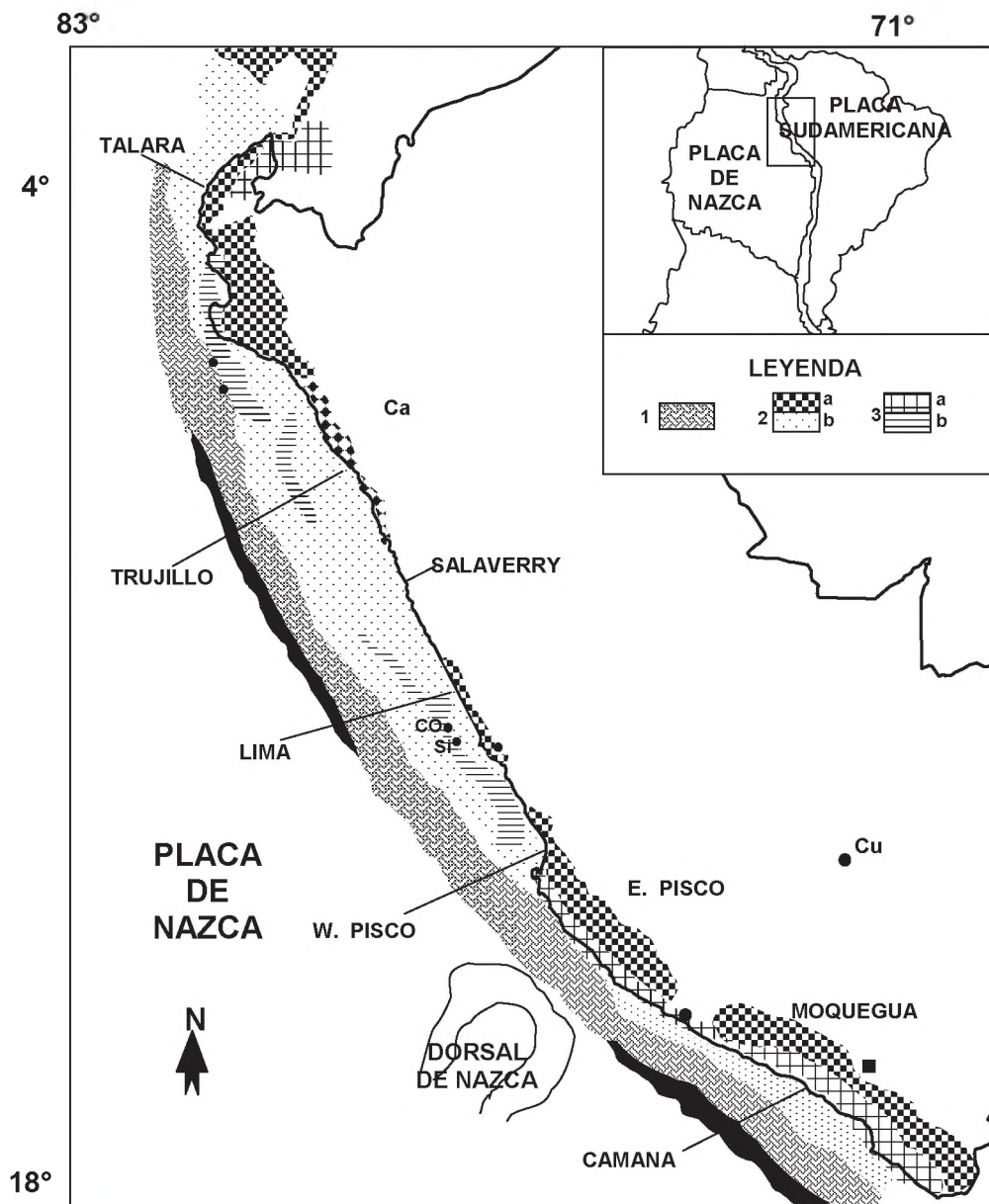


Fig. N°2.3 Morfoestructura de la costa Peruana. (1) Talud medio e inferior; (2) Cuencas de antearco; (a) subaéreo; (b) submarino; (3) Altos estructurales: (a) Cordillera de la costa; (b) submarino: OSH

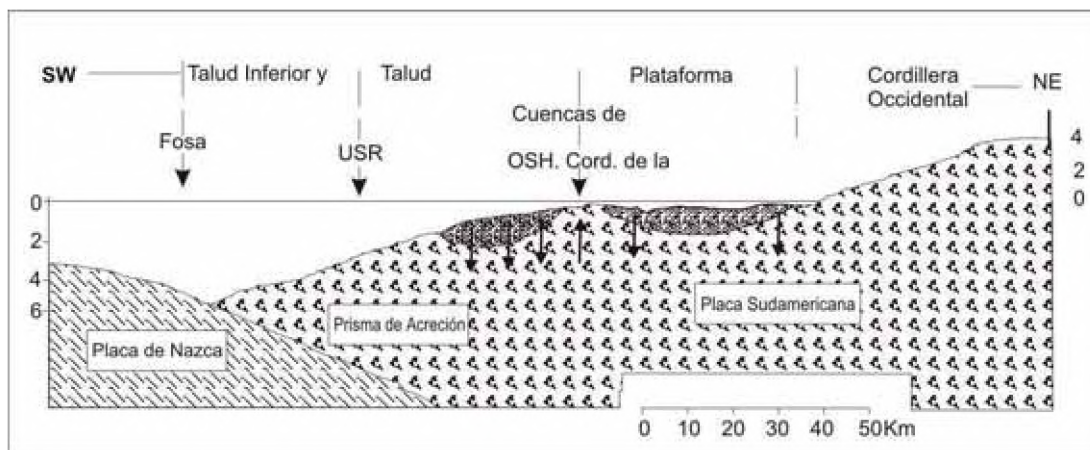


Fig. N° 2.4 Corte esquemático de la morfoestructura de la costa Peruana.

por su mayor pendiente con respecto a las zonas que enlaza. Su principal carácter es que está surcado por largos tajos a modo de valles, que a veces llegan a la plataforma continental y que se han denominado Cañones Submarinos.

El Talud Continental frente a la costa peruana tiene un declive de 14% en promedio. En la zona de estudio, a 30 mn al SW de Punta Pescadores se encuentra un cañón submarino que parece ser el más importante del área sur con un desnivel de 640-730 m, un ancho máximo de 3,5 mn y la anchura en el fondo de 1,5 millas. (TEVES y EVANGELISTA, 1974).

El Talud Superior, es de relieve más regular, donde se emplazan una serie de cuencas externas entre 200 y 2000 m de profundidad: Talara (Tumbes incluida), Trujillo (Yaquina incluida), Pisco Oeste y Camaná.

El Talud Inferior y Medio, con escasa cobertura de sedimentos, se limita hacia arriba por una ruptura de pendiente, llamada según THORBURN y KULM (1981) Umbral del Talud Superior (Upper Slope Ridge: USR).

2.3.3 La Fosa Oceánica.- Se halla presente a lo largo de toda la costa peruana y chilena, tomando por ello la denominación de Fosa Perú-Chile, limitando el contacto entre la litósfera oceánica de la Placa de Nazca y la litósfera continental de la Placa Sudamericana.

En un corte transversal de oeste a este presenta una ladera oceánica, una pequeña planicie de profundidad máxima por cuyo centro pasa el eje de la fosa, y una ladera continental ligeramente más empinada que la primera. Las variaciones de profundidad están asociadas al volumen de sedimentos que rellenan la fosa y a la presencia de una estructura transversal conocida como la Dorsal de Nazca.

La isóbata de 3.000 brazas (5.500 m) no es continua a lo largo de la fosa, pero incluye dos depresiones angostas separadas por un puente algo menos profundo, de más de 75 millas, que constituye la Dorsal de Nazca entre los 14° S a los 15° S. Considerando la isóbata de 2,600 brazas como un borde exterior de la fosa, el ancho de la depresión norte varía entre 12 a 60 mn; con un valor máximo entre los 9° S y los 12° S; las mayores profundidades se hallan próximas a las islas Guañape (6.308 m) hacia el sur de la latitud 15° S; el eje de la fosa se profundiza abruptamente.

El eje de la fosa se mantiene entre 40 y 140 mn de la línea de costa, alcanzando el borde externo su mayor distancia a los 10° S, con un valor próximo a las 200 mn. Una dorsal prominente se presenta en el eje de la Fosa del Perú entre 07°25' S a 7°50' S y 8°30' S a 9°30' S., se levanta hasta 900 m sobre el relleno de turbiditas y consiste de un basalto toleítico (TEVES Y EVANGELISTA, 1974).

2.3.4 Placa de Nazca .-Se halla situada a continuación de la Fosa Perú Chile. Hacia el oeste limita con la Cordillera Submarina del Pacífico Este; su extensión es aproximadamente 5.000 Km de largo y 4.000 Km de ancho. En la parte central a partir de la latitud de Nazca, existe una cordillera submarina en dirección oblicua a la costa denominada Dorsal de Nazca, esta presenta formas suaves; al norte se halla la Dorsal de Galápagos que mantiene una dirección E-W; y la Dorsal de Carnegie, ligeramente oblicua hacia el SE. El espesor de los sedimentos sobre la Placa de Nazca varía entre 100 y 200 m, predominando los carbonatos. Los sedimentos superficiales varían en edad desde actuales hasta el Plioceno.

2.3.5 Naturaleza del fondo marino.- En la mayor parte del borde de la plataforma, la cobertura de sedimento es escasa o desaparece, debido a que son áreas rocosas expuestas a la acción de las corrientes (SAMAMÉ 1985). Se han detectado fondos rocosos en la región del Banco de Máncora constituidos por basalto, de igual manera existe este tipo de fondos en el área de las islas Lobos de Afuera y Lobos de Tierra, en los cañones y en el talud superior (SAMAMÉ 1985). En estos lugares, entre 3° S y 8° S, los sedimentos predominantes son limo arcillosos, los cuales cubren casi la totalidad del área mencionada, excepto en las zonas correspondientes a la bahía de Sechura y de las islas Lobos de Afuera y Lobos de Tierra. En estas últimas predominan los fondos de arena limosa y arena. A mayores profundidades se presenta arcilla limosa.

En la zona central, entre 6° S a 10°30' S, en la amplia plataforma predominan los sedimentos de esta naturaleza, salvo algunos parches de material más fino como arcilla limosa. A continuación de la franja limo arcillosa del talud superior, se hallan distribuidos sedimentos de arcilla limosa hacia zonas más profundas, y hacia la fosa se encontraron algunas extensiones de texturas de arcilla.

Al sur de los 11° S (al sur de Puerto Supe), los sedimentos de texturas de arcilla limosa ocupan la mayor extensión del talud y la plataforma, salvo entre Huarmey y Pisco y en forma casi continua entre San Juan y Mollendo, donde afloran fondos rocosos que alcanzan la superficie y también entre los 11° S y 14° S, donde hay pequeños parches arenosos y limo arcillosos principalmente.

Los sedimentos en la plataforma y talud superior, de acuerdo a lo estudiado por DELGADO(1987), mantienen las mismas características en todo el sector sur de nuestra costa. Corresponden principalmente a arcillas limosas diatomeicas con presencia de huesos de vertebrados marinos, escamas de peces, pellets fecales de peces invertebrados, ligeramente silíceas, con altos contenidos de carbono orgánico, color verde oscuro a negro.

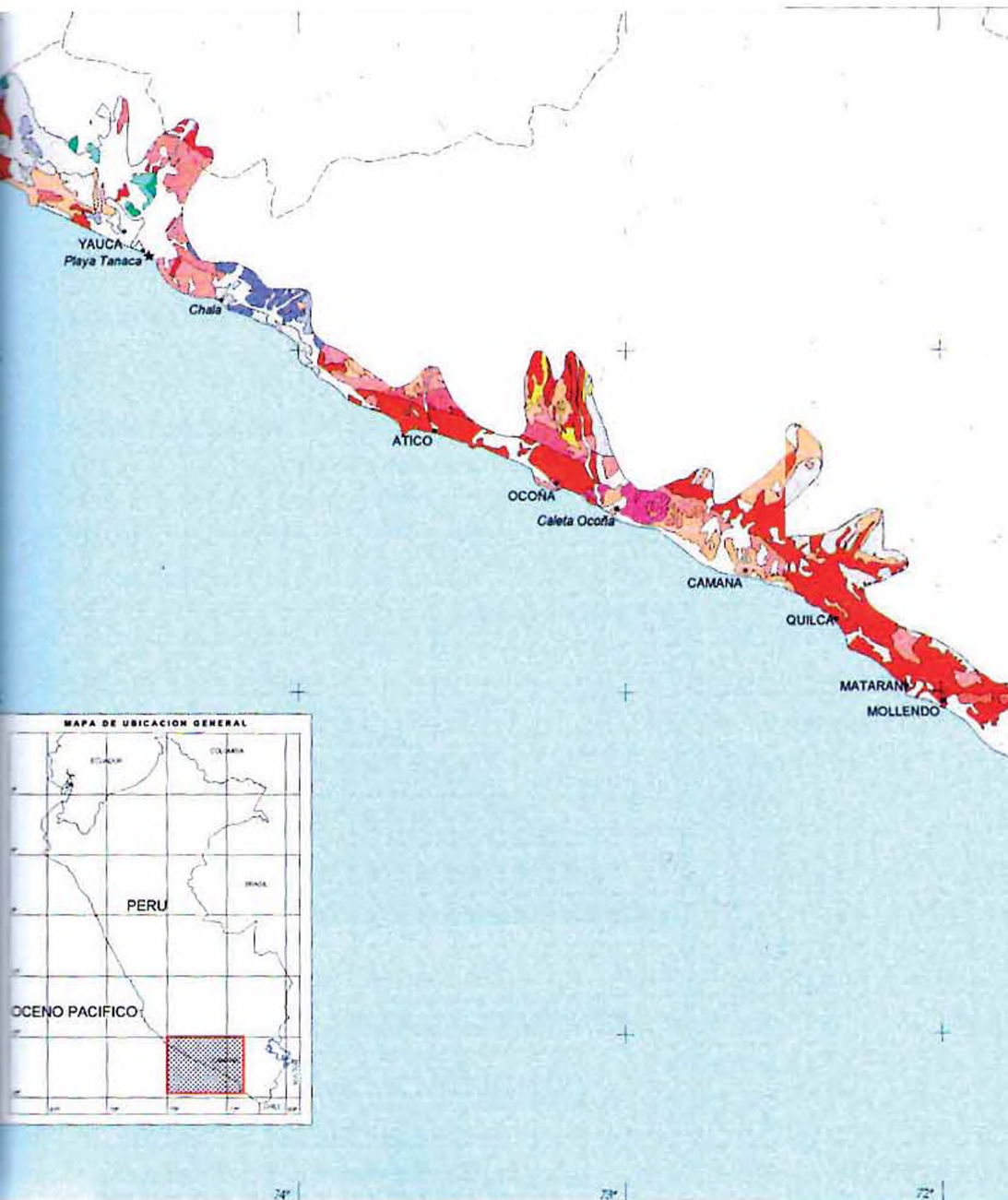
2.4 Marco Geológico

En el área de estudio, se observan una variedad de unidades litológicas como sedimentarias, ígneas, metamórficas y depósitos superficiales, con una edad que varía desde el Precámbrico hasta el Cuaternario reciente, como se muestra en el mapa de la página siguiente,

2.4.1 Estratigrafía

PRECAMBRIANO

Complejo Basal de la Costa.- Con esta denominación Bellido y Narváez (1960) han descrito rocas metamórficas compuestas por gneis y esquistos, asociados con intrusivos de granito alcalinos rojos y dioritas gnéisicas. En el área estudiada las rocas del Complejo Basal afloran a la orilla del mar, donde forman promontorios y bancos muy erosionados y sumamente fracturados. El gneis es de color gris oscuro a gris verdoso en fractura fresca, con bandamiento bien marcado, en el que alternan los colores claros y oscuros. Las bandas claras están constituidas por cuarzo y feldespatos, mientras que las bandas oscuras se componen de hornblenda y biotita, observándose en la foliación frecuentes venas y ojos de cuarzo así como también de ortosa rosada. El gneis del área de estudio se representa en los afloramientos del Complejo Basal de la Costa tanto por su litología y posición estratigráfica, observándose en Atico, Ocoña, Mollendo e Ilo, a los cuales se ha asignado una edad Precambriana (Bellido 1962). Ver Foto N°2.1



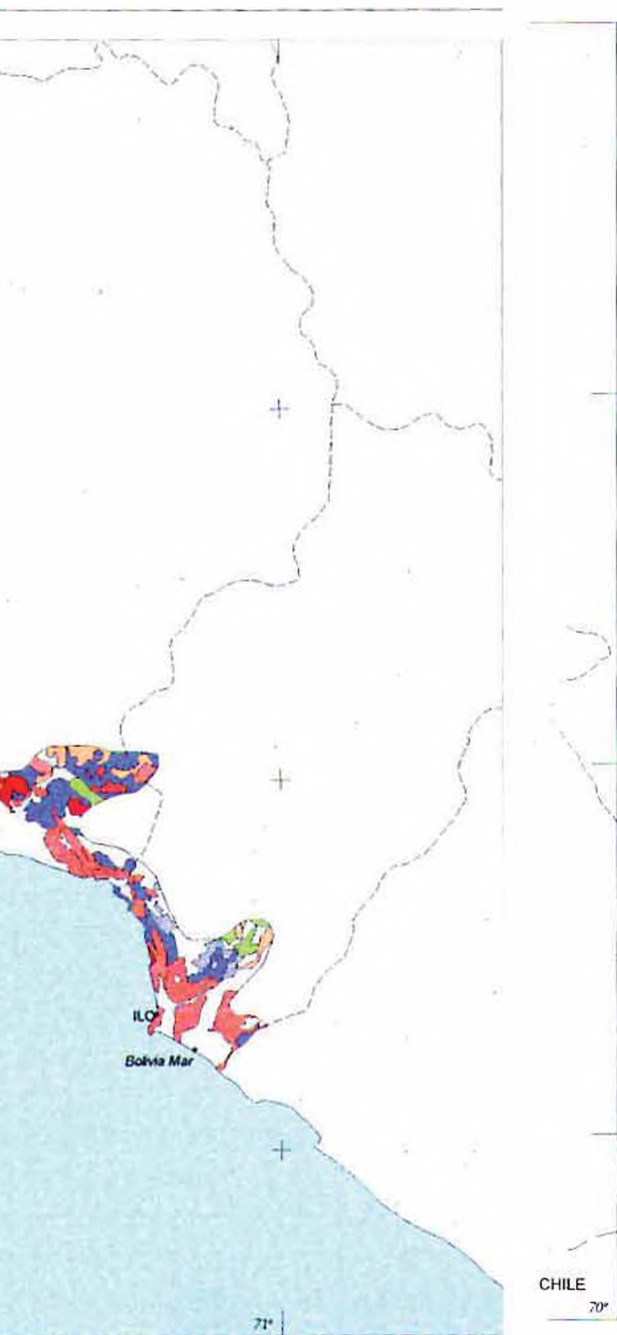
MAPA DE UBICACION GENERAL



74°

73°

72°



LEYENDA				
Escala	Estratigrama	Formación	Símbolo	Formación Geológica
				Descripción
1:500,000	CENOZOICA	CARTAGONES	Ch c	Formación Cartagones
			Ch c	Formación Cartagones
		MULLANA	Ma m	Formación Mullana
			Ma m	Formación Mullana
		VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia
			Va v	Formación Valdivia
	MESOZOICA	JAJUPE	Jj p	Formación Jajupe
			Jj p	Formación Jajupe
		VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia
			Va v	Formación Valdivia
		VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia
			Va v	Formación Valdivia
PALEOZOICA	VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia	
		Va v	Formación Valdivia	
	VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia	
		Va v	Formación Valdivia	
	VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia	
		Va v	Formación Valdivia	
PALEOZOICA	VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia	
		Va v	Formación Valdivia	
	VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia	
		Va v	Formación Valdivia	
	VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia	
		Va v	Formación Valdivia	
PALEOZOICA	VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia	
		Va v	Formación Valdivia	
	VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia	
		Va v	Formación Valdivia	
	VALDIVIA	Va v	Formación Valdivia	
		Va v	Formación Valdivia	



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica Escuela Académico Profesional de Geología			
	PLANO GEOLOGICO COSTERO DE LA ZONA EN ESTUDIO TSUNAMI 23 DE JUNIO DEL 2001			
Autor: Daniel OLCESE Huerta Coautor: Ing Erick ORTEGA R. Escala: 1:1500,000	Tipo: Título Profesional Fecha: Nov 2001	Hoja: 2	Hoja: 2	



Foto N°2.1 Vista del lugar denominado Pampa Redonda, hacia la derecha las elevaciones corresponden afloramientos del Complejo Basal de la Costa, y desembocan en la Playa Tanaka.

Formación Chiquerio.- Secuencia clástica de origen glacial, la cual se observa en Punta Chiquerio y alrededores de San Juan. Esta serie yace en discordancia angular sobre gneis y granitos del complejo metamórfico infrayacente. Litológicamente consiste en conglomerados o fangolitas guijosas laminadas, alternadas con delgadas capas de limos y areniscas distinguibles por la erosión diferencial y por el lavado en los acantilados. Estas rocas se habrían depositado en un mar próximo a casquetes glaciares (W. S. PITCHER 1972), como estratificaciones gradadas verticales y arcillas que engloban bloques, deformando con su peso la estratificación. En su mayor parte la secuencia es estimada con una potencia de unos 100 a 800 m, y se le considera como perteneciente al precambriano superior.

Formación San Juan.- En aparente contacto gradacional sobre la formación Chiquerio, (W. S. PITCHER 1972) descansa una secuencia predominantemente calcárea recristalizada por metamorfismo, litológicamente se compone de tres miembros. El miembro inferior es de naturaleza calcárea y hacia arriba presenta potentes estratos de mármoles dolomíticos, este miembro se observa en las proximidades del Faro de San Juan, en el sector de San Fernando y Chaviña. El miembro intermedio es de naturaleza pelítica transformada a esquistos de bajo grado y se halla en contacto nítido con el miembro inferior, se observa en la desembocadura del río Grande, y en las inmediaciones de las Puntas de San Fernando y El Cenicero. El miembro superior consiste en calizas dolomíticas blanco a beige de grano fino, el contacto con el miembro intermedio es gradacional, con alternancia delgada de esquistos cloritosos. La formación San Juan, se estima que tiene una potencia de 3,000 m. y al igual que la formación Chiquerio son únicas por su naturaleza y posición no pudiéndose correlacionarse con otras unidades por ahora y se le asigna la edad precambriana superior, además la determinación radiométrica K-Ar da una edad ordoviciana (W. S. PITCHER, 1972).

PALEOZOICA

Formación Marcona.- Es una secuencia calcárea pre-mesozoica, se observa en la región de San Juan y solo se reconoce la serie superior, vinculada a los depósitos de hierro de Marcona. Los niveles inferiores

consisten en bancos de calizas silicificadas. Hacia las porciones intermedias, se observan interposiciones de cuarcitas gris oscuras y delgadas capas de esquistos cloritosos parcialmente limonitizados. El espesor de la formación Marcona se estima en 1,500 m., y la edad según datación por roca total Rb/Sr dió una edad cambriana o precambriana. (RIES, 1976).

Grupo Ambo.- Serie de rocas sedimentarias que afloran en la Caleta de Puerto Viejo, y en las cercanías del pueblo de Ocoña, observándose los estratos muy bien expuestos, yaciendo en discordancia angular sobre las rocas del Complejo Basal de la Costa. La parte más inferior de este grupo se encuentra en la margen izquierda del río Ocoña y consiste de un conglomerado basal gris verdoso estratificado en bancos formados por rodados de granito rojo, gneis, esquistos, areniscas cuarcíticas, cuarcitas y cuarzo. Afloramientos similares a los descritos aunque en pequeñas extensiones, se encuentran en algunas quebradas de las lomas de Camaná, otros afloramientos reconocidos se han reconocido en la quebrada Hierbabuena, los cerros de la Cruz de Caña y en la Pampa Colorada. El espesor total de este grupo se ha estimado en 2,700 m. y se correlaciona con los depósitos del grupo Ambo de los Andes centrales debido a una flora fósil similar asignándole a esta unidad la edad Mississippiana. Ver Foto N°2.2



Foto N° 2.2 Estratos de limolitas gris oscuras pertenecientes al Grupo Ambo en la localidad de Puerto Viejo en Chala.

Grupo Tarma.- Este grupo aflora en los cuadrángulos de Chala, Ocoña y Camaná y el nombre originalmente fue dado por Dumbar y Newell (1956). En Ocoña aflora en el lado este de los cerros Los Resbalones, en la margen derecha del río Ocoña y cerca de la carretera Panamericana antigua, existe un afloramiento de calizas de poca extensión. Su potencia oscila alrededor de los 25 m. En Camaná los afloramientos se hallan restringidos a una pequeña zona al NW de la ciudad de Camaná a lo largo de la quebrada La Chira así como al pie de los cerros Loma y la Caleta, formando acantilados frente al mar y hacia el Norte de la playa La Chira, la litología esta compuesta por areniscas grises de grano medio a grueso intercaladas con horizontes de conglomerados finos. La parte inferior de este grupo es lutítica, con capas delgadas de areniscas grises de grano fino y estratos calizos de color gris amarillento con contenidos fosilíferos. La potencia de este grupo se le puede estimar en más de 1,200 m. La edad de estas rocas se obtuvo en base al ammonite *Seudoparaleogoceras Amotapensis*, fósil índice del Pensilvaniano medio. Ver Foto N°2.3

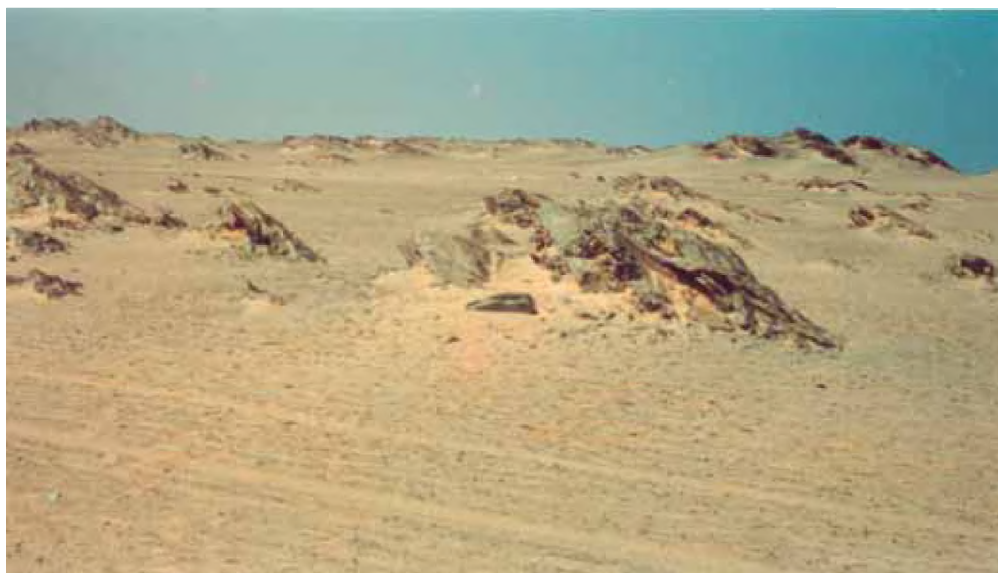


Foto N°2.3 Al sur de Pampa redonda se presenta afloramientos de limolitas de color verde y gris oscuro con horizontes de ignimbrita oscura correspondientes al Grupo Tarma en Chala.

Grupo Mitu.- Esta unidad ampliamente conocida en la cordillera de los Andes Peruanos, por primera vez se ha llegado a determinar en esta región de la costa, en localidad de La Yesera extendiéndose hacia Ocoña. Dichos afloramientos aparecen expuestos en forma discontinua a manera de una faja longitudinal con una orientación NW–SE. En la localidad de Ocoña yace en discordancia angular sobre el Complejo Basal de la Costa, mientras que en la localidad de La Yesera descansa en discordancia sobre el grupo Tarma y soporta en discordancia angular a la formación Camaná. La litología observada, consiste de lutitas arenosas en estratos delgados, con areniscas arcillosas gris verdosas; areniscas arcólicas de grano medio a grueso y una coloración variable, predominando el gris verdoso y el chocolate. El grosor total de este grupo es desconocido, pero se le estima en más de 1,000 m., no se ha encontrado ningún tipo de fósiles, pero por sus facies similares a la formación Mitu se le considera de la misma edad, Pérmico superior. Ver Foto N°2.4

Conglomerado Pocoma.- Con esta designación se describe pequeños remanentes de conglomerados consolidados y compactos que yacen sobre el gneis Precambriano. El nombre de esta unidad proviene de la Hda. Pocoma ubicada casi a la orilla del mar a 30 Km. al NW del puerto de Ilo. Su litología esta compuesta de conglomerados redondeados de gneis, granito rojo y escasos rodados de cuarcita y cuarzo blanco, en una matriz de arenisca verdosa de grano grueso. Su espesor estimado es de 40 a 50 m. Esta unidad es una formación de facies continental derivado de la denudación de los gneis, granitos y otras rocas metamórficas del Complejo Basal. Según correlación (Mendivil y Castillo 1960) de conglomerados y areniscas conglomerádicas basales del grupo Ambo se le asigna la edad de Paleozoica superior.

MESOZOICA

Grupo Yamayo.- Bellido (1962), describió así a una serie compuesta en la parte inferior, por limolitas negras con cuarcitas grises subordinadas e intercalaciones volcánicas, y en la parte superior por areniscas amarillentas, limolitas verdosas, volcánicos y capas de chert que yacen sobre las rocas del Complejo Basal y debajo del Volcánico Chocolate, asignándole una edad



Foto N°2.4 Afloramientos de niveles de areniscas de grano fino con limolitas oscuras, además de niveles de conglomerados bien compactos rojizos correspondientes al Grupo Mitu, en la localidad de Punta Saguas.

comprendida entre el Triásico superior y el Jurásico inferior. Esta unidad aflora en el valle del río Tambo, y en la localidad de Ilo en las quebradas de Guaneros y Osmore. El grosor de esta unidad se divide en una inferior de 940 m. y la superior de aproximadamente 650 m. La edad se ubica entre el Triásico superior y el Jurásico inferior.

Volcánicos Chocolate.- Con esta denominación estratigráfica Jenks (1948) ha descrito en el área de Arequipa en los cuadrángulos de Chala, Punta Bombón e Ilo, es una secuencia promedio de 900 m. de grosor de rocas volcánicas, compuestos de derrames de andesita, basalto, traquita, tufos y aglomerados, conteniendo intercalaciones de lutitas, cuarcitas, calizas y calcáreos de arrecife de edad liásica superior. Estas rocas forman en parte los cerros de la cadena costanera donde se hallan intruídas por granadoritas de diferentes dimensiones ocasionando en los volcánicos, silicificación y piritización. Esta formación yace en discordancia angular sobre los gneis precámbranos en el área de Pocomá, y con discordancia paralela sobre las rocas del Grupo Yamayo del Trias-Jura inferior(?), en el Valle del Tambo. En el puerto de Chala aflora en toda la parte SE y en los cerros Ladera y el Faro. Esta formación no se le ha encontrado fósiles guías que pudieran indicarnos su edad, pero por su posición estratigráfica se le asigna la edad Liásico superior. Ver Foto N°2.5

Formación Río Grande.- Con este nombre se designa a la mayor parte de las unidades volcánico – sedimentarias que se exponen en la faja costanera del departamento de Ica y que se prolongan hasta los alrededores de Ocoña (RUEG 1,962), así como en parte del frente andino. Una de las mejores exposiciones de esta formación, se encuentra al Norte de la desembocadura de Río Grande, donde las capas forman un homoclinal de rumbo NE-SO. No ha sido posible precisar el espesor exacto de la formación, debido a que cuenta pocos fósiles diagnósticos, estimándose que dicha unidad de paquetes pétreos pasan los 4,000 m. En esta unidad es frecuente la presencia de corales y restos de plantas, esto nos indicaría una sedimentación en un mar de condiciones someras y cercanas a ambientes litorales. La edad que se le considera por fósiles guías como el Reineckeia, Belemmites, etc., es Calloviano y Oxfordiano.



Foto N°2.5 En la parte inferior de la vista se presentan niveles brechosos y le sobryace flujos de lava andesíticos de color marrón característico de la Formación Chocolate al norte de Puerto de Chala.

Formación Guaneros.- Secuencia litológica de clásticos marinos formados por areniscas y lutitas intercaladas con miembros volcánicos. Esta formación yace en discordancia sobre el Volcánico Chocolate y subyace también en discordancia al Volcánico Toquepala. La formación se encuentra en afloramientos de regulares extensiones a lo largo del borde de la planicie costanera, desde el cerro Chololo en el cuadrángulo de Ilo hasta el cerro Alto del Meadero. Esta formación consiste en una secuencia mixta de rocas volcánicas y sedimentarias indistintamente intercaladas que llegan a tener un grosor de 2,350 m. Las rocas sedimentarias son de origen marino y consisten de areniscas de grano grueso a fino con estratificación en capas hasta laminares. Las rocas volcánicas consisten en derrames, aglomerados y brechas de color verde, gris oscuro o púrpura. Por su parte las capas marinas que alternan con los volcánicos son fosilíferas, contienen abundantes posidonias y en algunos horizontes están asociados con amonites del género *Reineckia* y otras especies, que indican que la edad de esta formación es Calloviana. Ver Foto N°2.6



Foto N°2.6 Derrames lávicos de la Formación Guaneros en la quebrada de San Agustín en la localidad de Chala.

Formación Jahuay.- La formación Jahuay fue reconocida por RUEGG (1,961), estudiada en su localidad típica, a unos 2 Km al NW de El Jahuay altura del Km 515 de la Panamericana Sur. La serie se inicia en aparente concordancia sobre la formación Río Grande, consiste en un aglomerado volcánico marrón con inclusiones de diferentes clastos redondeados y angulosos. La porción inferior está compuesta por derrames lávicos en forma de brechas laminadas. La sección superior es sedimentaria, está compuesta de una secuencia arenácea con calizas fosilíferas de grano grueso. La potencia de la secuencia se estima en 1,000 m. Se le asigna una edad Titoneano superior e inferior.

CENOZOICA

Oligoceno - Mioceno Inferior

Formación Camaná.- En la cuenca suroccidental se depositó la formación marina Camaná que consiste en 450 m. de lutitas, areniscas y calizas fosilíferas. Esta formación sobreyace sobre el complejo basal de la cordillera de la Costa. El nombre fue introducido por M. Rivera V. (1950), al designar a un conjunto de sedimentos marinos que forman parte de los afloramientos que se encuentran en el flanco occidental de la Cordillera de la Costa, sobre una plataforma de abrasión, extendiéndose en forma continua desde la ribera marina hasta unos 16 Km. tierra adentro. Tiene su contacto inferior en discordancia angular con el grupo Mitu, y soporta con aparente concordancia a la formación Pisco. Además esta muy poco perturbada, presentando en ciertas zonas fallas o monoclinales de relativa amplitud ubicados en los cerros Crucero y San Jacinto en la vecindad de la quebrada del Toro y la ciudad de Camaná. Esta constituida por capas subhorizontales de areniscas de grano fino a grueso y color amarillo claro, en las que se intercalan areniscas, limolitas y lutitas calcáreas de color claro y arcosas de color gris claro, también dentro de la secuencia hay intercalaciones de horizontes lenticulares de conglomerados finos a medios y capas o lentes delgadas de coquinas y microcoquinas. La edad ha sido determinada en base al estudio de la abundante cantidad de material fosilífero que en ella se encuentra, su edad se asume desde el Oligoceno superior al Mioceno inferior. Ver Foto N°2.7



Foto N°2.7 Afloramiento de la Formación Camaná en el Km 807 de la carretera panamericana, se observa una secuencia de limolitas con conglomerados y sistemas de fallas post-pleocénicas.

Formación Moquegua.- Esta formación fue estudiada por Adams (1906) y por G. Steinmann (1930) en el valle de Moquegua de donde proviene su nombre. En la cuenca continental se deposita la formación Moquegua Inferior constituida por arcillas y lutitas rojas yesíferas y arenosas. Esta formación es de edad Paleocénica. Por lo tanto la discordancia corresponde a la fase tectónica incaica del Eoceno Superior y la formación Moquegua Inferior no puede ser más antigua que el Eoceno Superior–Oligocena. Además, dicha formación es suprayacida en discordancia por la formación Moquegua Superior del Mioceno Inferior. Entonces, la formación Moquegua Inferior es Oligocena y equivalente lateral de la formación Camaná. La potencia aproximada de ambos miembros es 550 m. Ver Foto N°2.8



Foto N°2.8 Cuerpo subvolcánico andesítico dacítico cubierto por depósitos continentales de la Formación Moquegua.

Mioceno Inferior

Depósitos Continentales.- Sobre las formaciones Moquegua Inferior (Bellido y Paredes 1963) y Camaná, vienen los depósitos continentales de la formación Moquegua Superior. Esta constituida por conglomerados, areniscas y lutitas arcillosas de color generalmente gris amarillento. Localmente, entre la formación Moquegua Superior y los depósitos infrayacentes existe una discordancia angular debida a la fase tectónica del Mioceno Inferior. En la zona de Ocoña, en la parte media de la formación Moquegua Superior, existe una intercalación marina. Esta transgresión ha podido localmente sobrepasar el umbral que formaba la Cordillera de la Costa dejando sobre esta última una superficie de abrasión marina con restos de conchas y cantos rodados.

Mioceno Superior .- Después de finalizar el emplazamiento del Huaylillas ocurrieron movimientos tectónicos y una reactivación de la erosión. Por esta razón, las formaciones posteriores al Huaylillas van a encajonarse en su superficie, sea en el borde del piedemonte hacia el pacífico (depósitos marinos), sea en el mismo piedemonte (volcanismo). En la cuenca marina se depositó la formación Pisco Newell (1956), de edad Miocena Superior.

Plioceno.- Después de fuertes movimientos tectónicos, en el Plioceno Inferior, se encajonan los valles actuales y no se conocen depósitos de esta época. Luego el mar transgresa nuevamente dejando los depósitos clásticos de la formación La Planchada en la cuenca suroccidental. Esta transgresión constituye generalmente un nivel más alto que las terrazas marinas

cuaternarias. Por encima de esta formación La Planchada, y lateralmente, vienen las grandes acumulaciones de piedemonte del Plioceno Superior Cuaternario antiguo.

ROCAS INTRUSIVAS

Las rocas plutónicas ocupan una gran extensión de la región costera sur y es probable que alcance un tercio del área total. Las rocas intrusivas se presentan constituyendo principalmente los cerros de la llamada Cordillera de la Costa. Su afloramiento abarca una faja irregular aproximadamente de 500 Km de largo orientada de NW a SE y su ancho varía entre 10 y 30 Km. Por su composición las rocas intrusivas varían desde diorita gabroide hasta granito. Estas rocas intrusivas provienen de un magma común de composición ácida, a partir del cual se derivaron en forma diferenciada los tres principales tipos de rocas, consolidándose primero las dioritas, las granodioritas y granitos. Ver Foto N°2.9

Las rocas intrusivas filoneanas son diques de aplita, diabasa, andesita y dacita que se observan en diferentes lugares de la región, atravesando los plutones y las formaciones sedimentarias. La aplita generalmente es de color rosado a blanco con textura equigranular y grano medio a fino, se compone de cuarzo y ortosa, la diabasa es de color gris verdoso a gris oscuro con textura afanítica a porfirítica y la dacita es una roca de color gris verdoso y textura porfirítica.



Foto N°2.9 Cuerpo intrusivo monzonodiorítico bastante erosionado, probablemente emplazado en el Paleozoico. Vista tomada desde la playa Tanaka en la localidad de Chala.

2.5 Geología Estructural

2.5.1 Marco Estructural

Las estructuras del área están relacionadas principalmente al modelo tectónico basado en los términos de lo que se denomina como tectónica de placas. Esto nos indica que la parte superior de la tierra llamada litósfera está constituida por varios bloques amplios y bastante estables llamados placas. Las diez placas mayores están representadas en la figura 2.5.

Para el modelo tectónico peruano, la placa de nazca se extiende a una profundidad de 80 kilómetros aproximadamente; la placa se mueve horizontalmente en relación a la placa continental o sudamericana, sobre una

capa de rocas más viscosas que se encuentran inmediatamente debajo. En el borde de la placa de Nazca, donde existe el contacto con la placa continental, actúan grandes esfuerzos deformantes o tectónicos sobre las rocas, causando cambios físicos e incluso químicos en ellas. En este borde de las placas del modelo tectónico peruano, la estructura geológica de la Tierra es la más afectada por las fuerzas de reacción entre placas, y es aquí donde tienen lugar los cambios geológicos masivos y radicales.

La evidencia geofísica sugiere que la estructura de las placas, tal como se muestra hoy en día en la figura 2.5, no es permanente, sino que experimenta cambios constantes y graduales. La lava fluye continuamente hacia fuera en las dorsales centro-oceánicas. Esta roca se mueve lentamente sobre la superficie de la Tierra formando un nuevo suelo submarino entre ambos lados de la dorsal. De esta forma, las placas se extienden y se mueven con velocidad uniforme en la superficie, como cintas transportadoras, enfriándose y envejeciéndose a medida que se alejan de las dorsales. Por esta razón las dorsales centro-oceánicas son llamadas zonas de extensión.

Se cree que el cementerio de las placas son las fosas oceánicas asociadas a continentes que avanzan o a los arcos de isla. En estos lugares, llamados zonas de subducción, las capas superficiales de roca se sumergen en el interior de la Tierra. A grandes profundidades, la temperatura y la presión aumentan, y la litosfera que se hunde se transforma gradualmente hasta que llega a estar mezclada y absorbida por rocas más profundas.

En la actualidad, la mayoría de las placas de la Tierra están creciendo, mientras que la placa del Pacífico está haciéndose más pequeña. Desde esta perspectiva de una Tierra móvil y cambiante, se piensa que los terremotos que ocurren a lo largo de las dorsales oceánicas son producidos por el crecimiento de las placas. Donde las placas colisionan "de frente" aparecen grandes cadenas de montañas, acompañadas de actividad sísmica casi continua.

Al hundirse una placa hacia las depresiones oceánicas, ocurren en ella las fracturas que generan los terremotos superficiales. En el proceso de este movimiento hacia abajo, se generan esfuerzos adicionales que causan posteriores deformaciones y fracturas, lo que da lugar a terremotos de focos profundos.

Los terremotos de las fosas contribuyen con más del 90% a la energía sísmica del mundo liberada en terremotos superficiales y a la mayor parte de los terremotos de foco intermedio y profundo. La mayoría de los terremotos más grandes, tales como el terremoto de Chile de 1960 y el de Alaska de 1964, se originaron en las regiones de subducción, como resultado de la introducción de una placa debajo de otra.

La escala global de la distribución de las placas y la tasa uniforme de la extensión de las placas implica que a lo largo del borde de una de ellas el deslizamiento debería tener, en promedio, un valor constante durante muchos años. Por tanto, si dos deslizamientos a lo largo de una fosa separados una cierta distancia producen terremotos, podemos esperar que un deslizamiento similar tendrá lugar entre ellos sin demasiada demora. Esta idea sugiere que las pautas históricas de intervalos de distancia y de tiempo entre grandes

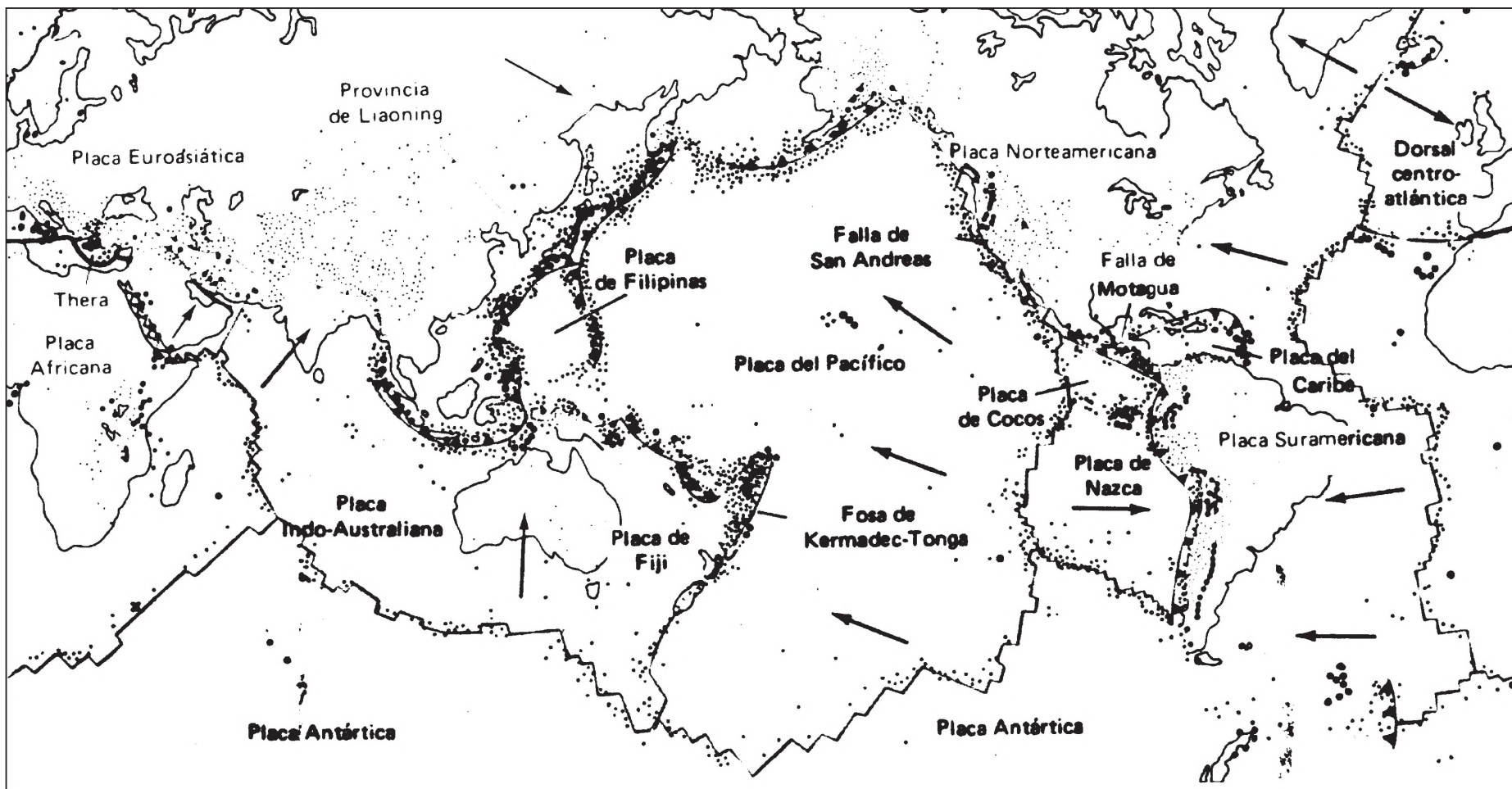
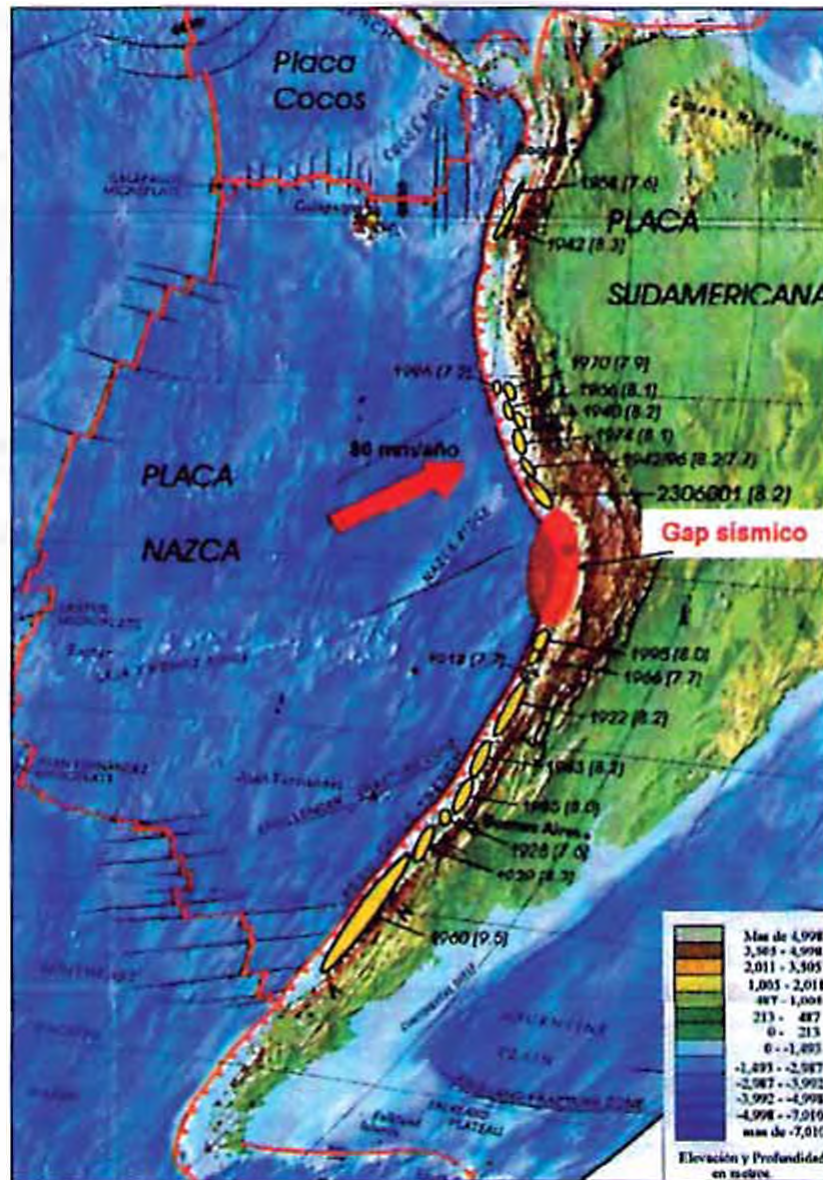


Fig. 2.5 Mapa del mundo que muestra la relación entre las placas tectónicas más importantes, terremotos y volcanes. Los epicentros de terremotos están representados por círculos pequeños y los volcanes por círculos grandes.



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Fig. 2.6 Mapa que muestra los gap sísmicos de la región y terremotos ocurridos a lo largo del margen oeste sudamericano. Las líneas rojas con triángulos pequeños (fosas) son los cinturones sísmicos superficiales. En algunos segmentos a lo largo de estos cinturones, no han ocurrido terremotos importantes en más de 30 años. Se ha sugerido que estas Zonas son las probables localizaciones de futuros grandes terremotos.

La situación que se muestra en la figura 2.6, es para los límites de las placas del Pacífico, específicamente la región Sudamericana. En la figura, los emplazamientos de las rupturas producidas por algunos grandes terremotos recientes están indicados por zonas amarillas.

Si se dibujan todas las localizaciones de tales terremotos superficiales ocurridos en los últimos 30 ó 40 años, se cubren muchas partes de los límites de las dos regiones.

Sin embargo, quedan algunos "vacíos sísmicos" (indicados por las interrupciones de color rojo), los cuales podrían ser muy bien zonas de deslizamiento de la placa y por tanto de terremotos importantes en el futuro.

2.5.2 Estructuras del área de estudio

Las evidencias estructurales de las orogénias más antiguas están indicadas, por el metamorfismo regional que afecta a las rocas del Complejo Basal y por las discordancias angulares ocurridas en el ciclo hercínico, observándose las fases eo y tardi-hercínicas.

Las principales zonas estructurales de la región se han diferenciado según la magnitud y la deformación sufrida por las rocas debido al modelo tectónico peruano descrito anteriormente, materializado ello por los pliegues, fallas y diaclasas que se observan en la zona.

Según lo expuesto anteriormente, se ha dividido el área de oeste a este en zonas con características estructurales tales como: Zona de Fallamiento en Bloques, Zona de Emplazamiento del Batolito, Zona Plegada y Zona Poco Deformada, de las cuales solo describiremos las dos primeras:

2.5.2.1 Zona de Fallamiento en Bloques

Ubicada en el lado occidental, afecta principalmente a las formaciones paleozoicas y mesozoicas, separadas por una discordancia angular, y también al Complejo Basal de la Costa, con respecto a las unidades suprayacentes. Dichas formaciones no se hallan plegadas y adoptan una estructura homoclinal inclinada orientada hacia el N o NW. Esta inclinación, se debe más que nada, al efecto del fallamiento en bloques, que caracteriza a toda esta franja de los Andes.

2.5.2.2 Zona de Emplazamiento del Batolito de la Costa

Contemporáneamente y posterior a la formación de los pliegues afecta a la secuencia mesozoica-infra-terciaria, se produjo el emplazamiento del Batolito de la Costa que siguió una faja de debilidad cortical, consistente en un fracturamiento de dirección NW. Este proceso tuvo lugar entre el Cretáceo superior y el Terciario inferior.

El Batolito de la Costa está localizado entre la zona plegada y la zona de fallamiento en bloques, ocupando una ancha faja longitudinal, está constituido por una serie de grandes cuerpos plutónicos de diferente composición, los que han producido un metamorfismo de contacto en las rocas encajonantes.

2.6 Geología Histórica

Indudablemente la historia geológica de la región empieza con la formación de una potente serie de rocas sedimentarias en periodos del Precámbrico o el Paleozoico más antiguos?. Posteriormente estos sedimentos profundamente cubiertos sufrieron los efectos de un metamorfismo dinámico termal, transformándose en la serie de paraesquistos y paragneis.

Contemporáneamente o quizás más tarde a este diastrofismo, se había producido la intrusión de la diorita. Como una fase final a estos acontecimientos se produce la intrusión de diques y pequeños apófisis de granito rojo. Estas unidades formadas durante el Paleozoico antiguo? o en el Precámbrico, constituyen el macizo de la Costa, elemento que, a través de los periodos geológicos, ha estado expuesto a emersiones y transgresiones. En resumen, la historia geológica pre-carbonífera de la zona es aún muy oscura.

Sobre el basamento peneplanizado se depositaron clastos continentales, correspondientes al Missisipiano, tal como aparecen en Paracas y en la boca del río Ocoña. La transgresión marina del Pensilvaniano inundó la región y aparentemente con un mar relativamente somero y oscilante donde se depositaron las capas

calcáreas, (con fauna de corales, equinoides, etc.) con intercalaciones de areniscas y lutitas.

A las postrimerías del Pensilvaniano o Pérmico Inferior, la región fue nuevamente levantada y posiblemente plegada, continuando luego una prolongada erosión en un ambiente de clima árido.

Una laguna notablemente grande en la secuencia sedimentaria, aparece en todo el Mesozoico hasta el Terciario Inferior. Durante este intervalo, sucedieron en la región procesos de diastrofismo y denudación. A este lapso corresponden, pequeñas actividades ígneas y el inicio del batolito de la Cordillera Occidental que podemos limitar al Cretácico moderno y comienzos del Terciario Inferior.

Una subsidencia a principios del Terciario Inferior llevó algunas áreas de la región bajo las aguas del Pacífico, pues durante el Eoceno Superior y tal vez el Oligoceno, se encontraba esta región cubierta por un mar poco profundo, así evidencia los depósitos de areniscas y lutitas arenosas, (Formación Paracas?) con fauna de pelecípodos y gasterópodos que aflora en la superficie de la meseta costanera. A las postrimerías del Terciario Inferior o principios del Superior, la región comenzó a levantarse paulatinamente, este proceso epirogénico continuó a través del Cuaternario originándose de esta manera, la alta meseta costanera y las notables escarpas frontales.

Del Oligoceno al Mioceno inferior se depositaron las formaciones Moquegua Inferior (continental) con una intercalación marina. Las ignimbritas Huaylillas (cuyo emplazamiento comienza ya a la deposición del tope de Moquegua Superior) fosilizan la primera superficie de erosión neógena.

La segunda fase tectónica compresiva (Mioceno Medio) se traduce por la reactivación de la erosión post Huaylillas, originando una superficie fosilizada por una segunda etapa volcánica ácida. Durante el Mioceno Superior se deposita la formación marina Pisco.

En el Mioceno terminal una tercera fase tectónica compresiva afecta el conjunto del dominio andino, dando en el piedemonte flexuras y fallas. Posteriormente se depositan sedimentos marinos (fm. La Planchada) y grandes acumulaciones del piedemonte en las cuales se interstratifican el volcánico "sillar". Una última tectónica compresiva ocurre en el Plioceno Superior – Cuaternario Antiguo.

Paralelamente al levantamiento secular iniciado en el Terciario Superior, se formaron las planicies escalonadas del litoral y los cursos de agua profundizaron sus cauces formando los notables cañones que caracterizan la región.

Capítulo 3 *Fundamento Teórico*

3.1 Definición de Tsunami o Maremoto

Tsunami es una palabra de origen japonés, usada internacionalmente y designa al fenómeno oceánico conocido como maremoto. En dicho idioma, "Tsu", significa puerto y "Nami", ola. Literalmente significa grandes olas en el puerto: no causa daños en alta mar, pero es destructivo en las costas.

Entonces los Tsunamis son una serie de ondas marinas generadas por una perturbación sísmica o una violenta alteración del fondo oceánico, dichas ondas no son percibidas en alta mar, pero al acercarse a la costa, las olas incrementan su altura. Los tsunamis son más peligrosos cuando se originan cerca de tierra firme, aunque siempre no sucede esto.

En Camaná, Arequipa el 23 de Junio del 2001, ocurrió un tsunami que se generó por efecto del terremoto y destruyó más de 2,000 edificaciones a lo largo de 20 Km. en la costa de Camaná, dejando un saldo de 23 muertos y 62 desaparecidos. El Puerto del Callao, fue arrasado por un tsunami el 28 de Octubre de 1746, causó la muerte de 4800 personas de un total de 5000.

Es importante diferenciar entre que es un tsunami, que son movimientos de aguas profundas, y los maretaños, que son movimientos de aguas superficiales. Lo que equivale a diferenciar que es una onda y una ola. Las ondas son el resultado de movimientos vibratorios, mientras que la ola es un movimiento complejo que tiene por origen diversas causas y muy en particular el viento.

3.2 Generación de Tsunamis

Los tsunamis se generan por las causas siguientes: (Figura N° 3.1)

- Por movimientos sísmicos de origen tectónico con epicentro en mar.
- Por grandes erupciones volcánicas.
- Por deslizamientos o derrumbes submarinos o superficiales.
- Por caída de asteroides en el mar.
- Por acción del hombre (fenómenos antropogénicos tales como: explosiones de bombas atómicas en atolones, bahías, etc.)

3.2.1 Por movimiento sísmico de origen tectónico con epicentro en el mar.-

Este fenómeno geodinámico es la causa más común para la generación de tsunamis. Cuando es generado por un sismo, se le conoce como sismo tsunamigénico, por lo tanto, no todos los sismos generan tsunamis. Al ocurrir un sismo con epicentro en el mar, se originan grandes fracturas en el fondo oceánico y se asumen que estas superficies falladas tienen la forma de elipses alargadas, en donde el eje mayor coincide con el eje de la falla.

En el caso de terremotos superficiales y con epicentro en el mar, el mecanismo de generación de ondas tsunamigénicas se conoce por la teoría de la tectónica de placas, que presenta a la litosfera formada por un número de rígidas placas que se encuentran en continuo movimiento. En el eje de una cordillera oceánica tectónicamente activa (dorsales) donde las placas se separan, se forma nuevo material cortical debido a una continua acreción de corteza oceánica generada por corrientes de convección del manto.

En este proceso, la placa es empujada desde las dorsales hacia la zona de subducción (la Placa de Nazca avanza 80 mm/año hacia la zona de subducción. Figura N° 3.2), donde va gradualmente consumiéndose conforme va deslizándose al interior del manto.

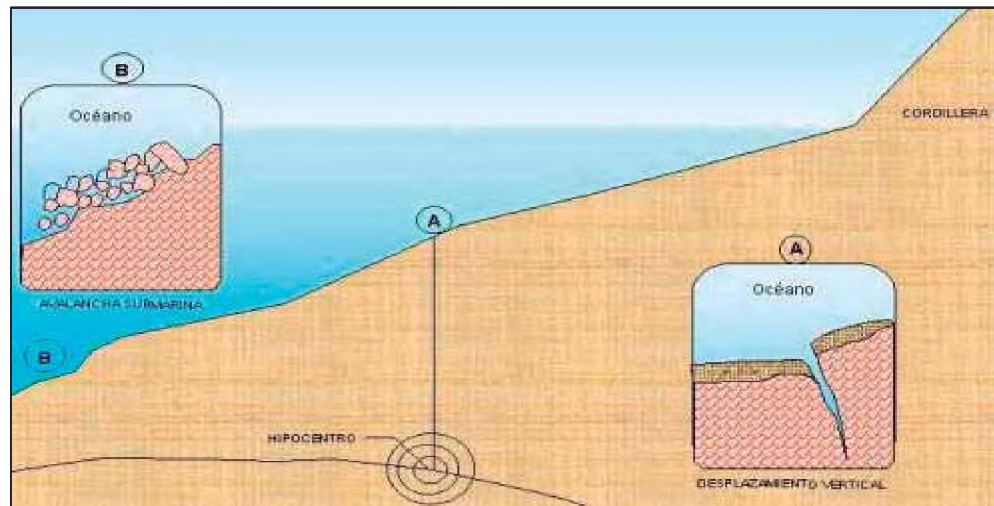


Figura 3.1 Causas principales de generación de Tsunamis.

Este tipo de límite de placa se encuentra en el Océano Pacífico, representado por dorsales y fosas oceánicas, provocando intensa actividad sísmica de foco superficial, intermedia y profundo. De allí que, de aproximadamente 2000 tsunamis registrados en la historia de la humanidad, el 83% han ocurrido en el Océano Pacífico, generados por sismos en el perímetro costero conformado por las zonas de ruptura de subducción interplacas tectónicas (Farreras, S. 1995).

Los tsunamis ocurren después de un gran terremoto de foco superficial bajo el mar. Sin embargo, hay un número de ejemplos donde el terremoto ocurrió tierra adentro. Entonces, deducimos que los tsunamis pueden ser generados por cambios del fondo del mar (fallamiento) o por ondas sísmicas superficiales que pasan a través de la somera plataforma continental. Las ondas sísmicas superficiales de período largo (ondas Rayleigh) tienen una componente vertical y transmiten una buena cantidad de energía del sismo al agua. En las figuras N° 3.3; 3.4; 3.5; 3.6; se muestra el proceso de generación de las ondas de un tsunami.

3.2.2. Por erupción volcánica submarina.- Por esta causa se presentan en porcentaje mucho menor. Ejemplo el ocurrido en 1883 en la Isla Krakatoa, Indonesia, una serie de erupciones volcánicas, generaron un poderoso tsunami, que a medida que avanzaba sobre las islas de Java y Sumatra hundió más de 5.000 botes, devastó cerca de 300 aldeas matando a más de 36.000 personas en muchas islas pequeñas. El tsunami al llegar a las costas generó olas tan altas como un edificio de 12 pisos.

3.2.3. Por deslizamientos de sedimentos de los fondos marinos o superficiales.- Ejemplo de esta causa es la ocurrida durante el terremoto de Alaska en 1964. El sismo provocó un derrumbe de aproximadamente 81 millones de toneladas de hielo y rocas que se precipitaron a la Bahía de Lituya, el deslizamiento creó un tsunami que se precipitó a través de la bahía. Las olas producidas treparon hasta una altura de 350 a 500 metros; las olas más altas jamás registradas. Estas olas dejaron la pendiente de los cerros limpios de todos los árboles y arbustos.

Estas tres formas de generación presentadas son las más comunes. Existen otras causas menores, como las que se describen a continuación.

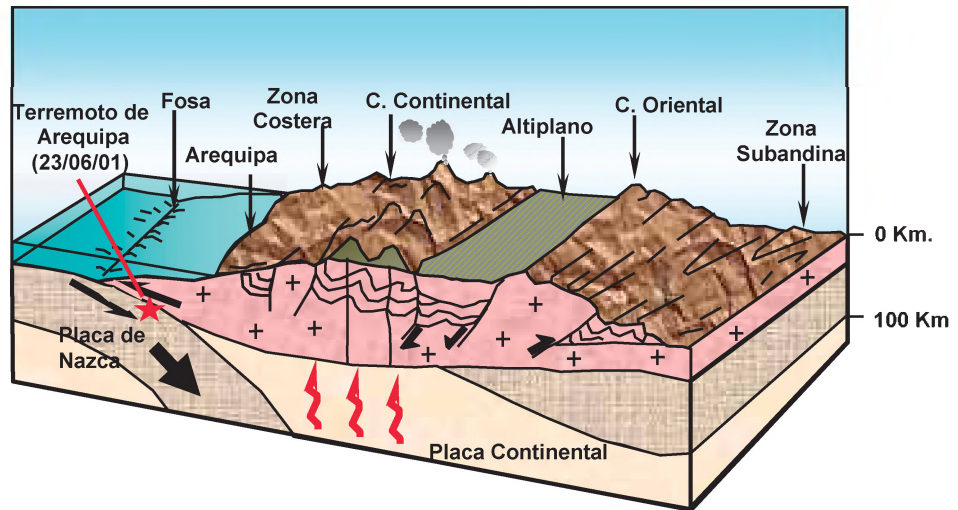


Figura N° 3.2 Esquema general del proceso de subducción que se presenta a la costa sur del Perú.



Figura 3.3 Zona de subducción inter-placas tectónicas.

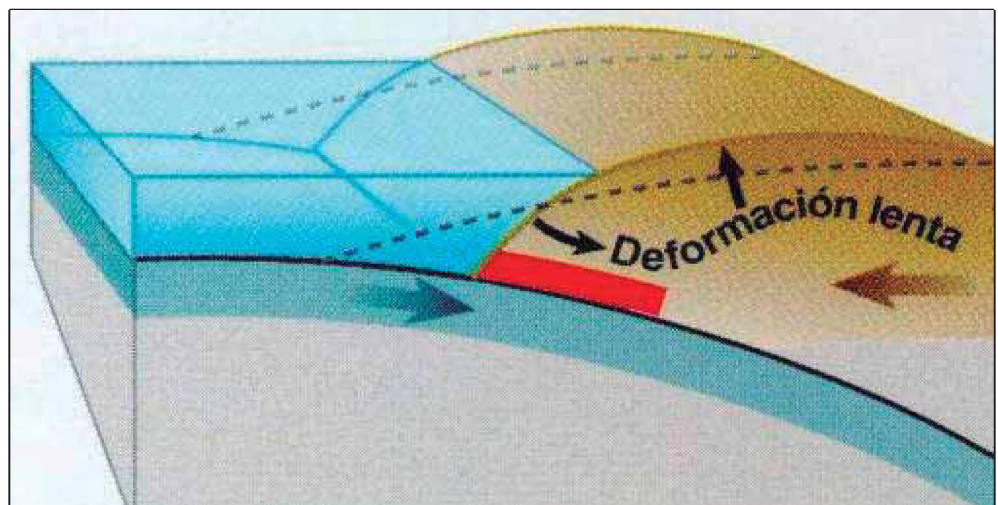


Figura 3.4 La Placa Continental se deforma lentamente, el proceso dura décadas o siglos, aumentando gradualmente la tensión.



Figura 3.5 El terremoto ocurre cuando la Placa Continental se libera. El movimiento del fondo marino genera el tsunami. Paralelamente, el abultamiento superior desaparece, descendiendo o emergiendo la costa.

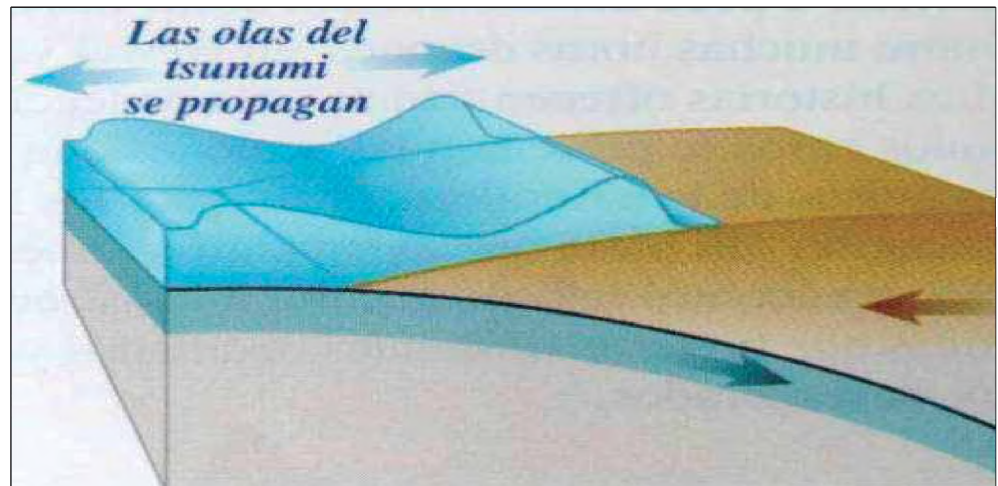


Figura 3.6 Una parte del tsunami se dirige a las tierras cercanas, creciendo en altura a medida que se acerca a la costa. La otra parte, cruza el océano hacia costas lejanas.

3.2.4 Por caída de meteoritos o asteroides.- La caída de asteroides en el mar tendría consecuencias catastróficas. Los asteroides con diámetro menores de 100 m difícilmente alcanzan la superficie de la tierra, estos objetos normalmente explotan a algunos kilómetros sobre la superficie de la tierra, éste fue probablemente el caso con "Tunguska" el evento Siberiano ocurrido en 1908, el área de destrucción fue de 2,000 Km² en un radio de 25 Km. La energía cinética involucrada en un impacto de un objeto de 100 m es el equivalente a aproximadamente 75 megatones de TNT. Estos eventos ocurren con la frecuencia incierta, posiblemente una vez cada 50 años o una vez cada 300 a 500 años (Stell 1995).

3.2.5 Por acción Antropogénica Originado por la acción directa del hombre. Por ejemplo las pruebas realizadas en 1954 por los Estados Unidos en el atolón de las Islas Bikini, produjo un pequeño tsunami que fue registrado en la costa de Japón.

3.2 Tipos de Tsunamis según la distancia de origen

3.3.1 Tsunamis de Origen Cercano o Local Si el lugar de arribo a la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación del tsunami, o a menos de

una hora de tiempo de viaje desde su origen. Podemos cuantificar la distancia indicando que se encuentra en un rango de kilómetros hasta un ciento de kilómetros. Son los más peligrosos por el tiempo de arribo a la costa, este tiempo es de 5 a 30 minutos después de ocurrido el sismo.

3.3.2 Tsunamis de Origen Regional Si el lugar de arribo en la costa está a más de 1000 Km de distancia de la zona de generación, o a pocas horas de tiempo de viaje desde esa zona. Ejemplo: el tsunami generado por un sismo en las costas de Colombia el 12 de Diciembre de 1979, tardó 4 horas en llegar a Acapulco, otro ejemplo es el ocurrido en julio de 1993, en el mar de Japón produjo 120 víctimas en dicho país. Hubo daños también en Corea y Rusia, pero no en otros países ya que el tsunami estuvo confinado dentro del mar de Japón. Este tsunami es denominado un "Evento Regional" ya que su impacto estuvo confinado a un área relativamente pequeña.

3.3.3 Tsunamis Origen Lejano o Transoceánico Si el lugar de arribo se encuentra en costas extremo opuestas a través del Océano Pacífico, a miles de kilómetros de distancia de la zona de generación. Ejemplos: el tsunami generado por un sismo en las costas de Chile el 22 de Mayo de 1960 que tardó 13 horas en llegar a Ensenada (México) y el tsunami generado en las costas de Japón el 16 de Mayo de 1968, que tardó 14 horas en llegar a Manzanillo (México).

3.4 Condiciones para la generación de Tsunamis

- a) Que el epicentro del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino a una profundidad focal menor a 60 Km
- b) Que ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas, es decir que la falla tenga movimiento vertical.
- c) Que el sismo libere suficiente energía en un cierto lapso de tiempo, y que ésta sea eficientemente transmitida.

El estado actual del conocimiento científico sobre la condición (c) es insuficiente, no habiendo aún ningún modelo teórico ni método operacional totalmente favorable que permita determinar si un sismo es tsunamigénico o no, ni de que "tamaño" (magnitud, intensidad, o altura de olas) será ese tsunami generado. Tradicionalmente se usó como indicador de generación de tsunami, que la Magnitud del sismo (Ms) fuera mayor que 7.5, sin embargo este no es un indicador confiable para sismos muy grandes o de duración larga (mayor que 20 segundos). Por otra parte, han ocurrido sismos de Magnitud menor que 7.0, pero de larga duración, que han producido tsunamis grandes respecto de lo esperado (se denominan Sismo-Tsunami y un ejemplo es el tsunami destructivo ocurrido en la Fosa Mesoamericana frente a Nicaragua en Septiembre de 1992).

Hay consenso actualmente en que el Momento Sísmico (Mo), que es proporcional al área de ruptura y a la dislocación vertical de la falla, y que se determina de los registros de sismógrafos de banda ancha, es el parámetro que mejor estima la certeza de generación de tsunamis para Mo mayor que 10^{22} Newton-metros.

3.5 Características de los Tsunamis

Al hablar de los tsunamis debemos recordar que son ondas grandes, teniendo estas ondas como principales características o parámetros la Altura de la Ola (H), la Amplitud de la Ola (A), la Longitud de la Ola (L), el Periodo de la Ola (T), la Velocidad de Fase (Cw) y la Velocidad de Grupo de la Ola (Cg), la Velocidad de la Partícula (v), la Pendiente de la Ola (S), el Perfil de la Ola (n), etc. Sin embargo, podemos estudiar los tsunamis con los parámetros más importantes de las ondas, las cuales son: Velocidad de Propagación, Periodo, Longitud de Onda y Altura de Onda.

3.5.1 Velocidad de Propagación (v). La velocidad de propagación del tsunami en agua profunda viene expresada por la fórmula siguiente:

$$v = \sqrt{(g)(d)}$$

v = velocidad en m/s

g = 9,8 m/s²

d = profundidad de la masa de agua en metros

La fórmula anterior nos dice claramente que la velocidad es función de la altura d, que es la profundidad del océano o profundidad de la masa de agua.

Si asumimos como profundidad promedio del Océano Pacífico la mitad de la profundidad máxima, que es de 11,022 m, el tsunami tendría una velocidad de 837 Km/h, velocidad similar a la de un avión.

A medida que la onda se acerque a la costa, la velocidad va disminuyendo hasta hacerse mínima, según $v = \sqrt{(g)(d)}$. Pero la onda adquiere energía potencial, que se manifiesta luego en la altura de ola en la costa y que es la que provoca los daños.

3.5.2 Periodo (T). Se define como el intervalo de tiempo determinado por el paso de dos crestas sucesivas por un punto fijo. Se ha establecido, en forma teórica, que en la zona de origen del Tsunami se genera ondas que se propagan en varias direcciones con un amplio espectro de periodos.

El periodo se ve modificado durante la propagación de la onda, debido a los accidentes de fondo y causas oceanográficas. Al aproximarse la onda hacia la costa, el periodo se ve influenciado también por las condiciones batimétricas locales. Recordemos que el periodo depende si el tsunami es de origen lejano o cercano, siendo de 40 a 70 minutos para el primero y de 7 a 30 minutos para el segundo. TAKAHASHI propone para calcular el periodo:

$$\log T = 0,57 M_s - 2,85$$

T = periodo en minutos

M_s = magnitud del sismo en la escala de Richter

3.5.3 Longitud de Onda (L). Es la distancia que separa a dos crestas sucesivas. Se estima que la longitud de onda inicial es igual a la dimensión mayor (eje) del área dislocada del fondo oceánico. Inicialmente los valores de las longitudes de ondas son grandes, pudiendo ser desde unas decenas de kilómetros hasta unos 240 Km aproximadamente, lo que explicaría que su paso por altamar es difícilmente percibido por los navegantes. El valor de la longitud de onda puede obtenerse de la relación:

$$L = v T$$

L = longitud de onda en m

v = velocidad de propagación en m/s

T = periodo en segundos

Por ejemplo, un tsunami que en un instante tiene un periodo de 20 minutos y que viaja con una velocidad de 200 m/s, tendrá una longitud de onda de 240 Km.

3.5.4 Altura de Onda (H). Es la distancia entre la cresta y el valle de la respectiva longitud de onda. En alta mar este valor también pasa desapercibido porque llega a ser de apenas unos decímetros y la longitud de onda varias decenas de kilómetros (hasta 240 kilómetros), pero en el litoral pueden alcanzar grandes alturas que se conocen como Altura de Ola. Las mayores alturas de ola han excedido los 30 m al llegar a la costa, como el ocurrido en Sanriku Japón, en 1933.

3.6 Magnitud y Energía

Para poder clasificar los tsunamis de acuerdo a su magnitud y energía, se necesitarían registros instrumentales regulares de las ondas en las proximidades de la fuente, lo que no se ha logrado todavía. Por esto la clasificación se basa en sus manifestaciones cerca de la costa.

3.6.1 Magnitud. En la actualidad, muchos autores dan diferentes criterios de como medir la magnitud de un tsunami. Las escalas más conocidas son las de IMAMURA, esta se basa en la máxima altura de la ola y la destrucción que causa en costa; y la de IIDA, basada en la energía del tsunami y considera que cada vez que la energía se duplica corresponde a un incremento de 0,5 en la magnitud del tsunami.

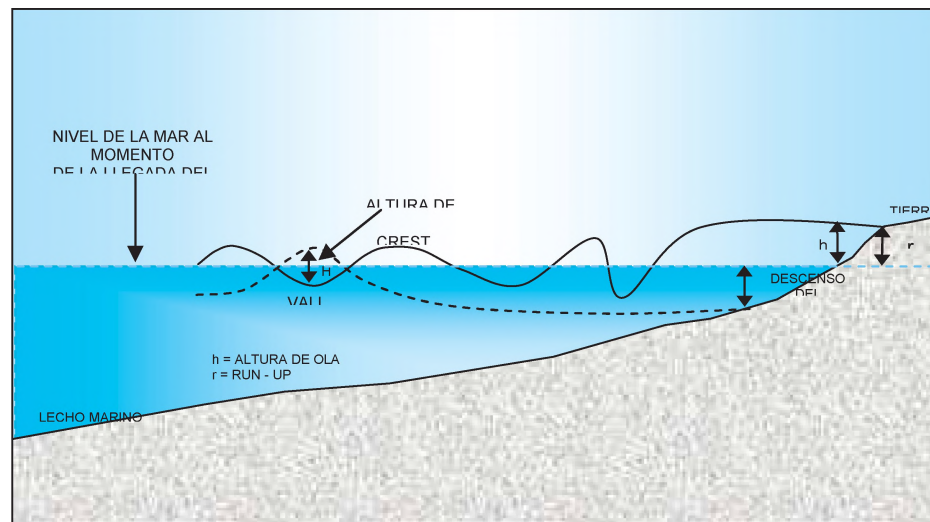


Figura 3.7 Parámetros característicos de los Tsunamis.

IMAMURA dedujo su escala observando los efectos de los tsunamis en costas japonesas, en Sanriku, donde debido a la desfavorable combinación de batimetría y topografía las olas son muy altas. Por lo cual, para la costa occidental de Sudamérica, la escala es aplicable con reserva, debiéndose tener en cuenta las condiciones locales.

Se ha determinado que la magnitud del tsunami y su poder destructivo, dependen de varios factores:

1. Magnitud del sismo y su profundidad focal.
2. El área de dislocación de la corteza terrestre, que depende de la velocidad y de la manera en que se deforma el fondo oceánico.
3. Propagación del tsunami, depende de la topografía submarina.
4. Influencia en la orientación del eje de la bahía con respecto al epicentro.
5. Configuración de la bahía, que modifica la altura del tsunami; y
6. Topografía de la zona inundada.

TABLA 3.1		
MAGNITUD DEL TSUNAMI SEGUN IMAMURA		
Magnitud del tsunami (m)	Altura máxima de la ola (m)	Descripción de los daños
0	1 a 2	No se producen
1	2 a 3	Se inundan las casas. Las de madera sufren daños. Botes arrasados y/o destruidos.
2	4 a 6	Edificaciones, embarcaciones y personas son arrastradas.
3	10 a 20*	Graves daños a lo largo de 400 km de costa.
4	Más de 30*	Graves daños a lo largo de más de 500 km de costa.

Nota del Autor: Estas alturas se alcanzarían si se tienen aguas profundas cerca de la costa, y los vértices de bahías en forma de U,V,W.

TABLA 3.2		
MAGNITUD DEL TSUNAMI SEGUN IIDA		
Grado del Tsunami	Energía (ergios)	Máxima Altura del Run-up (m)
5,0	$25,6 \times 10^{23}$	32
4,5	12,8	24 - 32
4,0	6,4	16 - 24
3,5	3,2	12 - 16
3,0	1,6	8 - 12
2,5	0,8	6 - 8
2,0	0,4	4 - 6
1,5	0,2	3 - 4
1,0	0,1	2 - 3
0,5	0,05	1,5 - 2
0,0	0,025	1 - 1,5
-0,5	0,0125	0,75 - 1
-1,0	0,006	0,50 - 0,75
-1,5	0,003	0,30 - 0,50
-2,0	0,0015	0,30

En esta escala se indica el valor de la máxima altura del run-up. El run-up es la máxima altura que la ola alcanza en tierra firme.

3.6.2 Energía. Para medir la energía de un tsunami existen también diversos criterios. WILSON, WEBB Y HENDRICKSON consideran que la energía E_T de un tsunami esta dada por la fórmula siguiente:

$$E_T = \frac{1}{8} \rho g H^2 L$$

- E_T = energía hidrodinámica del tsunami (ergios)
 ρ = densidad del agua de mar (gr/cm^3)
 g = gravedad (m/s^2)
 H = altura de onda (m)
 L = longitud de onda (m)

IIDA considera que un 10% de la energía sísmica de los terremotos tsunamigénicos es transformada en energía hidrodinámica E_T ; Y según GUTENBERG Y RICHTER la energía sísmica se puede obtener a partir de la siguiente fórmula:

$$\log E = 1,5 M_s + 11,8$$

E = energía de un sismo (ergios)
 M_s = magnitud del sismo en la escala de RICHTER

En 1981 KAJIURA propone una nueva relación para medir la energía total del tsunami. Esta relación toma en cuenta el problema de la saturación de las amplitudes de las ondas sísmicas que sufren la escala de RICHTER en el caso de grandes sismos ($M_s > 7,5$)

$$\log E_T = 2 M_\omega + \log F + 5,5$$

E_T = energía total del tsunami (ergios)
 M_ω = magnitud de KANAMORI
 F = constante de los parámetros de falla.
 F_{MAX} = 0,1

Durante la propagación la mayor energía tiende a concentrarse en el frente de onda, la cual es liberada con poder destructivo cuando llega a la costa. Cuando el tsunami se propaga por aguas profundas la pérdida por fricción con el fondo marino no es significativa; por esto el tsunami mantiene casi toda su energía hasta el momento en que llega a encontrarse con la plataforma continental, que le provoca una gran pérdida de su energía debido a efectos de fricción. La plataforma continental se extiende a lo largo de nuestra costa de modo variable, tal como se describe en el Capítulo 2 y se muestra en el Capítulo 6.

Para poder entender mejor el concepto de energía de un tsunami, debemos tener presente la ley de GREEN. El conocimiento de la ley de GREEN es importante también para entender el método de las Curvas o Diagramas de Refracción.

Según esta ley, se puede considerar que la energía de un tsunami se mantiene constante a través de un canal formado por dos líneas imaginarias ortogonales, a pesar que la fricción a lo largo del lecho marino y otras causas disipen la energía ondular. La variación del ancho de este canal imaginario, originado por la variación de la profundidad del agua, indicará ya sea una concentración o bien una dispersión de la energía del tsunami.

En la figura siguiente se muestra un esquema que representa el avance del tsunami en un instante dado. Si en ella llamamos B al ancho del canal, la energía que fluye por este es:

$$E_T = \frac{1}{8} B \rho g H^2 L$$

Suponiendo que el periodo se mantiene constante en ese instante y haciendo uso de la expresión básica de la velocidad de ondas tenemos que:

$$C = L/T = \sqrt{(g)(d)} \quad \text{entonces} \quad L = T \sqrt{(g)(d)}$$

y obtenemos:

$$E_T = \frac{1}{8} B \rho g H^2 T \sqrt{(g)(d)}$$

En el gráfico siguiente aplicamos el principio de la conservación de la energía entre los puntos 1 y 2.

Energía en la posición 1: $E_T = \frac{1}{8} B_1 \rho g H_1^2 T \sqrt{g}(d_1)$

Energía en la posición 2: $E_T = \frac{1}{8} B_2 \rho g H_2^2 T \sqrt{g}(d_2)$

Como la energía se mantiene constante, se tiene $E_1 = E_2$ reemplazando obtenemos la ley de GREEN

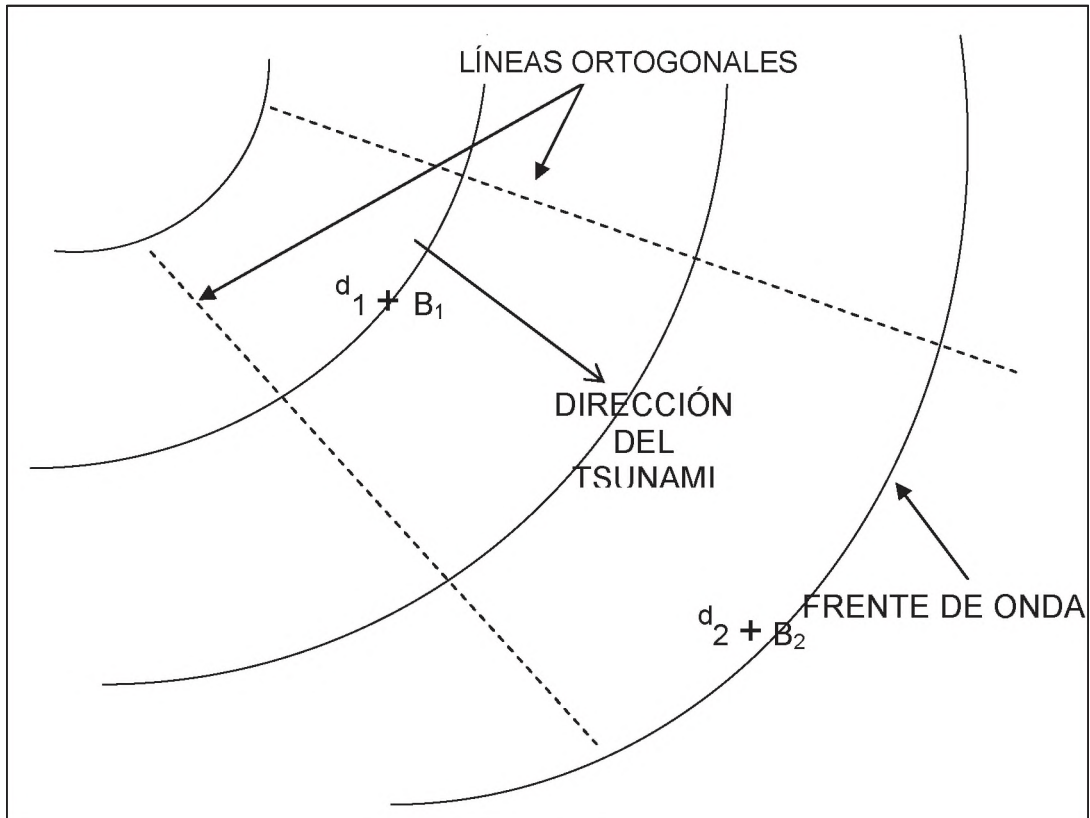


Fig. N° 3.8 Representación esquemática del avance del tsunami en un instante dado.

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- H = altura de onda
- d = profundidad del mar
- B = ancho del frente de onda

Siendo esta relación útil para poder determinar los coeficientes de concentración o dispersión de energía y que se aplica en los Curvas de Refracción.

3.7 Daños Producidos por Tsunamis.

3.7.1 Daños producidos por el Momento de Flujo. La masa de agua impacta contra las construcciones, muros, árboles, etc. , provoca que colapsen las estructuras no muy resistentes. El impacto es incrementado por los objetos que arrastra la onda. Cuando el agua retorna ocasiona mayores daños debido a que arrastra mayor cantidad de objetos. Se ha observado que los daños producidos por el momento del flujo son más graves en bahías en forma de V, que son azotados por tsunamis de periodos cortos.

3.7.2 Daños producidos por Inundación. Si la velocidad del flujo al momento de ingresar el tsunami no es muy grande, la inundación puede originar que las estructuras de madera que no estén fuertemente ancladas a la cimentación floten, y que las edificaciones únicamente tengan daños producidos por el agua al irrumpir en ellos.

3.7.3 Daños producidos por Socavamiento. Se ha observado cuando el tsunami se aproxima a la costa mueve el fango y arena del fondo del mar, socavando las cimentaciones de las estructuras portuarias y edificaciones costeras, lo mismo ocurre cuando se retira el mar a su lugar de origen. En este caso, las estructuras colapsan por falla en la cimentación. Como una manera de prevenir tales socavaciones, la cimentación debe ser protegida con rocas o bloques de concreto.



Foto N° 3.1 Daños producidos por Socavamiento en el Balneario de Camaná por el Tsunami.



Foto N° 3.2 Daños producidos por Socavamiento en el Balneario de Camaná por el Tsunami.

3.8 Fuerzas Generadas

De la observación de los daños se concluye de que el tsunami, al interactuar sobre las estructuras, genera los siguientes tipos de fuerzas:

- 3.8.1 Fuerzas de Oleaje.** Causadas por el borde de ataque de la ola chocando contra la estructura.



Foto N° 3.3 Daños producidos por Fuerzas de Oleaje en el Balneario de Camaná por el Tsunami

- 3.8.2 Fuerzas de Arrastre.** Causadas por la alta velocidad del tsunami. Estas fuerzas desplazarán edificios u otras estructuras en la dirección de la corriente y la alta velocidad de flujo causará una gran erosión en la cimentación. (Ver figuras)



Foto N°3.4 Daños producidos por Fuerzas de arrastre e impacto en el Balneario de Camaná por el Tsunami

- 3.8.3 Fuerzas de Impacto.** Causadas por edificaciones, botes u otros materiales arrastrados por la corriente. Estas fuerzas destruyen otras edificaciones, las cuales sumados a otras fuerzas moverán las estructuras con dirección del flujo.
- 3.8.4 Fuerzas Hidrostáticas.** Causadas cuando las estructuras se encuentran total o parcialmente sumergidas. Estas fuerzas son relativamente pequeñas comparadas con las fuerzas de arrastre.



Foto N° 3.5 Daños producidos por Fuerzas de Impacto



Foto N° 3.6 Daños producidos por Fuerzas Hidrostáticas

3.8.5 Fuerzas de Empuje. Cuando el agua se introduce bajo una estructura, las fuerzas de empuje tienden a elevar la estructura y arrancarla de su cimentación.



Foto N° 3.7 Daños producidos por Fuerzas de empuje

Capítulo 4 Geodinámica, Sismicidad y Ocurrencia de Tsunamis en el Perú

4.1 Introducción

Desde su origen, la Tierra se encuentra en constante evolución y mediante estudios geofísicos se ha comprobado que esta dividida en tres capas conocidas como Litosfera, Astenósfera y Mesosfera, y hablando sismológicamente en Corteza, Manto y Núcleo. La Corteza es la más dinámica, y está conformada por una docena de placas rígidas de forma esférica cuyo espesor varía entre 10 km (corteza oceánica) hasta 70 km (corteza continental). Estas placas, están en constante movimiento dando origen a procesos tectónicos como la formación de nueva corteza en los fondos oceánicos y la pérdida de la misma en zonas de subducción.

La colisión de la placa de Nazca con el borde Oeste de Sudamérica, ha dado origen a la evolución de la Cordillera de los Andes, a la ocurrencia de actividad volcánica y a la formación de fallas geológicas. En general, la placa de Nazca se desplaza a una velocidad de 8-10 cm/año en dirección NE (DeMets y Tavera 1990), produciendo un gran número de sismos de diferentes magnitudes a diferentes niveles de profundidad. En general, los sismos ocurren principalmente en las zonas de interacción de placas, siendo en mayor número en las zonas de subducción.

La evolución geodinámica del borde Oeste de Sudamérica, se ha realizado con la liberación de energía en forma de sismos, por lo cual la sismicidad se divide en histórica (1500 a 1959) e instrumental (a partir de 1960).

Considerando la relación existente entre la geodinámica al borde Oeste de Sudamérica y la ocurrencia de sismos en el Perú, en el presente capítulo se realiza una descripción de ambos procesos, además del análisis y evaluación de los sismos ocurridos en Perú entre 1960 y 2002, siendo esta información útil para identificar y delimitar las regiones con mayor potencial sísmico y por ende de riesgo tsunamigénico en el Perú.

4.2 Geodinámica

La interacción de la placa de Nazca y la Sudamericana, es el proceso tectónico que define la geodinámica de Perú (Figura 4.1), conocido como subducción, el cual produjo el levantamiento del margen continental en un periodo orogénico muy complejo hasta formar una cadena montañosa, de Norte a Sur, a lo largo del borde Oeste de Sudamérica, desde Venezuela hasta la Tierra del Fuego en Chile, denominada "*Cordillera de los Andes*", que comprende un conjunto de estructuras, tales como montañas, volcanes, anticlinales, sinclinales, mesetas y otras que se encuentran entre la línea de fosa Peruana Chilena y el llano Amazónico.

El periodo orogénico durante el cual se produjo la formación de la Cordillera Andina duro aproximadamente 10 millones de años; es decir, menor tiempo que el origen de las placas tectónicas y mayor para la formación de los grandes sistemas de fallas, tal como se muestra en la Tabla 4.1.



Figura 4.1 Esquema del proceso de convergencia de la placa de Nazca y la Sudamericana.

Tabla 4.1.- Duración estimada para la ocurrencia de los grandes fenómenos tectónicos que preceden a un sismo.

DURACION	FENOMENOS
100 Ma	Tectónica de placas
1 - 10 Ma	Formación de la Cadena de Montañas en Frontera de Placas
1000 a – 1 Ma	Formación de Grandes Fallas
100 – 1000 a	Periodo de Recurrencia de Grandes Sismos
1 – 100 a	Deformación Geodésica alrededor de fallas
1 a – 1 día	Posibilidad de Fenómenos Precursores
1 – 100 seg	Duración de la Ruptura Sísmica

Ma = Millones de años / a = Un año / seg. = Segundo

La formación de la Cordillera Andina se debe a una sucesión de periodos de subsidencias y levantamientos relacionados con periodos tectónicos de extensión y compresión los cuales produjeron el acortamiento y engrosamiento de la corteza. Según Megard (1978), Dalmayrac y Tavera (1981) y Sebrier y Tavera (1985), todo el proceso geodinámico que ha soportado el Perú se ha desarrollado en dos periodos claramente identificados por los diferentes acontecimientos geológicos que en ellos ocurrieron. (Figura 4.2)

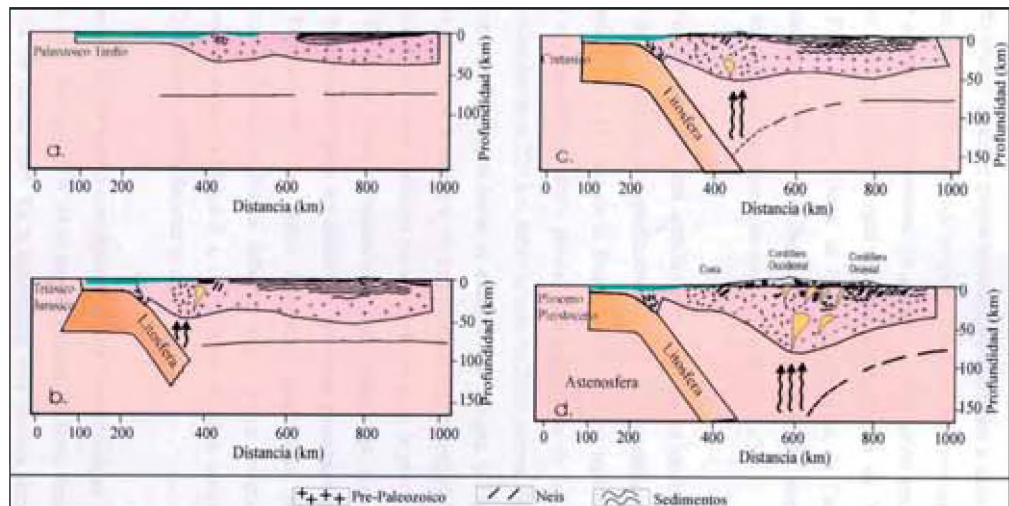


Figura 4.2 Proceso de evolución de la Cordillera según Megard (1978), Dalmayrac y Tavera (1981) y Sebrier y Tavera (1985). (a) Régimen extensional y (b,c,d) régimen compresional.

El primer periodo se desarrolla, en el Paleozoico y se caracteriza por producirse en un régimen de deformación extensional (Figura 4.2a)

El segundo periodo, de evolución de la Cordillera Andina se produjo durante el Triásico-Plioceno (Figura 4.2b, c, d) y se caracteriza por ser de régimen compresional con la consecuente formación y evolución de la Cordillera Andina hasta presentar los rasgos topográficos de hoy.

4.2.1 Principales Rasgos Tectónicos

La subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana es acompañada con la presencia de grandes rasgos tectónicos (Dorsal de Nazca, Fractura de Mendaña, Fosa Peruana-Chilena, Cordillera Andina, Cadena Volcánica y Sistemas de Fallas) localizados a ambos extremos del margen continental, originados por los continuos movimientos de compresión y extensión que ambas placas soportan.

La **Dorsal de Nazca**, es una cordillera oceánica que se localiza en el extremo NW de la región Sur de Perú frente al departamento de Ica en donde presenta un ancho de 220 km sobre la cota de 2000 m. y con una orientación NE-SW perpendicular a la fosa. Su ancho y altitud disminuye gradualmente hacia su extremo SW. Según la Figura 4.3, la cota de 2000 m., se localiza a 50 km de distancia de la línea de fosa; mientras que, las cotas menores ya subducieron bajo la placa continental (Sebrier y Tavera, 1985). La dorsal presenta una forma asimétrica, siendo esto determinante para los procesos geodinámicos que se producen en la región.

La **Fractura de Mendaña** es una discontinuidad de la corteza oceánica que se localiza en el extremo NW de la región Central de Perú, frente al departamento de Ancash (10° - 12° S). En la actualidad, esta fractura se orienta NE-SW es decir, perpendicular a la línea de la fosa con un ancho de 80 km aproximadamente sobre la cota de 1000 m. Según la Figura 4.3, esta estructura se localiza a una distancia de 180 km, de la línea de fosa.

La **Fosa Perú-Chile** delimita el inicio de la interacción entre la placa de Nazca y la Sudamericana. Según Heras (2002), frente a la costa de Perú la fosa peruano-chilena presenta profundidades máximas de hasta 6000 m. en la región Norte y Sur; mientras que, en la región Centro es del orden de 5000 m. La fosa peruano-chilena presenta una contorsión NNW-SSE en la región Norte y Centro, y NW-SE en la región Sur de Perú. El cambio en la orientación de la fosa se produce frente a la Dorsal de Nazca.



Figura 4.3 Principales rasgos tectónicos superficiales en Perú y en el borde Oeste de Sudamérica.

La **Cordillera Andina** se distribuye paralela al borde Oeste de Sudamérica sobre una extensión de 7000 km, y con alturas máximas de 6000 m.s.n.m. En Perú, de Norte a Sur, se presenta bien definida y con dos inflexiones, en las latitudes de 5°S y 14°S denominadas deflexión de Huancabamba y Abancay. Estas cambian la orientación de la cordillera en dirección NE-SW y E-W respectivamente. Transversalmente, la Cordillera Andina presenta diversas unidades morfoestructurales y anchos que oscilan entre 250 km hasta 500 km (Marocco, 1980; Tavera y Buforn, 1998). Estudios muestran que la Cordillera Andina tiene espesores 51 km en la región Central y de 75 km en la región Sur (James, 1978; Marocco, 1980; Dalmayrac y Tavera, 1981; Tavera, 1993 y Tavera y Buforn, 1998).

La **Cadena Volcánica** se ubica en la región Sur de Perú por debajo de la deflexión de Abancay hasta los 25°S en Chile. Esta cadena se distribuye sobre la Cordillera Occidental siguiendo una alineación y orientación NW-SE en Perú y N-S en el extremo Norte de Chile. Las características de los volcanes, muestran que la actividad tectónica es contemporánea a la orogenia extensional que sufre la Cordillera en el Cuaternario Medio y Reciente (Sebrier y Tavera, 1985). Los principales volcanes en la región Sur de Perú son: Coropuna (6425 msnm), Sabancaya (5795 msnm), Misti (5825 msnm), Ubinas (5672 msnm), Chachani (3745 msnm), Huaynaputina (4800 nsnm), Tutupaca (5806 msnm), Yucamane (5508 msnm). En las regiones Norte y Centro, la actividad volcánica disminuye ó desapareció hace 8 millones de años (Marocco, 1980).

El **Sistema de Fallas** es el resultado del continuo proceso de deformación de la corteza continental. Estos sistemas están presentes, de N-S, sobre la zona Subandina al pie del borde Oriental de la Cordillera Andina, afectando a los plegamientos del escudo Brasileño. El número de estos sistemas es menor sobre la Alta Cordillera y en el Altiplano. En general, el mayor número de fallas es de tipo inverso que evidencian el acortamiento de la corteza.

4.2.2 Zonificación de la Cordillera Andina

La cordillera Andina, geomorfológicamente, puede ser zonificada en siete unidades morfoestructurales que se distribuyen de Oeste a Este, paralelas a la línea de costa. A continuación se presenta una descripción de cada una de estas unidades. Figura 4.4

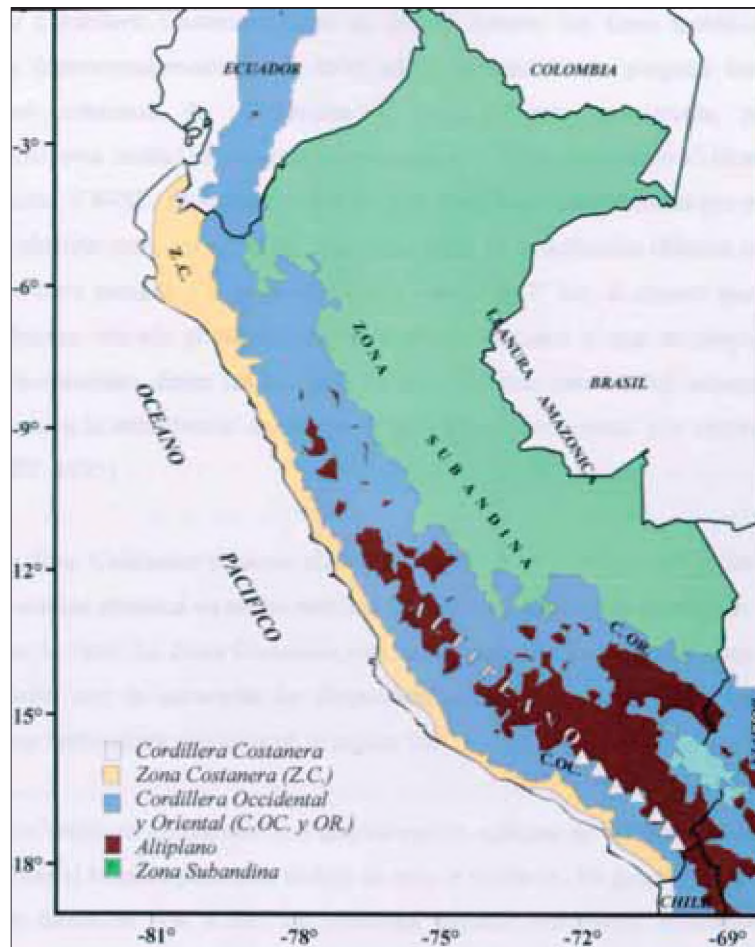


Figura 4.4 Principales unidades geomorfológicas en Perú (Dalmayrac y Tavera, 1981; Tavera y Buforn, 1998).

- **La Cordillera Costanera** tiene su origen durante las fases tectónicas del Pre Cámbrico habiendo sido plegada alcanzando elevaciones promedio de 1200 m.s.n.m y posteriormente erosionada en parte. Actualmente, esta unidad está segmentada y próxima al litoral con una dirección NW-SE. El segmento Sur, está formada por el macizo de Arequipa ubicado entre los 14° y 18° Sur como parte de la deflexión ubicada en el extremo SE del país y el segmento Norte entre 2° y 7° Sur, el mismo que forma parte de la deflexión ubicada al NW del país y que se proyecta sobre el territorio ecuatoriano. Entre las latitudes de 6° a 14° Sur, esta unidad desaparece debido posiblemente a la subsidencia de una parte del margen continental por efectos tectónicos (INGEMMET, 1995).

- **La Zona Costanera** presenta elevaciones entre 50 y 1500 metros sobre el nivel del mar. Esta unidad presenta un ancho máximo de 100 km en la región Norte y de 40 km en la región Sur de Perú. La Zona Costanera está constituida por materiales volcánicos y rocas sedimentarias con la presencia de plegamientos suaves en la región Norte-Centro y basamentos fuertemente plegados en la región Sur.
- **La Cordillera Occidental** con una elevación máxima de 5000 m.s.n.m, constituye el batolito plutónico andino de mayor volumen. En general, esta cordillera se orienta en dirección NW a SE; sin embargo, algunas estructuras regionales tienen una orientación hacia el Oeste cerca de la deflexión de Abancay (entre 13° y 14° Sur) y en el extremo NE de la deflexión de Huancabamba (~5.0° Sur). Esta unidad está compuesta por rocas volcánicas y plutónicas deformadas, además de la presencia de fuertes plegamientos, fallas normales, inversas y grandes sobrecojimientos. En la región Sur, esta unidad se caracteriza por presentar una alineación de conos volcánicos sobre una longitud de aproximadamente 300 km en dirección NW-SE.
- **El Altiplano** presenta elevaciones promedio de 3000 m.s.n.m. y anchos que varían entre 10 a 50 km en la región Central y de 140 a 200 km en la región Sur. Esta unidad se extiende desde la latitud de 9° Sur (Ancash) hasta cubrir todo el Altiplano peruano-boliviano siguiendo una orientación NW a SE. El Altiplano, está formado por una serie de cuencas intra-montañosas y altas mesetas que se prolongan hacia el altiplano boliviano. En la región Sur, se identifica la cuenca del lago Titicaca y las depresiones intra-montañosas a lo largo de los valles longitudinales interandinos.
- **La Cordillera Oriental** en promedio presenta elevaciones de 3700 a 4000 m.s.n.m. y anchos que varían entre 70 a 100 km aproximadamente. En general, esta cordillera se extiende de Norte a Sur siguiendo una orientación NW-SE; y soporta un fuerte arqueamiento en dirección E-W a la altura de la deflexión de Abancay. En la región Norte, la Cordillera Oriental aparentemente desaparece debido a la deflexión de Huancabamba. Esta cordillera corresponde principalmente a un extenso anticlinal formado esencialmente por depósitos intrusivos y cuyo levantamiento fue controlado por fallas regionales longitudinales distribuidas a lo largo de su límite con la zona Subandina.
- **La Zona Subandina** presenta un ancho variable debido a que en ella se amortiguan las estructuras andinas formando una gruesa serie continental de terrenos sedimentarios fuertemente plegados como producto de la subsidencia del escudo brasileño bajo la Cordillera Andina. Este proceso permite observar una topografía accidentada con la presencia de numerosos sistemas de fallas inversas, sobrecojimientos y plegamientos de estratos con trazas de falla y ejes de plegamiento orientados en dirección NW-SE.
- **La Llanura Amazónica** se extiende desde la zona Subandina sobre todo el escudo brasileño y desde el punto de vista geomorfológico, esta unidad representa una amplia zona llana formada por una importante secuencia de sedimentos.

Geodinámicamente, las unidades descritas anteriormente son el resultado de una tectónica compresional que se concentra en ambos lados de la Cordillera Andina y una extensional en la parte elevada de la misma. Esta tectónica activa considera al territorio peruano como una de las regiones más activas en el mundo con la consecuente ocurrencia frecuente de sismos, erupciones volcánicas y la formación de fallas geológicas (Tavera y Buforn, 1998 y Bernal, 2002).

4.3 Análisis y Evaluación de la Actividad Sísmica

El Perú es uno de los países de mayor potencial sísmico debido a que forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico. Dentro de este contexto, la actividad sísmica esta asociada al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana y tiene su origen, en la fricción de ambas placas produciendo los sismos de mayor magnitud con relativa frecuencia y en la deformación interna de ambas placas, siendo los sismos más destructores los que se producen a niveles superficiales. Para analizar las características de los sismos ocurridos en Perú, es necesario considerar la existencia de una base de datos que corresponde al periodo de sismicidad histórica (1500-1959) y otro al periodo instrumental que data de los sismos ocurridos desde el año 1960 a la fecha.

4.3.1 Sismicidad Histórica

La información, sobre la sismicidad histórica de Perú data del tiempo de la conquista y colonización del país y se encuentra en diferentes obras inéditas, manuscritos, crónicas, narraciones, informes administrativos por parte de los clérigos y gobernantes de aquellos años. Parte de esta información ha sido recolectada y publicada por Polo (1904), Barriga (1939), Silgado (1978) y Dorbath y Tavera (1990). En general, estos autores indican que el sismo más antiguo data del año 1513. Es importante considerar que la calidad de estos datos dependerá de la distribución y densidad de la población en las regiones afectadas por estos movimientos sísmicos; por lo tanto, existe la posibilidad de que hayan ocurrido sismos importantes en áreas no pobladas o próximas a localidades con las cuales era difícil establecer comunicación.

En la Figura 4.5 se muestra la localización epicentral de los sismos históricos ocurridos entre 1513 y 1959 y entre los más importantes ocurridos en la región Norte se menciona a sismos de 1619 y 1953 (VIII MM), que produjeron muerte y destrucción en Trujillo y Tumbes. En la región Central sobresalen los sismos ocurridos en 1586 (IX MM), primer gran sismo para el cual se tiene documentación histórica; 1687 (VIII MM) y 1746 (X MM), los mismos que destruyeron casi completamente a la ciudad de Lima. El sismo de 1746 generó un tsunami con olas de 15 a 20 m. de altura que inundó totalmente al puerto del Callao. En la región Sur, ocurrieron sismos muy importantes en 1604 (IX MM), 1784 (X MM) y 1868 (X MM) que destruyeron principalmente a las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna, Puno y Norte de Chile. El terremoto de 1868 habría producido una longitud de ruptura del orden de 500 Km y un tsunami con olas de 12 a 16 m. de altura. En el interior del continente, ocurrieron sismos importantes en 1650 (VII MM) 1946 (IX MM) y 1947 (VIII MM) que produjeron muerte y destrucción en las ciudades de Cuzco, Huaraz y Satipo respectivamente. Para este período de tiempo (1500-1959), no existe información sobre sismos ocurridos en la zona Subandina de Perú.

4.3.2 Sismicidad Instrumental

Las características de la distribución espacial de la actividad sísmica instrumental ocurrida entre 1960 y 1995 ($m_b \geq 5.0$), pueden ser analizadas en la Figura 4.6

Según Tavera y Buforn (1998), los sismos con foco superficial (círculos) se producen en la zona oceánica y se distribuyen en dirección paralela a la línea de costa. En dicha zona se producen con relativa frecuencia sismos de magnitud elevada como el ocurrido en 1970 ($m_b=6.4$), el mismo que es considerado como uno de los más catastróficos en el mundo por haber producido la pérdida de 67,000 personas, 250,000 desaparecidos y 180,000 heridos. La sismicidad esta directamente asociada a la fricción de placas con el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana.

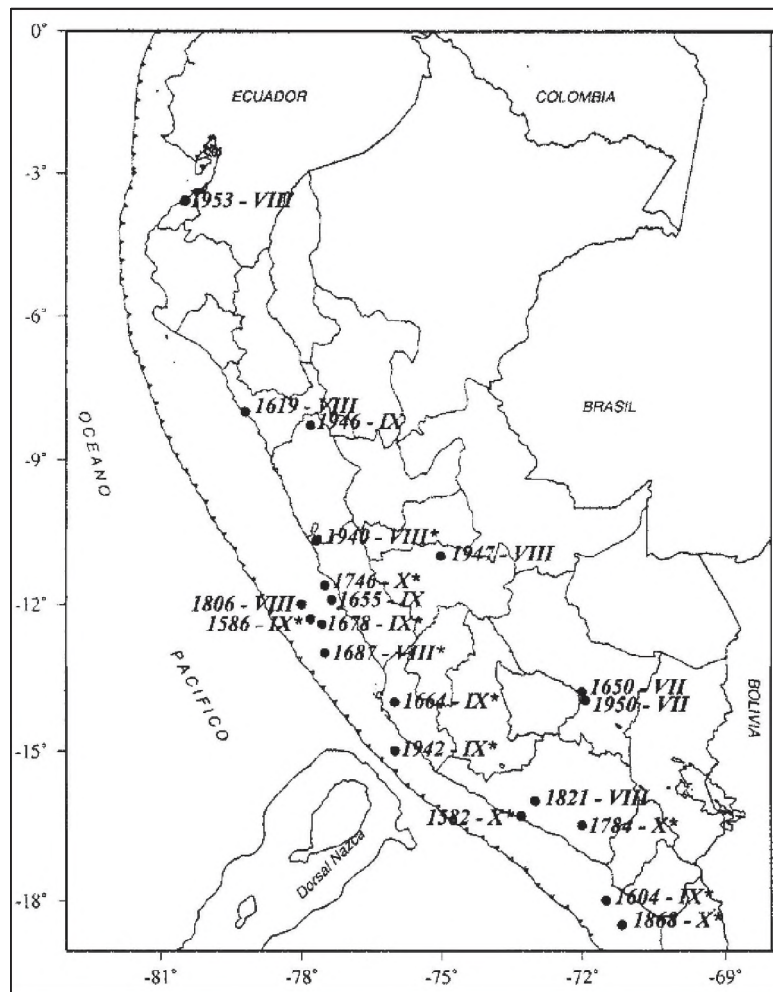


Figura 4.5 Localización epicentral de sismos históricos entre 1513 y 1959, con intensidades mayores a VII en la escala de Mercalli Modificada (Silgado, 1978, IGP, 2000). Gran parte de estos sismos fueron acompañados por tsunamis los cuales están señalados por (*).

Un segundo grupo de sismicidad con foco superficial se localiza en el interior del continente y debe su origen al proceso de subsidencia del escudo brasileño bajo la Cordillera Andina y a la deformación cortical que se produce en la Alta Cordillera, siendo estos sismos menores en magnitud y frecuencia. El sismo de mayor magnitud ocurrido en el continente y para el cual se cuenta con información, es el de 1991 ($m_b = 6.4$), el mismo que produjo innumerables pérdidas humanas y económicas en las localidades de Moyobamba, Soritor y Rioja. En general, la sismicidad sobre el territorio peruano muestra las zonas de mayor deformación superficial.

Asimismo, los sismos con foco intermedio (cuadrados) se distribuyen en superficie de manera irregular; sin embargo, es posible identificar tres grupos. El primero se distribuye paralelo a la línea de costa por debajo de los 9° S y se caracteriza por la frecuente ocurrencia de sismos de magnitud elevada, como los ocurridos en 1983 (6.1°) y 1993 (6.3°) los mismos que presentan magnitudes m_b que varían entre 6.1° y 6.5° . El segundo grupo se localiza en la región Norte y Centro, con sismos que se distribuyen a lo largo de la Cordillera Oriental y la Zona Subandina siguiendo alineamientos N-S. El tercer grupo más importante, se distribuye sobre toda la región Sur presentando un mayor índice de sismicidad respecto a las zonas anteriores.

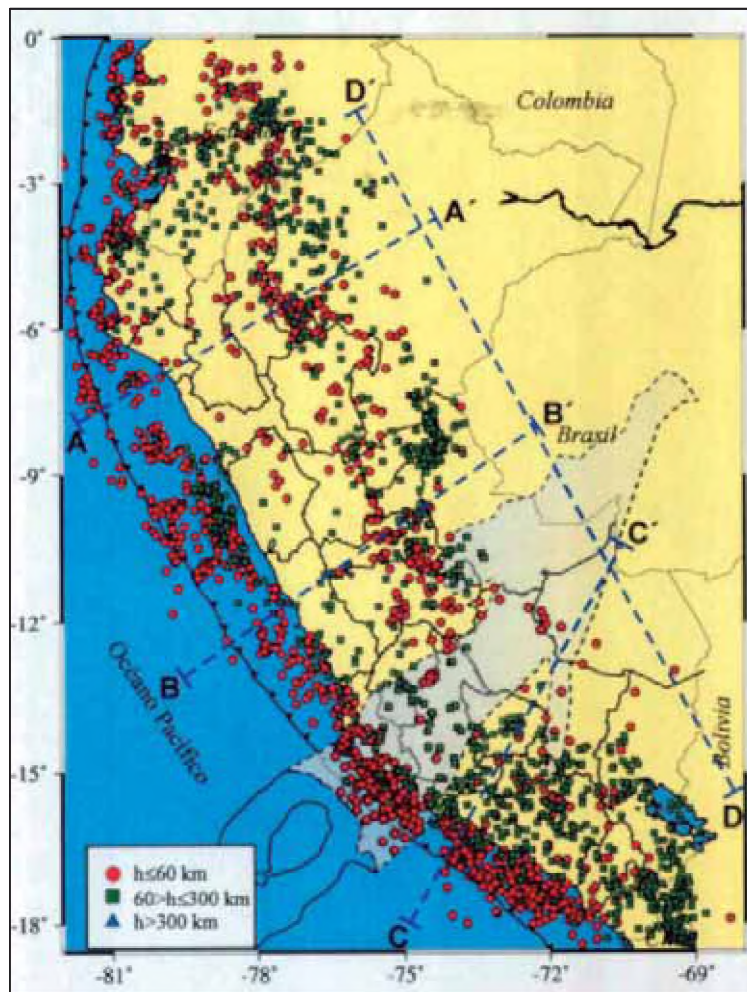


Figura 4.6 Mapa de la sismicidad en Perú para el período 1960–1995, $m_b \geq 5$ (NEIC e IGP) distribución de los sismos con foco superficial ($h \leq 60$ km) indicado por los círculos, sismos de foco intermedio ($60 < h \leq 300$) indicados con cuadrados y sismos de foco profundo ($300 < h$) indicados con triángulos.

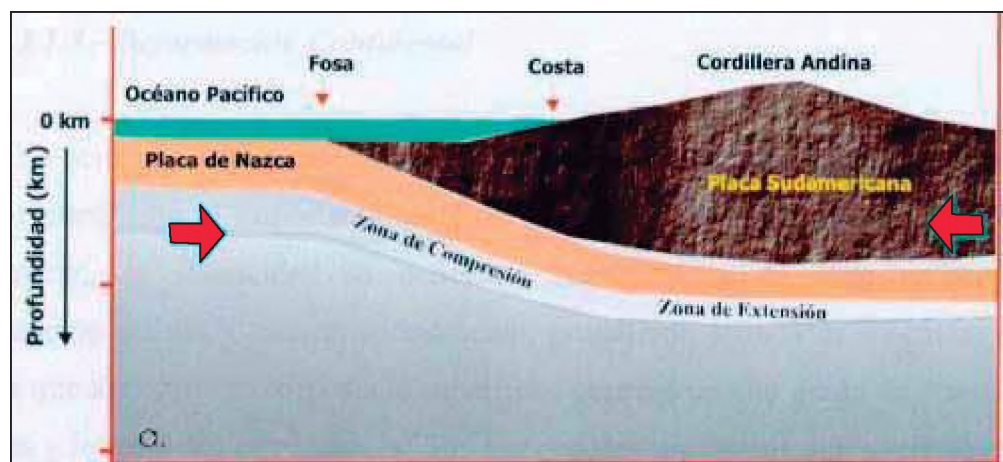
Finalmente, los sismos con foco profundo se localizan en la región central cerca del borde Perú-Brasil y en la región Sur en el borde Perú-Bolivia. Esta actividad sísmica es mayor en la primera región (6° - 11° S) y, sigue un aparente alineamiento N-S; mientras que, la segunda es menos numerosa y más dispersa.

La distribución espacial de los sismos con origen en la fricción de placas tectónica interna de la placa de Nazca, ha permitido a muchos autores (Tavera y Buforn 2000; Bernal 2002) en estudiar un esquema 3D para representar la geometría de la placa de Nazca. Según estos autores la placa de Nazca subduce debajo del continente de dos modos diferentes en la región Norte y centro la placa subduce con un ángulo de 25° hasta una profundidad de 20 Km a partir de la cual se hace horizontal hasta distancias de 700 km desde la fosa. En la región Sur la placa subduce con un ángulo de 30° continua hasta longitudes de 300 Km. Entre ambos modos de subducción la placa soporta una contorsión. Un esquema que explica lo descrito y considera la deformación superficial se presenta en la figura 4.7.

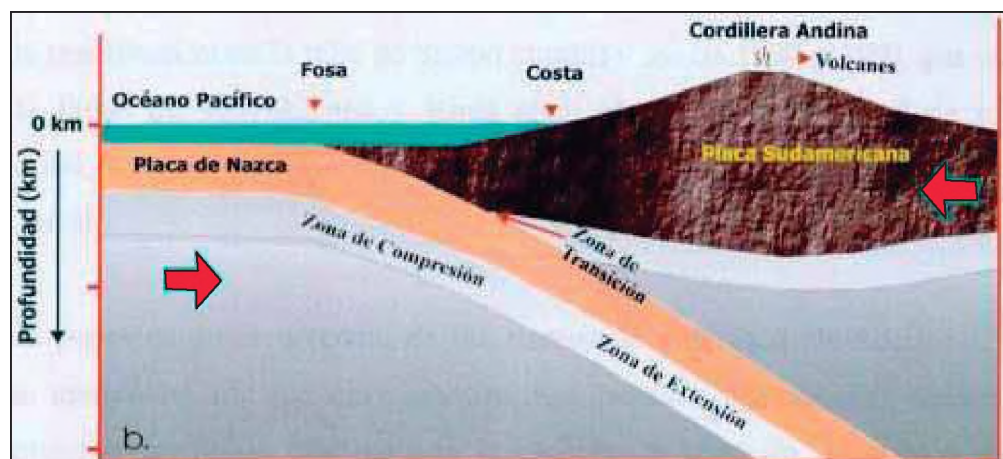
4.4 Ocurrencia de tsunamis en el Litoral Sur

Una de las causas principales para la generación de tsunamis en todo el borde de la placa del Pacífico, es la sismicidad producida por la convergencia de ésta y las

diferentes placas continentales que la circunda; por lo tanto, los países que se distribuyen alrededor del Océano Pacífico han sufrido en algún momento de su historia los efectos de un tsunami catastrófico de carácter local o transoceánico. De los 1,414 tsunamis generados por el proceso de convergencia de placas (desde el año 47 AC), 211 han tenido su origen en el borde Oeste de América Latina y de estos, 32 han sido producidos por terremotos ocurridos en el extremo Oeste de Perú. El tsunami más catastrófico del cual se tiene información fue generado por el terremoto ocurrido el 13 de Agosto de 1868 ($M_w=9.0$) en la región Sur de Perú y que ocasionó grandes daños desde la ciudad de Trujillo (región Norte de Perú) hasta la ciudad de Concepción al sur de Chile. Este tsunami viajó a través del océano afectando las costas de Japón, Nueva Zelanda, Australia, Hawaii y otras. Según la Siberian División Russian Academy of Sciences, el tsunami más antiguo que afectó las playas del departamento de Arequipa fue producido por el terremoto ocurrido el 22 de Enero de 1582. En la tabla 4.2 se puede observar una estadística de los grandes sismos y tsunamis que afectaron tanto a la costa norte y sur de nuestro país.



(a) Subducción "subhorizontal"



(b) Subducción "normal"

Figura 4.7 Esquema del modelo de subducción de la placa de Nazca bajo la continental. a) Región Norte y Centro, b) Región Sur. Las flechas indican la dirección de desplazamiento de las placas.

Recientemente y después de 133 años (desde 1868), la región Sur de Perú es nuevamente afectada por un terremoto de magnitud elevada ($M_w=8.4$) que produjo muerte y destrucción en los departamentos de Arequipa, Moquegua,

Tacna y toda la región Norte de Chile (Silgado, 1978). Este terremoto produjo intensidades regionales máximas de VII-VIII en la Escala de Mercalli Modificada. Luego de aproximadamente 15 minutos de ocurrido el terremoto de Arequipa, un tsunami de carácter local produce daños y muerte en la localidad de Camaná con olas que alcanzaron alturas entre 4 y 7 m en promedio. Por lo tanto es importante empezar a formular Planes de Evacuación que permitan mitigar los efectos ocasionados por tsunamis en las localidades asentadas en el litoral.

TABLA N° 4.2

SISMOS Y TSUNAMIS EN LA COSTA PERUANA	
Costa	Sismos y Tsunamis Periodo 1555-2002
Norte	54
Centro	63
Sur	101

Fuente SILGADO 1975, TAVERA H. 2001

4.5 Probabilidad de Ocurrencia

En todo el Océano Pacífico, los tsunamis de intensidad máxima (según Inamura) se repiten por término medio una vez cada diez años; los de intensidad mayores o iguales a 3, una vez cada tres años; los de intensidad mayores o iguales a 2, una vez cada año; los de intensidad mayores o iguales a 1, una vez cada 8 meses; y los de una intensidad mayores o iguales a cero, una vez cada cuatro meses.

En el Océano Pacífico se producen aproximadamente tres veces por mes tsunamis de una altura de 10 cm o más. Estas estimaciones promedios son correctas sólo para largos periodos de tiempo (100 años). Para periodos más cortos, la frecuencia de tsunamis (especialmente los grandes) se puede desviar de la simple ley de Poisson que describe la frecuencia de eventos raros.

En particular, durante los últimos 50 años en la región Sur-Oeste del pacífico ha habido una marcada tendencia a la agrupación de los grandes tsunamis (intensidades mayores que cero) en grupos de periodos de cinco o seis años de promedio.

SOLOVIEV (1972) ha estimado la probabilidad de generación de tsunamis por un sismo de magnitud M que ocurre en una zona que tiene un factor T de tsunamicidad, donde T es la razón de la frecuencia de tsunamis n a la frecuencia de terremotos N :

$$T = n / M$$

El factor T es menor que 1 en las zonas de las Aleutianas Alaska, Japón, etc.; es mayor que 1 para el mar del Japón, el archipiélago de las Filipinas, etc; y es cercano a 1 para las otras zonas. En otras palabras, cuanto más superficial es la fuente sísmica y cuanto más cercana está de la costa, mayor es la probabilidad de generación de tsunamis.

SILGADO efectuó un estudio sobre la recurrencia de tsunamis en la costa occidental de Sudamérica. Determinó una relación intensidad frecuencia para tsunamis originados cerca a la costa sudamericana (costa de Perú-Chile). Para obtener esto analizó los datos de sismos tsunamigénicos ocurridos en el periodo 1746-1974, del Catálogo de Tsunamis de SOLOVIEV. En la tabla 4.3 se muestra los periodos de retorno que obtuvo SILGADO de este estudio. Por ejemplo para un

sismo tsunamigénico de grado 8,0 se predice un periodo de retorno de casi 50 años. En la tabla 4.4 muestra la probabilidad de ocurrencia de un sismo tsunamigénico. Así por ejemplo, un sismo de magnitud 8,5 o más tiene una probabilidad de ocurrencia del 44 % en un periodo de 50 años. En cambio, un sismo de magnitud 8,0 tiene una probabilidad de ocurrencia de 62% para el mismo periodo de retorno.

TABLA N° 4.3

PERIODO DE RETORNO DE UN SISMO TSUNAMIGENICO	
MAGNITUD (Ritcher)	PERIODO DE RETORNO
7,0	28,0
7,5	32,5
7,75	37,5
8,0	47,3
8,2	64,7
8,4	125,0
8,5	250,0

Fuente SILGADO (1978)

TABLA N° 4.4

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN SISMO TSUNAMIGENICO		
MAGNITUD (Ritcher)	AÑOS	PROBABILIDAD %
8,0 ó mayores	50	62
	100	85
	150	94
8,5 ó mayores	50	44
	100	59
	150	73

Fuente SILGADO (1978)

Como se observa en los resultados anteriores, las costas de Perú y Chile tiene un alto riesgo de ocurrencia de sismos tsunamigénicos, la costa del Perú ha sufrido los estragos de estos fenómenos desde mucho tiempo atrás. Los terremotos tsunamigénicos tienden a ser en su mayoría de desplazamiento vertical, este mecanismo de falla es el que ocurre en la costa del Perú. De acuerdo a los resultados de STANDER (1975) la línea de falla se encontraría paralela a nuestra costa.

4.6 Importancia de las Informaciones Históricas de los Tsunamis

El registro histórico nos proporciona, algunas veces, el tiempo de llegada de la primera ola a la costa; la altura de ola; los límites de inundación y los tipos de edificaciones que fueron arrasadas y destruidas en algunas localidades. También nos proporciona la magnitud, epicentro y profundidad focal de los sismos tsunamigénicos ocurridos en la zona. Estos valores estimados ayudan mucho al momento de delimitar el plano de inundación y las rutas de evacuación. Cuanto más registros se tengan de los tsunamis que han afectado a la localidad, mayores

serán las posibilidades de adoptar buenas medidas de mitigación. Es posible estimar entonces: la zona potencialmente tsunamigénica, las características de los sismos tsunamigénicos que ocurran en ella, el tiempo de llegada de la primera ola y la máxima altura que alcanzó la ola. También nos proporcionaron que tipos de edificaciones fueron afectados y las que no sufrieron daño alguno.

A través de toda la información de que se dispone y que cubre un periodo de más de cuatrocientos años, los sismos han dejado en el Perú un saldo trágico aproximado de ochenta mil muertos, decenas de millares de heridos y una destrucción material evaluada en el orden de decenas de millones de nuevos soles. En el futuro es de esperar que los efectos de los sismos se reduzcan a un mínimo.

4.7 Regiones tsunamigénicas en el Perú

En el Perú existen 3 regiones, cada una con un potencial sísmico diferente. La primera región se extiende de los 3° a 9°, la segunda de 9° a 15° y la tercera de 15° a 18° de latitud Sur.

4.7.1 Región comprendida de los 3° a 9° Latitud Sur

Esta parte de la fosa Perú-Chile, es conocida como la cordillera Carnegie, es una zona de actividad sísmica, por la cual históricamente sólo se conoce tres eventos tsunamigénicos, uno de ellos ocurridos el 20 de Noviembre de 1960 generado por un sismo de magnitud 6.8, causó daños a lo largo de la costa del Perú.

4.7.2 Región comprendida de los 9° a 15° latitud Sur

Esta región tiene una historia de grandes terremotos, sin embargo la longitud de ruptura de la corteza en esta zona ha sido 150 kilómetros o más. Ocho terremotos han producido tsunamis en esta sección de la costa del Perú. En el área de los 12° de latitud Sur se produjo un terremoto en el año 1974, este movimiento generó un tsunami que fue registrado en Hawaii y California pero no generaron daños.

4.7.3 Región comprendida de los 15° a 18° latitud Sur

Un cambio en el modelo, sísmico ocurre cerca de los 15°S. La colisión de la cordillera Nazca con la placa continental produce los sismos tsunamigénicos. Un evento sísmico de magnitud de 8.5 ocurrió en el año 1705 en los 18°S. En el año 1868, un sismo de magnitud 8.5 en los 18.6°S y en el año 1877 un sismo de magnitud 8.3 en los 19.6°S.

Desde el gran evento sísmico ocurrido en esta área en el año 1877, un gran silencio sísmico existía en la región Sur del Perú y Norte de Chile, esta región es conocida por tener el potencial de generar grandes terremotos (magnitud 8.0 - 8.5) pudiendo en el futuro originar más tsunamis muy perjudiciales, como el de Camaná el 23 de Junio del 2001.

De los eventos mencionados, 10 originaron daños localmente, 5 fueron reportados en áreas fuera de la costa oriental de América del Sur. El tamaño podría ser indicado por la magnitud, intensidad y la medida de la altura del run-up. De los 26 eventos que se tiene información, solo 6 han sido reportados con una altura del run-up menor a 1 metro. (Ver tabla siguiente).

TABLA N° 4.5

GRANDES TERREMOTOS QUE HAN GENERADO TSUNAMIS
EN EL LITORAL PERUANO

FECHA	HORA	POSICIÓN		PROF. Km	MAG.	LUGAR
		Lat. S	Long. W			
09/07/1586	19:30	12.2°	73.3°		8.1	Costa Lima
12/05/1664	04:15	14.0°	76.0°		7.8	Costa Ica
20/10/1687	05:30	13.0°	77.5°		8.2	Costa Lima Sur
28/10/1746	22:30	11.6°	77.5°		8.4	Costa Lima Norte
07/12/1806	18:00	12.0°	78.0°		--	Costa Puerto Callao
13/08/1868	16:45	18.5°	71.2°		8.6	Costa de Tacna
28/07/1913	06:40	17.0°	73.0°	----	7.0	Chala
06/08/1913	22:14	17.0°	74.0°	----	7.7	Costa de Caravelí
11/03/1926	11:20	13.7°	76.6°	----	--	Lima
20/01/1932	02:30	12.0°	77.5°	100	6.8	Lima
21/06/1937	15:13	08.5°	80.0°	60	6.8	Trujillo
24/08/1942	22:50	15.0°	76.0°	----	8.4	Nazca
30/09/1946	00:59	14.0°	76.5°	----	7.0	Pisco
28/05/1948	05:36	13.1°	76.2°	55	6.8	Cañete
10/12/1950	02:50	14.5°	76.5°	----	7.0	Ica
04/03/1951	11:17	16.0°	74.5°	32	6.8	Caravelí
08/05/1951	20:01	07.5°	80.0°	----	--	Costa de Chiclayo
24/06/1951	01:44	08.5°	80.0°	----	--	Trujillo
03/08/1952	13:13	12.5°	78.0°	----	--	Lima
15/02/1953	09:33	12.0°	77.5°	----	--	Lima
12/12/1953	17:31	03.6°	80.5°	----	7.7	Tumbes
21/04/1954	20:23	13.0°	77.0°	100	--	Mala
09/02/1955	16:06	11.5°	77.5°	----	--	Cañete
19/08/1955	07:44	08.0°	79.5°	60	--	Trujillo
18/02/1956	01:37	10.0°	79.0°	----	--	Trujillo - Chimbote
18/02/1957	23:49	11.4°	77.5°	100	6.8	Arequipa
01/03/1958	09:05	13.3°	76.5°	53	--	Pisco
26/07/1958	17:37	16.3°	76.5°	110	7.5	-----
07/02/1959	09:31	04.0°	81.5°	----	7.3	Talara
20/11/1960	22:01	06.7°	80.8°	----	6.8	Costa de Lambayeque
03/07/1961	14:49	08.6°	79.2°	25	--	Trujillo
18/04/1962	19:14	09.9°	78.9°	39	6.8	Casma
30/08/1963	15:30	07.1°	81.0°	33	6.5	Trujillo
17/10/1966	21:41	10.7°	78.6°	38	7.5	Norte de Lima
05/02/1969	04:10	08.1°	80.1°	----	6.5	-----
31/05/1970	20:23	09.2°	78.8°	43	7.7	Chimbote - Huaraz
03/10/1974	14:21	12.3°	77.8°	15	7.5	Lima Sur

Fuente SILGADO (1978)

Capítulo 5 *Conceptos para analizar el Riesgo por Tsunamis*

5.1 La Relación Sismo - Tsunami

Según lo explicado en el Capítulo 3, los tsunamis pueden ser generados por sismos. Para que un sismo sea capaz de generar tsunami debe reunir ciertas condiciones, siendo las principales la magnitud y profundidad del hipocentro del sismo. Estas condiciones se explican a continuación.

5.1.1 Magnitud del Sismo. Esta dada por la expresión general que nos indica el límite más bajo de la magnitud M_s de un sismo tsunamigénico y se obtiene por la siguiente relación:

$$M_s = 6,3 + 0,005 D_f \quad (\text{IIDA})$$

siendo D_f la profundidad focal en kilómetros.

La magnitud del sismo es un indicador de la cantidad de energía que será transmitida de la litósfera a la masa de agua; esta energía transmitida será la suma, esencialmente, de energía potencial más energía cinética del tsunami. Cuanto mayor sea la energía transmitida, mayores serán las energías potencial y cinética y esto se pondrá de manifiesto cuando el tsunami se propague por el mar y llegue luego a las costas. La cantidad de energía transmitida la podemos estimar con las fórmulas dadas en el Capítulo 3.

IIDA concluye que para terremotos de focos superficial y magnitudes menores que 6,4 es improbable el desarrollo de tsunamis, mientras que magnitudes superiores a 7,1 pueden desarrollar tsunamis muy peligrosos.

5.1.2 Nivel de profundidad del Hipocentro del Sismo. Los sismos superficiales (< 60 Km) generan un desplazamiento vertical rápido del fondo marino, lo que a su vez provoca un levantamiento de la masa de agua por encima de ella, debido al efecto de pistón que se origina. Aquellos sismos con desplazamientos horizontales de la falla generalmente producen tsunamis menores.

5.2 Zona de generación del Tsunami

Es el área donde empieza la propagación y los frentes de ondas iniciales del tsunami generado por el sismo tectónico asumen, en general, la forma de una elipse alargada cuyo eje mayor se localiza sobre el eje de falla. Esta deducción matemática de este principio tiene origen en los estudios teóricos y experimentales llevados a cabo por investigadores. La determinación del área de generación es importante para graficar las Curvas de Refracción.

Para establecer el tamaño de la elipse se utilizarán las siguientes fórmulas:

a) Relación entre el eje mayor (a) con la magnitud M_s del sismo

$$\log a = 2/3 M_s - 2,93 \quad (\text{IIDA})$$

donde:

a = eje mayor de la elipse en kilómetros

M_s = magnitud del sismo en la escala de Richter

- b) Relación entre el eje mayor (a) y el eje menor (b)

$$b/a = 3,77 - 0,42 M_s \quad (\text{HOTARI})$$

donde:

a = eje mayor de la elipse en kilómetros

b = eje menor de la elipse en kilómetros

M_s = magnitud del sismo en la escala de Richter

- c) Relación entre la longitud de la falla y la magnitud del sismo

$$M_s = 6,27 + 0,63 \log L \quad (\text{WILSON, WEBB Y HENDRICKSON})$$

donde:

L = longitud de la falla (Km)

M_s = magnitud del sismo (Richter)

5.3 Dirección de Propagación del Tsunami

El tsunami al atravesar el océano modifica sus características. Por lo tanto, cuando el tsunami viaja en un mar de profundidad variable la dirección de propagación vira gradualmente hacia aguas tranquilas. Este es el mismo fenómeno que se observa en el caso de olas de viento y es llamado Refracción de Ondas. Por lo anterior, la altura del tsunami se ve modificado en cada una de sus etapas de propagación, ya sea en zonas de aguas profundas o en zonas cercanas a la costa.

A continuación se describen los factores que modifican la altura del tsunami en cada una de estas etapas.

5.3.1 Zonas de Aguas Profundas. Estudios teóricos muestran que al producirse un desplazamiento vertical instantáneo de una superficie respecto a la otra, se produce la amplitud inicial del tsunami (altura de onda) igual al desplazamiento vertical. Caso contrario, cuando se produce un desplazamiento vertical gradual, la amplitud inicial del tsunami es igual a la mitad del desplazamiento vertical.

5.3.2 Zonas Cercanas a la Costa. Distintos factores son los que se relacionan de diferentes modos para alterar la altura de ola. Estos factores son, entre otros, la batimetría, forma de las islas, formas de las bahías, puntas, penínsulas y demás accidentes costeros. Estos accidentes pueden causar resonancia de ondas, refracción, reflejar la energía de onda; provocan además que la ola desarrolle grandes alturas, con el consiguiente aumento de su poder destructivo. En el punto 5.5 mencionamos fórmulas para estimar la altura de ola.

Con respecto a la energía, se puede afirmar que la mayor parte tiende a concentrarse en el frente de onda, la cual es liberada con un poder destructivo tremendo cuando llega a la costa.

5.4 Cálculo del Tiempo de Llegada de la Primera Ola a la Costa

El tiempo de llegada de la primera ola es el lapso de tiempo medido desde que se genera el tsunami hasta su arribo a la costa. El tiempo de llegada depende de la topografía submarina (batimetría) por donde se propaga el tsunami y de la geomorfología costera. Debido a esto, para el mismo tsunami existen diferentes tiempos de llegada a los diferentes puntos de la costa. El tiempo de llegada dependerá también si se trata de tsunamis de origen local, cercano o lejano. En general, puede ser desde unos minutos hasta muchas horas. Para poder cuantificar el tiempo de llegada existen principalmente tres procedimientos: Métodos Gráficos, Referencias Mareográficas y Referencias Históricas.

5.4.1 Métodos Gráficos. Podemos estimar el tiempo de llegada en forma gráfica. Para ello debemos saber si estamos frente a un tsunami de origen lejano o de origen cercano.

- a) Determinación del Tiempo de Llegada para Tsunamis de Origen Lejano.- El tiempo de llegada se determina con cartas distribuidas por el Sistema Internacional de Alerta con sede en Honolulu, las cuales son elaboradas teniendo en cuenta la esfericidad de la tierra y nos proporcionan el tiempo que demora la primera onda del tsunami en llegar a una localidad costera en el Pacífico.
- b) Determinación del Tiempo de Llegada para Tsunamis de Origen Cercano: Curvas de Refracción.- Se utiliza el modelo de propagación que consiste en el trazado de Curvas de Refracción. Sobre la base del conocimiento de la forma original del frente de onda y las profundidades, pueden construirse las Curvas de Refracción. Este método es utilizado para estudios de áreas locales, no siendo aplicables a grandes áreas por la curvatura terrestre. El mínimo tiempo, es decir, la condición más crítica, se obtiene si se ubica el centro de la elipse justo frente al punto de interés de la costa. En estos diagramas también se observa el avance del tsunami y las posibles zonas de convergencia o divergencia de la energía del tsunami.

La metodología para el trazo de las Curvas de Refracción exige que la propagación del tsunami, desde el primitivo frente de onda, se inicie por canales de igual ancho y por lo tanto de igual energía. Conforme avanza el tsunami, el ancho de los canales varía de acuerdo a la profundidad del agua. Este comportamiento en términos hidráulicos se puede explicar de la siguiente manera: un flujo a través de un canal de ancho y profundidad constantes y donde no se consideren pérdidas de fricción con el fondo y las paredes, constituye un flujo invariable en el tiempo y en el espacio; pero, si se modifican estas condiciones, si el ancho del canal disminuye, el tirante de agua aumentará; si el ancho aumenta, el tirante disminuirá.

La metodología que se sigue en esta tesis para trazar las Curvas de Refracción es la siguiente:

1. Determinar la superficie elíptica, las longitudes de los ejes mayor y menor de la elipse pueden calcularse, según IIDA y HOTARI respectivamente, en función de la magnitud del sismo M_s , con las siguientes expresiones:

$$\begin{array}{ll} \log a = 2/3M_s - 2,93 & \text{(IIDA)} \\ b/a = 3,77 - 0,42 M_s & \text{(HOTARI)} \end{array}$$

Se supone que la onda parte de los bordes de la elipse, considerándose este como el primer frente de onda.

2. El valor de "a" estará limitado por el valor de la longitud máxima de la falla local, y el valor de b por el ancho de la interfaz de contacto de las placas.
3. De acuerdo con informaciones históricas de dirección dominante de falla y de posición relativa respecto a la costa en estudio, se ubica la elipse sobre un plano batimétrico, donde las coordenadas del centro de la elipse coincidirán con las coordenadas del epicentro del sismo generador.

4. El perímetro de la superficie de generación se dividirá en partes iguales. Esto porque se supone que en el instante inicial, la propagación del tsunami se inicia por canales de igual energía debido, según lo explicado anteriormente, a que no existen pérdidas por fricción.
5. Sobre cada punto de división se levantan líneas ortogonales y se marcará la distancia horizontal que recorre el tsunami en un tiempo dado. Este tiempo lo fijamos nosotros, pudiendo ser de cada 10', 5' ó 1'. Hemos visto que $v = \sqrt{(g)(d)}$, suponiendo la velocidad constante para cada tramo recorrido tenemos la distancia horizontal: $e = \sqrt{(g)(d)} t$.
6. Los nuevos puntos obtenidos se unen formando otra superficie o frente de onda
7. El proceso de trazo de nuevos frentes de ondas se continúa hasta llegar a la costa. El tiempo de llegada del primer frente de onda a la costa será el tiempo de llegada de la primera ola a la misma.

En el diagrama de refracción se observará la concentración o dispersión de la energía del tsunami. Un ensanchamiento del canal indicará una dispersión de energía, mientras que un angostamiento significará concentración de energía.

5.4.2 Referencias Mareográficas. Los mareógrafos son instrumentos que registran las variaciones del mar las 24 horas. En el mareograma que se obtiene quedan registrados la hora de ocurrencia del sismo, así como la hora en que el nivel del mar comienza a elevarse o descender de manera continúa. Por simple diferencia obtenemos el tiempo de llegada de la primera ola. En nuestro país existen mareógrafos mecánicos y digitales en: Talara, Salaverry, Chimbote, Callao, San Juan de Marcona, Pisco, Matarani e Ilo.

5.4.3 Referencias Históricas. Las referencias históricas son importantes en lugares donde no se cuente con mareógrafos u otros registros instrumentales que nos puedan indicar valores confiables del tiempo de llegada de la primera ola. Por ejemplo, el sismo del 28 de octubre de 1746 ocurrió a las 10:30 p.m., y la primera ola llegó al Callao a las 11:00 p.m., es decir que el tiempo fue de 30 minutos. Recordemos que el tiempo de llegada de la primera ola es el tiempo que se dispone para evacuar a la población de la zona inundable.

5.5 Altura de Ola y Run-up

Los conceptos de Altura de Ola y Run-up son importantes al momento de delimitar nuestra zona de inundación. Tales conceptos se explican a continuación.

5.5.1 Altura de Ola (h). La altura de ola se define como la distancia vertical entre la parte superior de la ola y el nivel medio del mar en el momento que el tsunami llega a la costa. Cuando el tsunami llega a la línea costera debemos hablar de altura de ola, pero cuando se propaga en altamar debemos hablar de altura de onda.

En Japón se ha podido observar que influye de manera importante en la altura de ola, en tsunamis de origen cercano, el ángulo que forma el eje de una bahía con respecto a la dirección del origen del tsunami. Los efectos son aun mayores en las bahías que se abren directamente hacia el origen del tsunami.

Se ha determinado que los siguientes factores influyen en la Altura de Ola:

1. Configuración de la bahía.
2. Pendiente de la bahía; y
3. Periodo natural de oscilación de la bahía.

Para calcular la Altura de Ola se utilizan generalmente tres procedimientos: Fórmulas Empíricas, Métodos Numéricos y Estudio de Registros Históricos.

5.5.1.1 Fórmulas Empíricas. Existen muchas fórmulas para calcular la Altura de Ola, siendo las siguientes las más conocidas.

a) Fórmula de YAMAGUCHI Esta relación toma en cuenta la distancia que hay desde la costa hasta la isóbata de 100 m.

$$h = 12,3 e^{0,067 D}$$

donde:

h = altura de ola en la línea costera (m)

D = distancia desde la costa hasta la isóbata de los 100 m (en kilómetros).

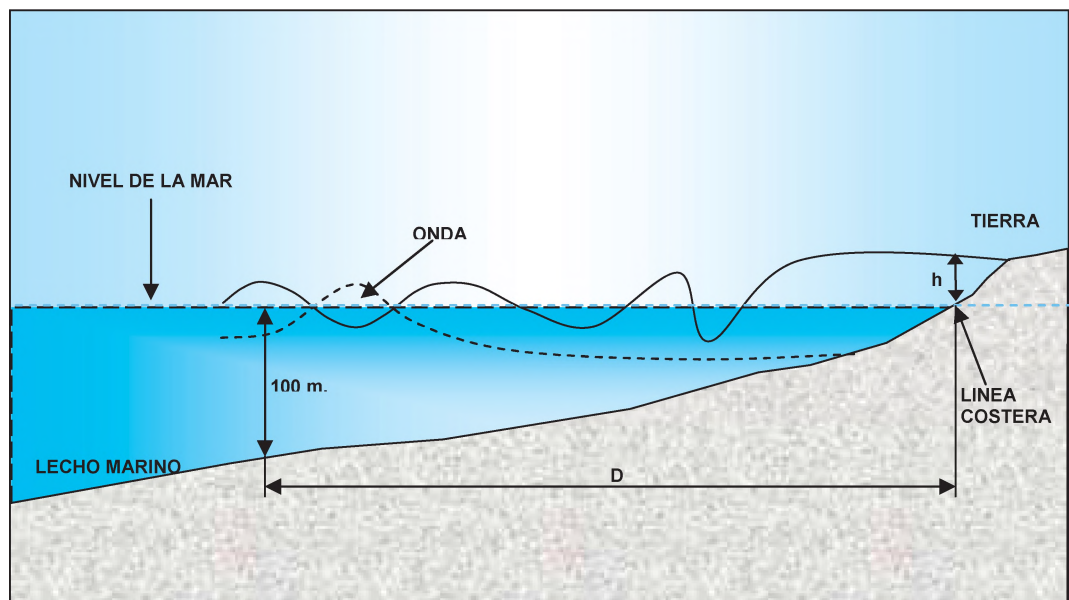


Figura 5.1 Representación de los parámetros de la fórmula de Yamaguchi

b) Fórmula de SILGADO. Esta fórmula toma en cuenta la magnitud del sismo generador del tsunami. Proporciona un estimado inicial de la altura de ola máxima, la que puede servir para establecer un orden de magnitud de las alturas de ola que se puedan presentar en la zona de estudio.

$$\log h = 0,79 M_s - 5,7$$

donde:

h = altura de ola (m)

M_s = magnitud del sismo (Richter)

c) Fórmula de KATSUYUKI ABE. Proporciona la altura de ola de un tsunami teniendo en cuenta el sismo generador y las características locales y regionales de la zona en estudio.

Esta relación es la mejor aproximación que se ha conseguido hasta el momento para el cálculo de altura de ola de un tsunami y es la más reciente (1983).

$$\log Hr = 0,5 Mw - 3,3 + C$$

donde :

2Hr = Máximo run-up (m).

Mw = Magnitud de KANAMORI

C = 0,0 para tsunamis en el Océano Pacífico

C = 0,2 para tsunamis en el mar Japonés

5.5.1.2 Métodos Numéricos. La mayoría de los modelos numéricos clásicos desarrollados, han sido ideados para reconstruir tsunamis históricos y consisten en resolver directamente las ecuaciones de continuidad y movimiento, integradas verticalmente para valores particulares de los parámetros involucrados en un evento.

El método de simulación numérica integra aspectos morfotectónicos y dinámica oceánica que pueden sintetizarse de la siguiente forma:

La condición inicial del tsunami (o deformación del terreno) se determina empleando el modelo de Mansinha y Smylie (1971) que supone una deformación instantánea de la superficie del océano igual a la deformación vertical del lecho marino. Este es un modelo de ruptura sísmica y requiere por lo tanto conocer los parámetros de rigidez, área de ruptura y dislocación que caracterizan la falla (Momento sísmico).

La propagación del tsunami se simula usando el método de Goto y Ogawa (1982), que consiste en la integración numérica de las ecuaciones de aguas someras utilizando el método de diferencias finitas. La inundación de las zonas costeras se determina empleando la condición de frontera móvil de Iwasaky y Mano (1979). La región de estudio o dominio de integración, se discretiza mediante un conjunto de mallas anidadas de diferente resolución espacial. Las mallas con mayor resolución se emplean para discretizar las regiones en donde se desea elaborar los mapas de inundación.

Los procedimientos de solución numérica, nos permiten obtener la determinación de las alturas alcanzadas por las olas del tsunami en la costa, a partir de la deformación del terreno, sus tiempos de arribo según resolución temporal, la obtención de mareogramas sintéticos en los puntos de la costa de mayor interés y la obtención de vectores de corriente en sentido latitudinal y longitudinal.

5.5.1.3 Registros Históricos. La existencia de datos históricos de tsunamis ocurridos en la región de estudio permite estimar alturas de olas máximas, mediante métodos estadísticos y probabilísticos. Los registros históricos pueden obtenerse de catálogos especializados, reportes de diarios y revistas o por relatos de la población afectada. Tales registros pueden ser revisados y complementados por los registros instrumentales.

5.5.2 Run-up. Es la distancia vertical desde el nivel de la marea en el instante en que llega la onda del tsunami, hasta el punto donde penetra el agua en tierra. También podemos definir al run-up como la máxima cota topográfica que el tsunami logra alcanzar en tierra en el momento de la inundación.

El comportamiento en tierra de los tsunamis es complejo, porque influyen sobre él varios factores que se conjugan de diversos modos. Sin embargo, la topografía es una información básica que permitirá delimitar las zonas inundables con cierto nivel de confianza.

Las observaciones efectuadas en Perú, Japón, Hawaii, Alaska y California, en áreas inundadas por tsunamis, determinaron que muchas veces ha coincidido la altura de ola en costa con la curva topográfica cuya cota es aproximadamente igual a la altura de ola.

De lo anterior concluimos que un estimado inicial de la zona inundable por el tsunami abarca hasta la cota del terreno cuyo valor es igual a la altura de la ola en la costa, pero debiendo corregirse por efecto de la pendiente del terreno y la posible convergencia o divergencia del frente de onda causada por la topografía.

La pendiente influye de manera importante en la penetración del tsunami en tierra. Cuando la franja del terreno es angosta y la pendiente es relativamente fuerte, la extensión de la zona inundada no es muy grande, pero el run-up es mayor que la altura del tsunami en la costa. En cambio, cuando el terreno es plano, la penetración puede ser de cientos de metros, pero la máxima cota que alcanza la inundación es menor que la altura de ola en la costa, lo que hace pensar que en este caso las pérdidas por fricción en tierra son bastante significativas.

El método que se propone puede aplicarse en lugares donde la topografía del terreno no canaliza la energía del tsunami, y por lo tanto no modifica esencialmente el área inundable. Este método toma en cuenta la influencia de la pendiente del terreno y sus accidentes, responsables de las pérdidas de energía por fricción:

1. Se ubica la altura de ola sobre la línea costera y se traza una recta horizontal a partir de la misma, la intersección de esta línea con el perfil del terreno nos da una aproximación de la zona inundable. En la figura 5.2 se puede observar la primera aproximación del run-up.
2. La pendiente del terreno corrige la primera aproximación:
 - a) Si el terreno tiene una pendiente menor que $1/50$, se trazará desde la altura de ola una recta que declina tierra adentro con pendiente $1/100$ si los efectos de fricción son fuertes, y $1/200$ si no son tan intensos. El punto de intersección con el terreno delimita la franja inundable. En la figura 5.3 se observa la corrección por pendientes menores de $1/50$.
 - b) Si el terreno tiene una pendiente mayor de $1/50$, la recta que parte, desde la altura de ola ascenderá con pendiente $1/200$. Debe anotarse que el run-up es función también de la concentración de la energía del tsunami cuando éste encuentra cauces que le facilitan la entrada, o de su dispersión cuando las condiciones no le son favorables. En la figura 5.4 se observa la corrección para pendientes mayores de $1/50$.

5.6 Influencia de las Mareas en la Altura de Ola

Las mareas son movimientos periódicos y alternativos de ascenso y descenso del mar (pleamar y bajamar) producidos por la atracción gravitacional que sobre la tierra ejercen el sol y la luna principalmente; también por la aceleración y rotación de éstos.

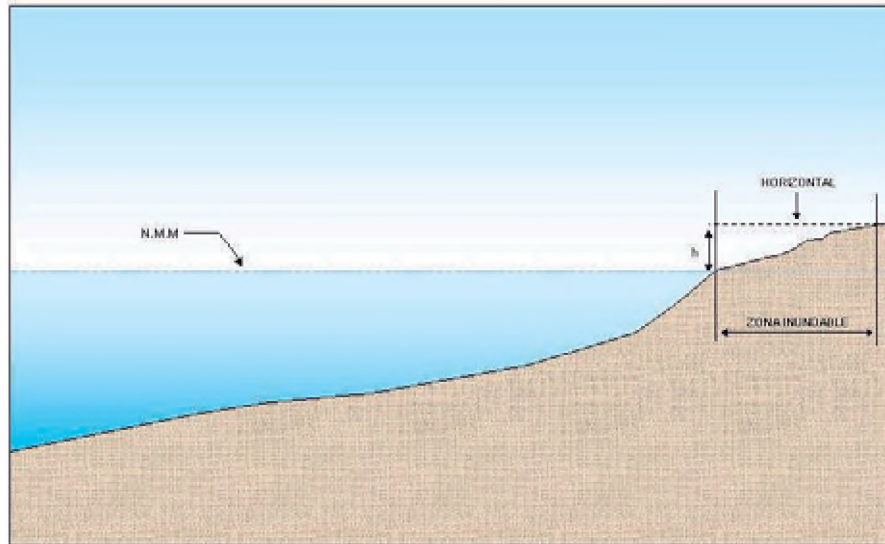


Figura 5.2 Determinación del run-up primera aproximación

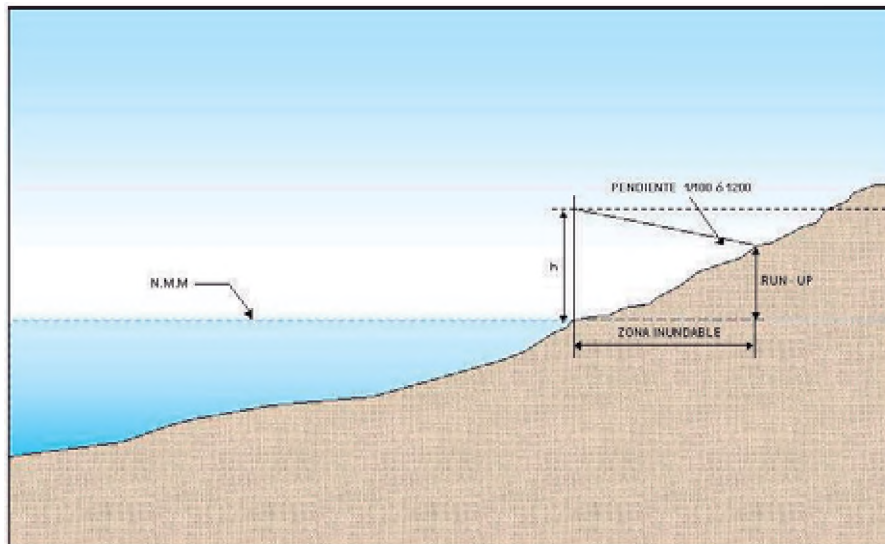


Figura 5.3 Determinación del run-up corrección por pendiente $< 1/50$

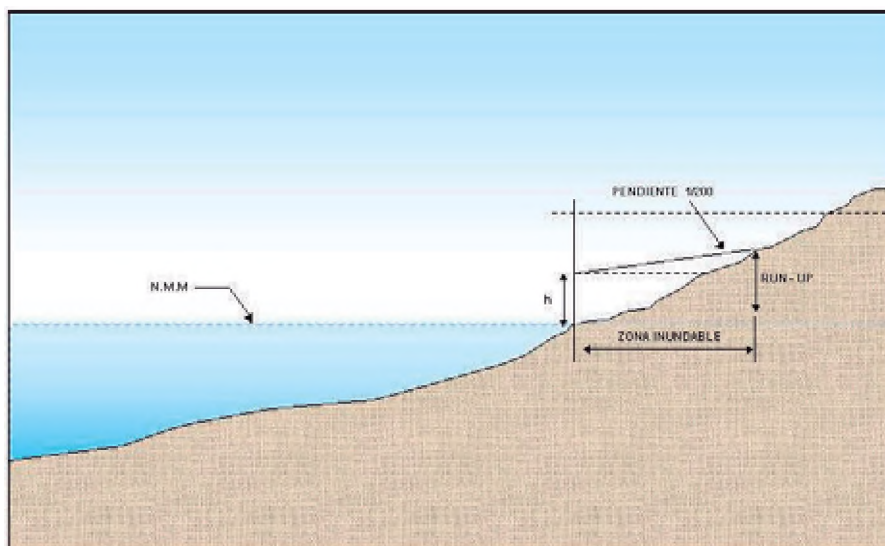


Figura 5.4 Determinación del run-up corrección por pendiente $> 1/50$

Las mareas de mayor altura (Sicigias) se producen en luna llena y luna nueva, cuando el sol y la luna entran en conjunción y se ubican en el mismo cuadrante, sumándose los efectos de atracción de ambos astros sobre la masa de agua. Las mareas pueden ser diurnas, si hay una pleamar por día, y semi-diurnas si son 2 pleamares cada 24 horas. En el litoral peruano ocurre el segundo caso; las mareas altas se inician en el norte, Talara, y se propaga hacia el Sur, llegando a Ilo en unas 4 horas.

El nivel del mar al momento del tsunami influye en la altura de ola, por lo tanto en la extensión de la zona de inundación y daños provocados. Ejemplo, el registro del mareógrafo de La Punta correspondiente al tsunami del 17 de octubre de 1966, muestra que al llegar éste a la costa y durante las 4 horas siguientes la marea era alta. Durante este tiempo arribaron la quinta y sexta ola que fueron las de mayor altura, las sexta saturó el límite de registro, superando los 4 m. En cambio, el tsunami del 03 de octubre de 1974 arribó a la costa cuando iniciaba una bajamar, y la ola de mayor altura sobre la marea (unos 3 m.) se produjo cuando el nivel del mar estaba casi un metro por debajo de su nivel medio así la altura máxima de la ola de este tsunami fue de sólo 2 m.s.n.m. Si la marea hubiera tenido signo contrario (+1), la ola hubiera sido de 4 m.s.n.m.

5.7 Medidas de Protección ante Tsunamis

Se pueden enumerar las siguientes acciones, algunas de las cuales, aunque no se han aplicado en nuestro país, ilustran acerca de las medidas que se emplean en otros países.

1. Plan de Evacuación de la Población. Un Plan de Evacuación deberá contemplar la delimitación del área inundable, las rutas más fáciles y directas para salir de la zona de peligro, la ubicación de las zonas de refugio o de seguridad y la organización del proceso de evacuación.
2. Funcionamiento de un Adecuado Sistema de Alarma. Su finalidad es advertir a la población costera de la existencia de un tsunami. El buen funcionamiento del sistema permite que el plan de evacuación sea puesto en marcha y tenga buenos resultados.
3. Planificación de las Zonas Costeras. Las futuras ciudades o aquellas actualmente en desarrollo, ubicadas en la costa, deberían ser planificadas teniendo en cuenta el peligro de una inundación por tsunamis. Unas medidas similares deberán ser asumidas al planificarse el desarrollo de sistemas de transporte, telecomunicaciones, agua, etc.
4. Protección de Edificaciones. De las observaciones de los daños causados por tsunamis se han extraído valiosas experiencias, las cuales se pueden aplicar para minimizar los daños estructurales.
Se recomienda que las casas de madera se fijen a cimentaciones continuas de concreto y se refuercen sus entramados con diagonales. Esto les proporciona un relativo refuerzo ante los tsunamis medianos. También se ha observado que las construcciones de concreto armado, que en su primer piso tienen una mínima área de muros expuestos al ataque frontal del tsunami, resisten adecuadamente al impacto del tsunami.
5. Prevención de la Erosión en los Cimientos de las Estructuras. Cuando un muro de defensa puede frenar o debilitar las fuerzas del flujo de un tsunami, está expuesto a sufrir daños por socavación de su base, especialmente cerca de los extremos, provocando su colapso. Esto se puede prevenir protegiendo la cimentación con rocas o bloques de concreto. También se debe proteger ambos lados de la cimentación del muro, ya que el agua que cae desde la parte superior, en el momento de retroceso del tsunami, tiene un efecto socavador en la cimentación.

6. Reubicación de la Población en Zonas Altas. Es una buena medida para proteger a la población del ataque de los tsunamis. Naturalmente, esta medida está fuertemente condicionada a las posibilidades económicas y por esta razón encuentra fuertes opositores.
7. Construcciones de Obras de Defensa contra Tsunamis. Estas obras pueden ser muros de defensa alrededor de las ciudades o rompeolas ubicadas en las bahías. Son obras costosas, cuya construcción se hace necesaria únicamente en poblados con muy alto riesgo de ser afectados por tsunamis y con una frecuencia de ocurrencia grande. Esta protección es relativa ya que siempre existe la posibilidad de ocurrencia de un tsunami con una altura de ola superior a la del muro proyectado. Sin embargo, estos muros o rompeolas siempre reducen apreciablemente el efecto destructivo de los tsunamis.
8. Otras Medidas. Es también recomendable que exista arboledas de protección ubicadas a lo largo de la costa ya que estas reducen la velocidad del flujo del tsunami y disminuyen la energía del mismo. Para que estas arboledas sean realmente efectivas, se recomienda que no deben tener espesores menores de 30 metros.

Capítulo 6 *Determinación de la causa del Tsunami del 23 de Junio del 2001*

6.1 Generalidades

El 23 de Junio del 2001 se produjo un sismo, que según el IGP, tuvo las siguientes características preliminares:

HORA ORIGEN	:	20h 33m GMT; 15h 33m Hora local
FECHA	:	23 de Junio del 2001
LATITUD SUR	:	- 16.20°
LONGITUD OESTE	:	- 73.75°
MAGNITUD	:	6.9 (Escala de Richter)
INTENSIDAD	:	VII – VIII (Escala Mercalli Modificada) Ver Fig.N°6.1
PROFUNDIDAD	:	29 km

Estos parámetros hipocentrales del terremoto y sus réplicas principales, fueron obtenidos por el Instituto Geofísico del Perú (IGP); utilizando los datos de las estaciones de la Red Sísmica Nacional distribuidas en la región Sur del Perú.

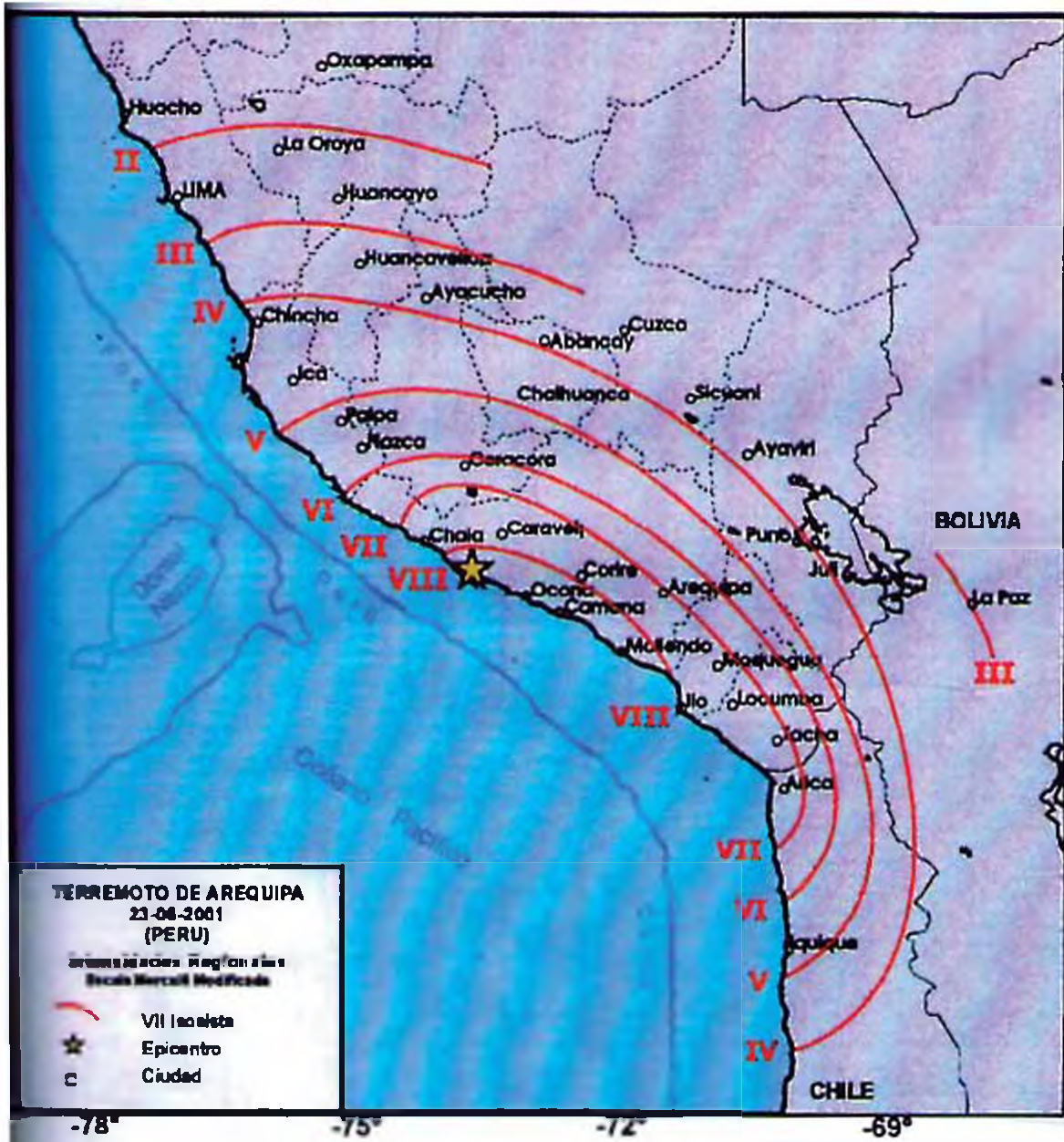
La información utilizada para evaluar las intensidades regionales, fue obtenida vía línea telefónica después de ocurrido el sismo. En general el terremoto fue sentido con intensidades de II en escala modificada (MM) al Norte del epicentro en el departamento de Lima y por el Sur en la ciudad de Antofagasta en Chile. Hacia el interior del continente, el terremoto produjo alarma en la ciudad de La Paz en Bolivia. Las intensidades máximas fueron de VII–VIII y estas corresponden a las localidades de Ocoña, Camaná y Mollendo, de VII en las ciudades de Arequipa, Moquegua y Tacna, siendo en estas últimas en donde se produjo el mayor rango de destrucción y muerte. Es importante mencionar que la mayor parte de las viviendas afectadas estuvieron construidas de adobe y quincha a excepción de la ciudad de Arequipa y del Balneario de Camaná que estuvieron construidas con material noble.

Además, agencias internacionales recalcularon y ubicaron epicentros del terremoto del 23 de Junio del 2001, los cuales son graficados en la lámina 6.1 y sus datos se muestran en la tabla siguiente:

TABLA N° 6.1

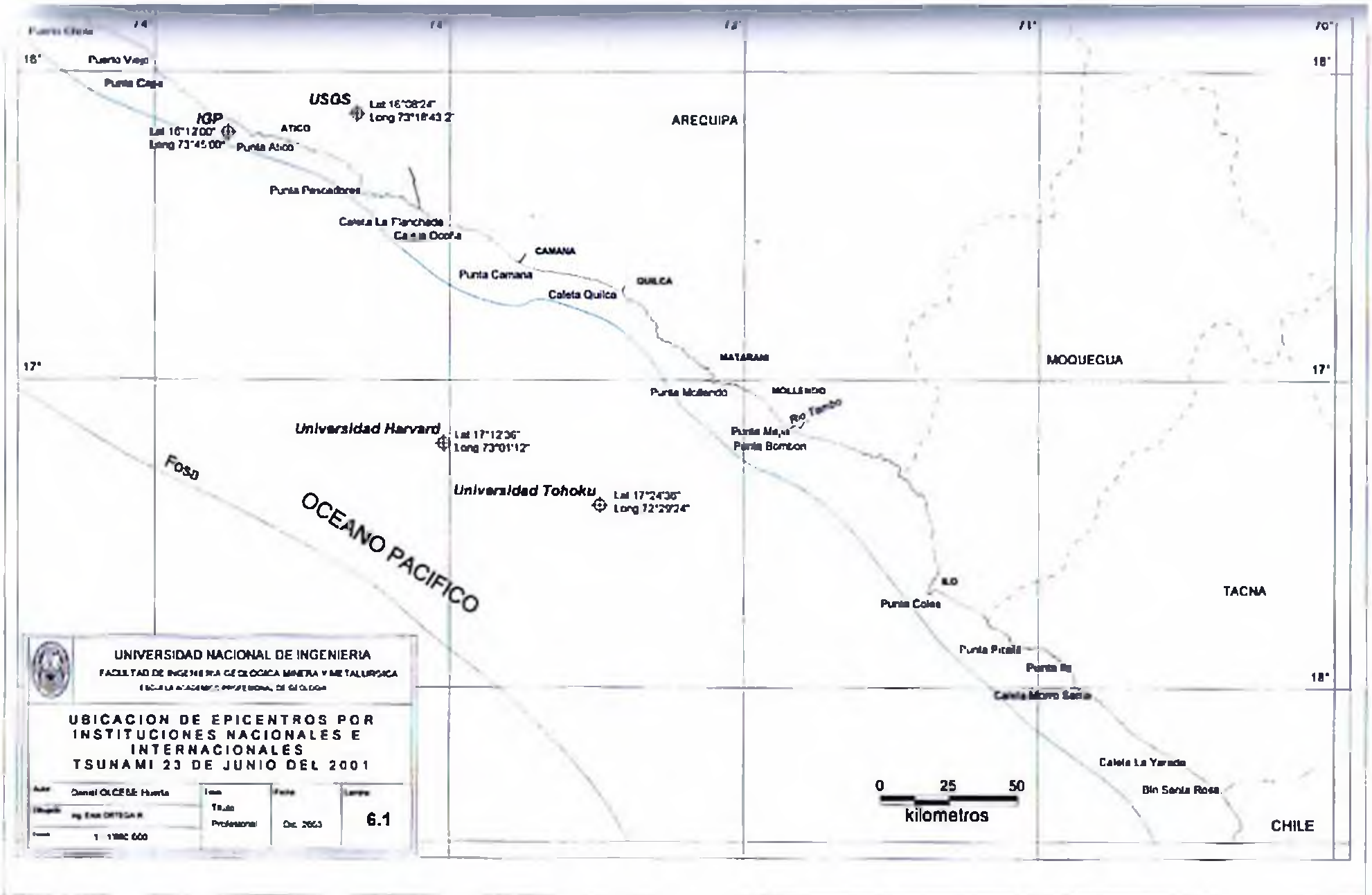
DATOS EPICENTRALES HALLADOS POR LAS DIFERENTES AGENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES

INSTITUCIÓN	EPICENTRO	
	LAT.°S	LONG.°W
IGP	-16.83	-73.92
USGS	-16.30	-75.70
U. HARVARD	-17.21	-73.02
U. TOHUKU	-17.41	-72.49



Instituto Geofísico del Perú

Figura N°6.1 Mapa de Intensidades Regionales del Terremoto de Arequipa del 23 de Junio del 2001.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE GEÓLOGOS

UBICACION DE EPICENTROS POR INSTITUCIONES NACIONALES E INTERNACIONALES TSUNAMI 23 DE JUNIO DEL 2001

Autor: Daniel OLCESE Huerta	Tipo: Tesis	Fecha: Dic. 2003	Valor: 6.1
Editor: Ing. Enzo ORTIZ R.	Profesional:		
Número: 1 1980 000			

Por las características del sismo, y conforme a la teoría, este fue un sismo tsunamigénico, debido a que el epicentro preliminar determinado por el IGP se halló muy cerca de la costa de Atico en Arequipa. El Sistema Internacional de Alerta contra Tsunamis, emitió nueve (09) comunicados en los que se mencionaba que se había activado la alarma contra tsunamis y la hora de llegada de la primera ola a diferentes países vecinos del Perú. Señalaba asimismo que la magnitud preliminar del sismo fue de $M_w=8.0$ Aproximadamente unos quince (15) minutos después hacia su arribo a la costa de la provincia de Camaná la primera de las tres olas registradas.

Debido a los antecedentes mencionados, el siguiente capítulo trata del estudio de la causa que dió origen al tsunami. Para lograr este objetivo, es fundamental determinar y ubicar la elipse de generación del tsunami que venimos estudiando, con lo que obtendríamos la ubicación más probable del epicentro del sismo generador, así como la magnitud del mismo.

6.2 Ubicación de la elipse de generación del Tsunami 23 de Junio del 2001

Según el Capítulo 5, la fuente de generación del tsunami adopta la forma de una elipse, donde el eje mayor coincide con el eje de falla. A partir de esta elipse podemos trazar los frentes de ondas del tsunami, obteniendo así el tiempo que demora la primera ola en llegar a la costa, siendo este un tiempo calculado. Cuando ocurre un tsunami, el tiempo que demora en llegar la primera ola a la costa es determinado de los mareogramas de cada puerto, siendo este un tiempo registrado. Sin embargo, es poco probable que ambos tiempos coincidan, debido a que el tiempo calculado depende de las características del sismo, y sucede que muchas veces los datos sísmicos contienen errores. Esto nos sugiere la idea de que si tratamos de hacer coincidir ambos tiempos lograríamos ubicar la elipse de generación a partir de la cual empezó la propagación del tsunami, obteniendo así la verdadera posición del epicentro del sismo.

Lo descrito anteriormente, es la forma como se llevará a cabo la ubicación de la elipse de generación. Sin embargo, el problema consiste en desarrollar un procedimiento para lograr tal fin. Después de analizar varias alternativas, surgieron dos posibilidades. La primera que consiste en tomar como base las características del sismo dadas por la Universidad de Harvard. De esta manera se puede hallar, usando la magnitud del sismo, el tamaño de la elipse. Con el tamaño de la elipse y las coordenadas del epicentro se fija la posición de la elipse y se empieza a trazar los frentes de ondas. El procedimiento consiste luego en mover la elipse hasta que el nuevo tiempo calculado coincida con el registrado en los mareogramas. Pero el problema se complica debido a que las fórmulas de IIDA y HOTARI, usadas para hallar el tamaño de la elipse, nos indican que cuando el sismo es mayor que 6,6 la elipse adopta una forma que tiende a ser alargada, y esta se irá alargando más a medida que la magnitud sea mayor. Caso contrario, cuando la magnitud del sismo es igual a 6,6 esta elipse se degenera en una circunferencia, y si la magnitud es menor que 6,6 se da el caso en que el eje mayor de la elipse se coloca en forma perpendicular a la línea de falla. El primero de los casos fue el que se presentó para hallar el tamaño de la elipse del tsunami en estudio.

Aun cuando hubiera sido posible aplicar el procedimiento anterior, los resultados obtenidos no hubieran sido del todo correctos, debido a que se partió de las características del sismo, las cuales muchas veces son erradas, determinándose entonces un tamaño y ubicación errados de la elipse.

Sin embargo, existe otro procedimiento, una segunda posibilidad, que nos permite hallar la posición y el tamaño de la elipse, y en consecuencia determinar el epicentro del sismo. En el siguiente punto se describe este procedimiento.

6.3 Procedimiento para determinar la elipse de generación del Tsunami 23 de Junio del 2001

Para determinar la elipse de generación seguiremos trabajando con las informaciones reales obtenidas del tsunami, las cuales son los tiempos de llegada de la primera ola a los puertos de Matarani, Callao. Estos se muestran en las figuras 6.2 y 6.3, debido a que fueron los mareógrafos que no se saturaron con el gran sismo.

De acuerdo con los mareogramas, los tiempos obtenidos fueron de 94 minutos para Callao (5:07 p.m.), y 11 minutos para Matarani (3:44 p.m.). Además contamos con un dato adicional para la localidad de Camaná de la llegada de la primera ola al balneario (12 minutos aproximadamente) se estimo según entrevista con encuesta utilizada para la investigación de tsunamis (Ver Anexo N°1) a pescadores y pobladores del lugar, debido a que en el Balneario de Camaná no hay mareógrafo. El problema de saturación que sufren los mareógrafos, debido a un súbito y brusco incremento del nivel de las aguas, nos lleva a pensar que el tiempo de arribo de la primera ola fue realmente un instante después de la hora señalada. Según informaciones del personal técnico de HIDRONAV, esta variación es a lo más de un minuto.

A su vez, el error máximo que se puede cometer en el método gráfico de las Curvas de Refracción es mínimo, por lo que también vamos a considerar un minuto adicional de error. En consecuencia el tiempo total empleado para el ajuste será de 95, y 12 minutos respectivamente, al dato de Camaná no se le hace ajuste debido a que es un dato de comunicación verbal. Para el método gráfico de las Curvas de Refracción usaremos planos batimétricos a escala 1:1'000,000, cambiando luego la escala a 1:100 000 cuando nos aproximemos a la costa.

El procedimiento consiste en los siguientes pasos:

- 1) La dirección de propagación del tsunami gira de aguas profundas hacia menos profundas, siguiendo una tendencia de colocarse paralela a la costa cuando se acerca a ella. Este criterio nos sugiere la idea de que tracemos frentes de ondas a partir de un eje auxiliar paralelo cercano a la costa, con el objetivo de simplificar el trabajo. Para nuestro estudio, este eje auxiliar quedó determinado después de analizar la batimetría y la estadística de sismos ocurridos en la zona. Su posición referido a un eje de coordenadas, así como el trazo de los frentes de ondas, se muestra en la Lámina 6.2.
- 2) La velocidad de los tsunamis en aguas profundas es mucho mayor que cerca a costa; en consecuencia, el espacio recorrido para un mismo tiempo será mayor en el primer caso. En la Lámina 6.2 observamos que cuando el frente de onda se acerca a costa, el espacio recorrido por unidad de tiempo se irá reduciendo. Si continuamos con el trazo de los frentes de onda en la escala, 1:1'000,000, se cometen errores ya sea aumentando o disminuyendo el espacio total recorrido y como consecuencia el tiempo de llegada de la ola a la costa, lo que a su vez obligaría a un aumento o disminución en el tamaño de la elipse. Por lo tanto cambiamos a una escala mayor cuando nos aproximemos a la costa. De esta forma reducimos los errores, procurando la mayor precisión posible. En las Láminas 6.3 y 6.4 se observa el cambio de escala a 1:100000 para el balneario de Camaná y Matarani.
- 3) La línea de falla es paralela a la fosa, con lo cual orientamos la elipse de tal forma que su eje mayor sea paralelo a la fosa. Pero, para determinar la ubicación de la elipse, deberemos hallar el tamaño de la misma. Esto se consigue trazando los frentes de onda a partir del eje auxiliar anterior hacia aguas profundas, buscando completar los minutos restantes.

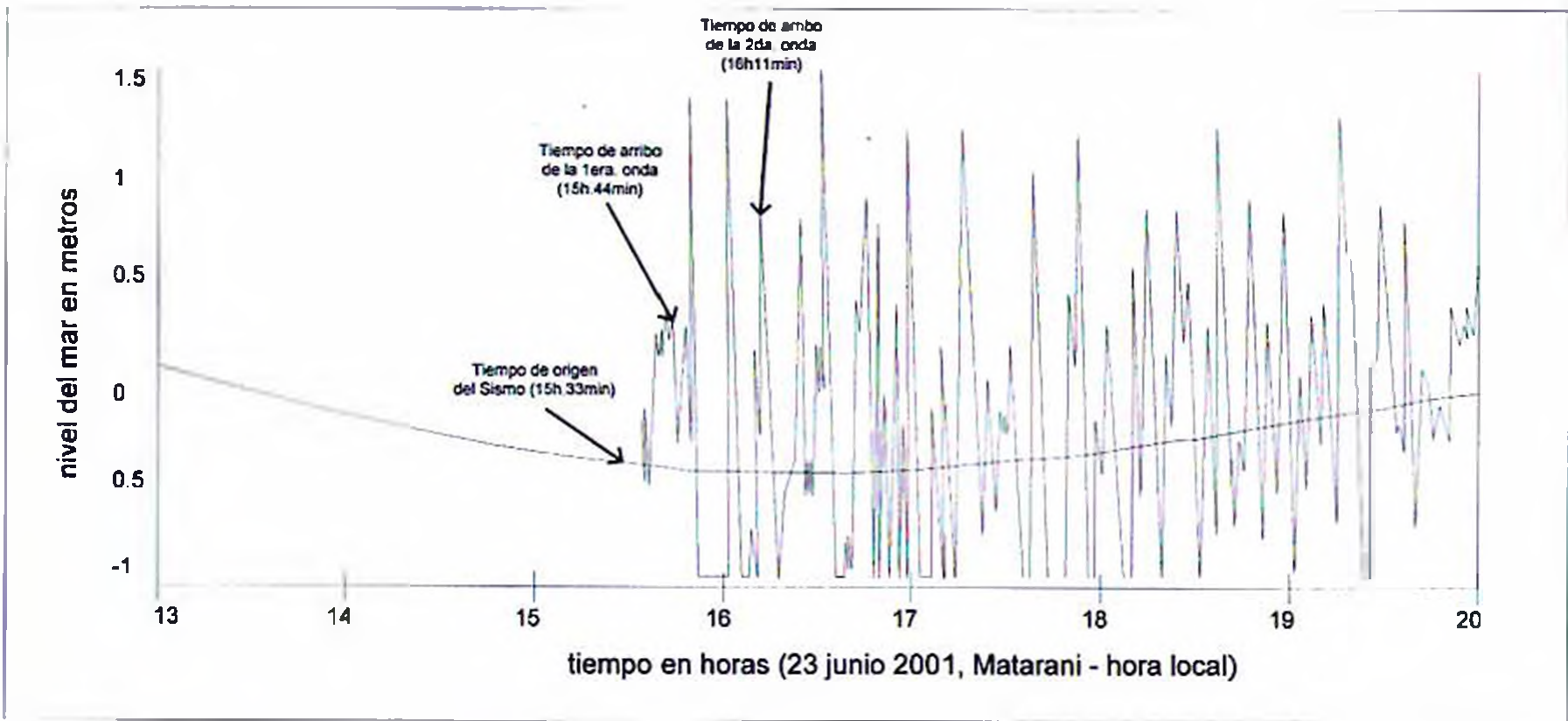


Figura N°6.2 Registro mareográfico del Puerto de Matarani del terremoto del 23 de junio del 2001. Las flechas indican el tiempo de origen del sismo como el arribo de la primera y segunda ola a la costa de esta localidad.

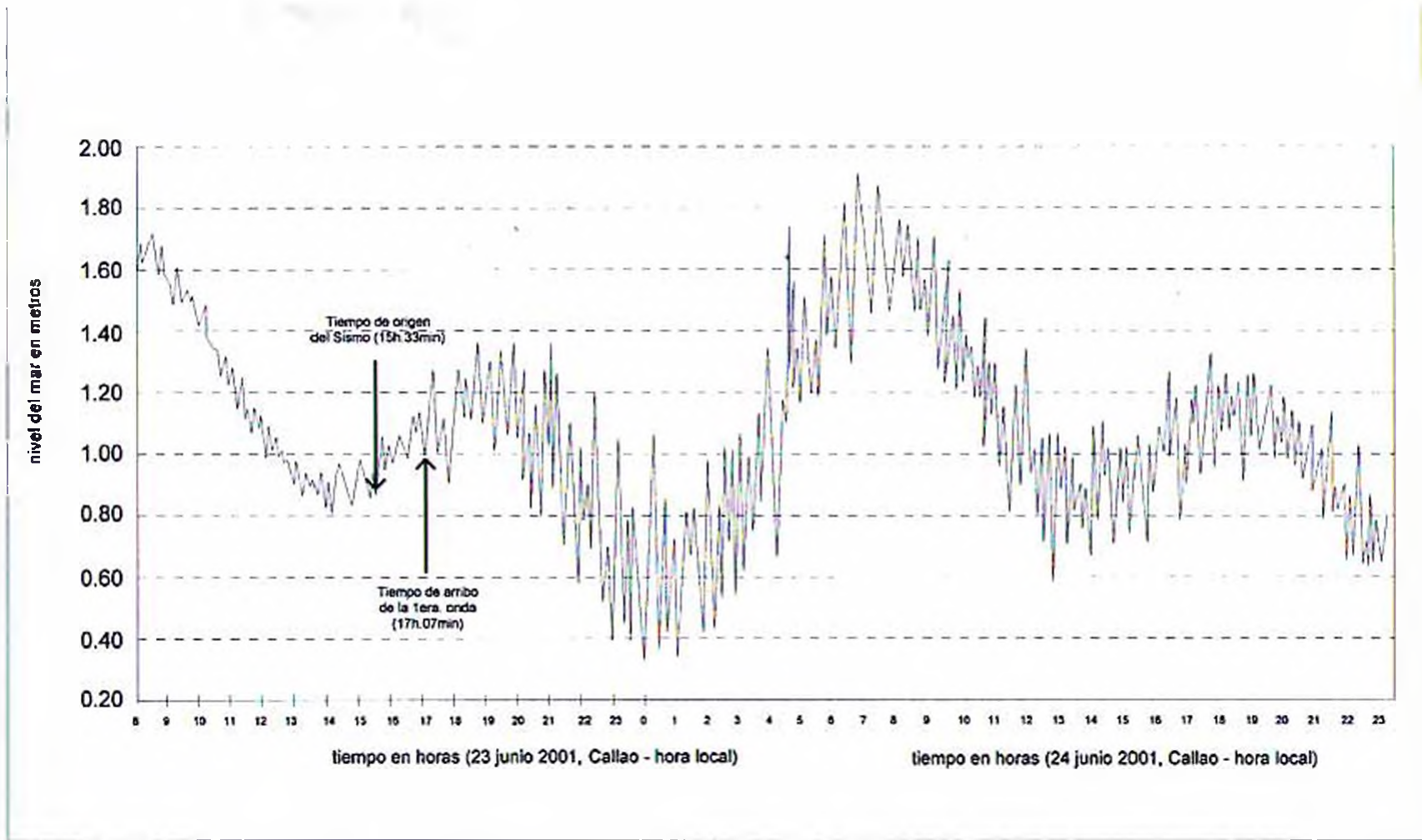
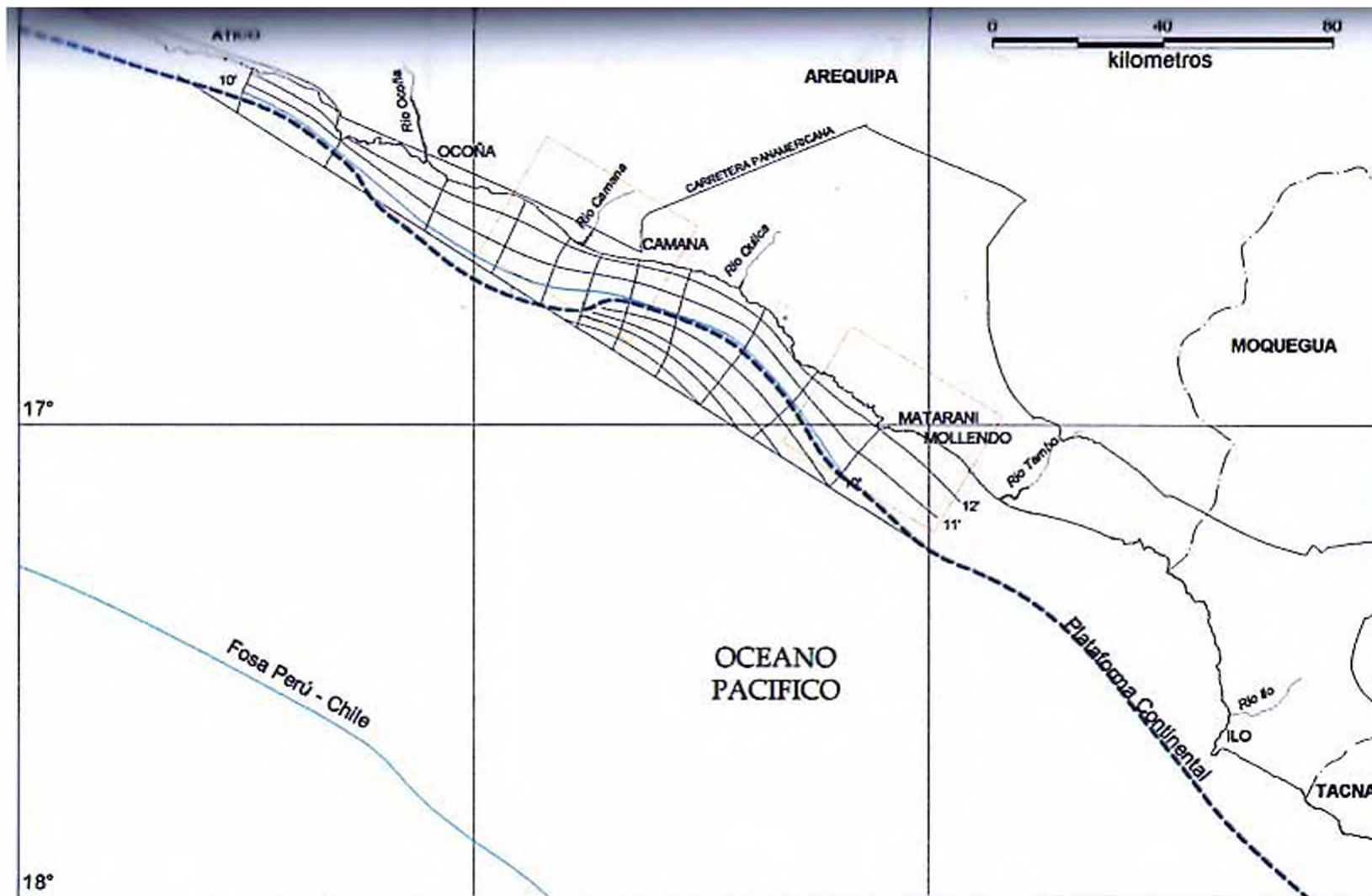

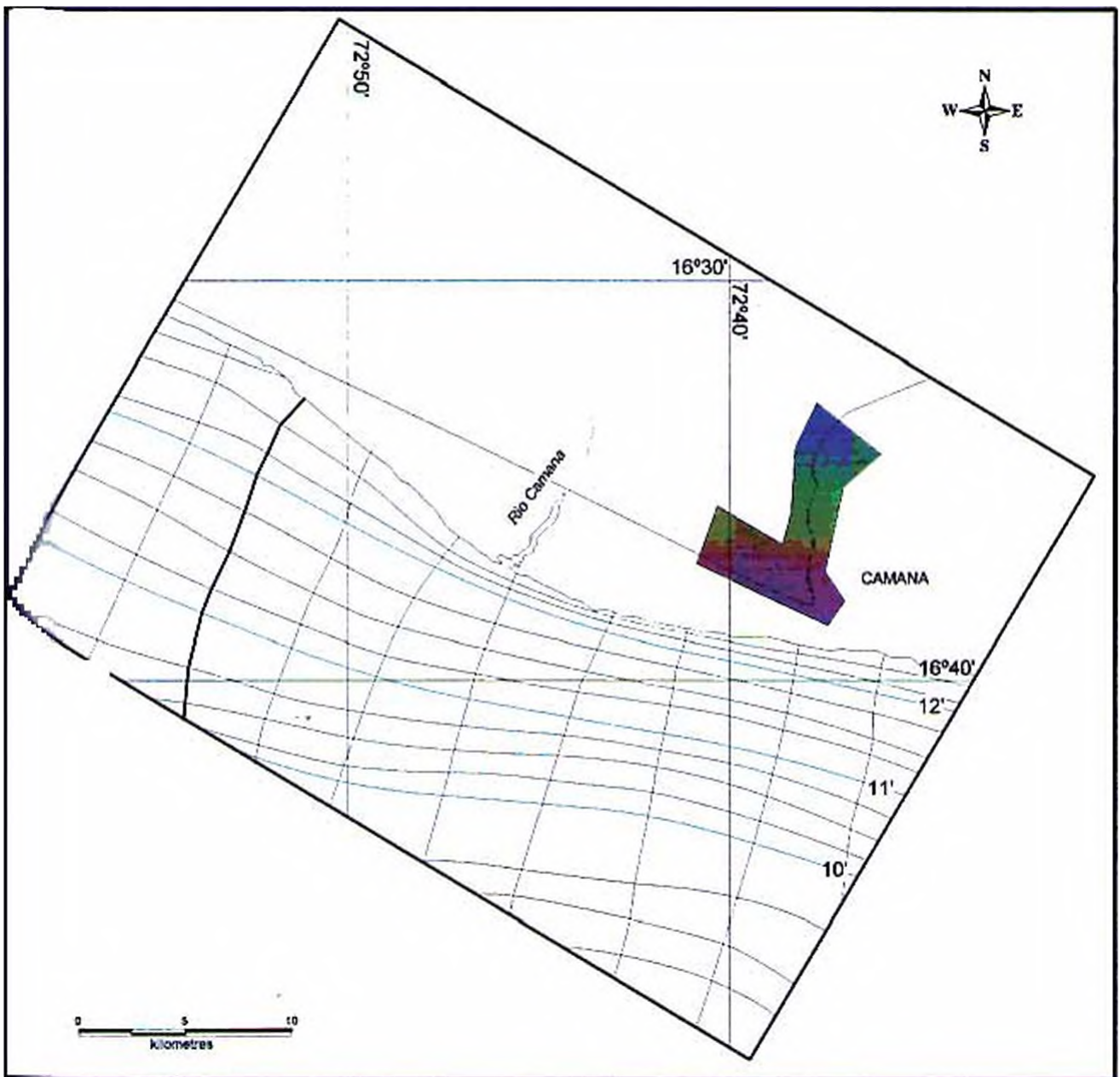



Figura N°6.3 Registro mareográfico del Puerto del Callao del terremoto del 23 de junio del 2001. Las flechas indican el tiempo de origen del sismo como el arribo de la primera ola a la costa de esta localidad.



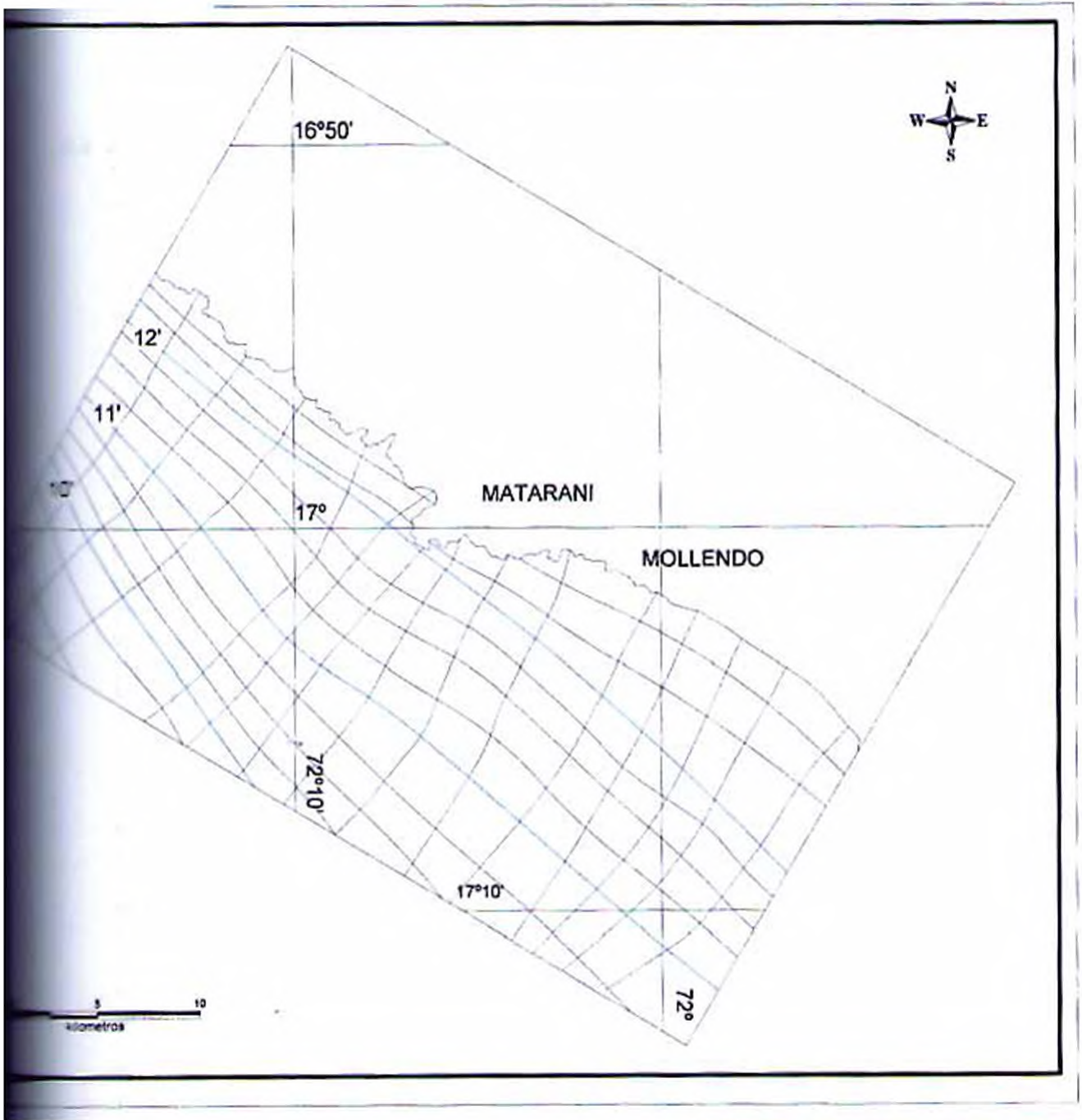
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA DE OBRAS CIVILES Y DE CONSTRUCCION ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE GEOTECNIA</p>			
<p>TRAZO DE LOS FRENTES DE ONDAS A PARTIR DE UN EJE AUXILIAR PARALELO A LA COSTA</p>			
Autor: Carlos ALBERTO HUARTE	Tema: TEMA	Fecha: Dic. 2020	Unidad: 6.2
Profesor: Ing. EVELIA CRISTINA B.	Asesor: I.	Edición: 1	Año: 1 4 20 2020





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE OBRAS DE ACERO Y METALÚRGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE METALURGIA

CONTINUACIÓN DEL TRAZO DE LOS FRENTES DE ONDA PARA EL BALNEARIO DE CAMANA

Autor David CALLE HUARTE	Asesor Ing. Enzo ORTIGUEIRA	Fecha Febrero 2020	Hojas 6.3
Escala 1:30000			



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE GEOLOGIA			
CONTINUACION DEL TRAZO DE LOS Puentes DE ONDAS PARA EL PUERTO DE MATARANI			
Autor Ing. Oscar CHAVEZ M.	Título Profesional	Fecha Dic. 2008	6.4
No. 1 1000001			

Luego se encajara una elipse al diagrama de refracción. De esta manera se logra determinar la ubicación y el tamaño de la elipse de generación del tsunami. Con estos resultados se puede obtener información respecto al sismo tales como magnitud, epicentro, dirección a partir de un punto de la costa, etc. En la Lámina 6.5 se muestra la ubicación y el tamaño de esta elipse.

6.4 Análisis y Discusión de Resultados

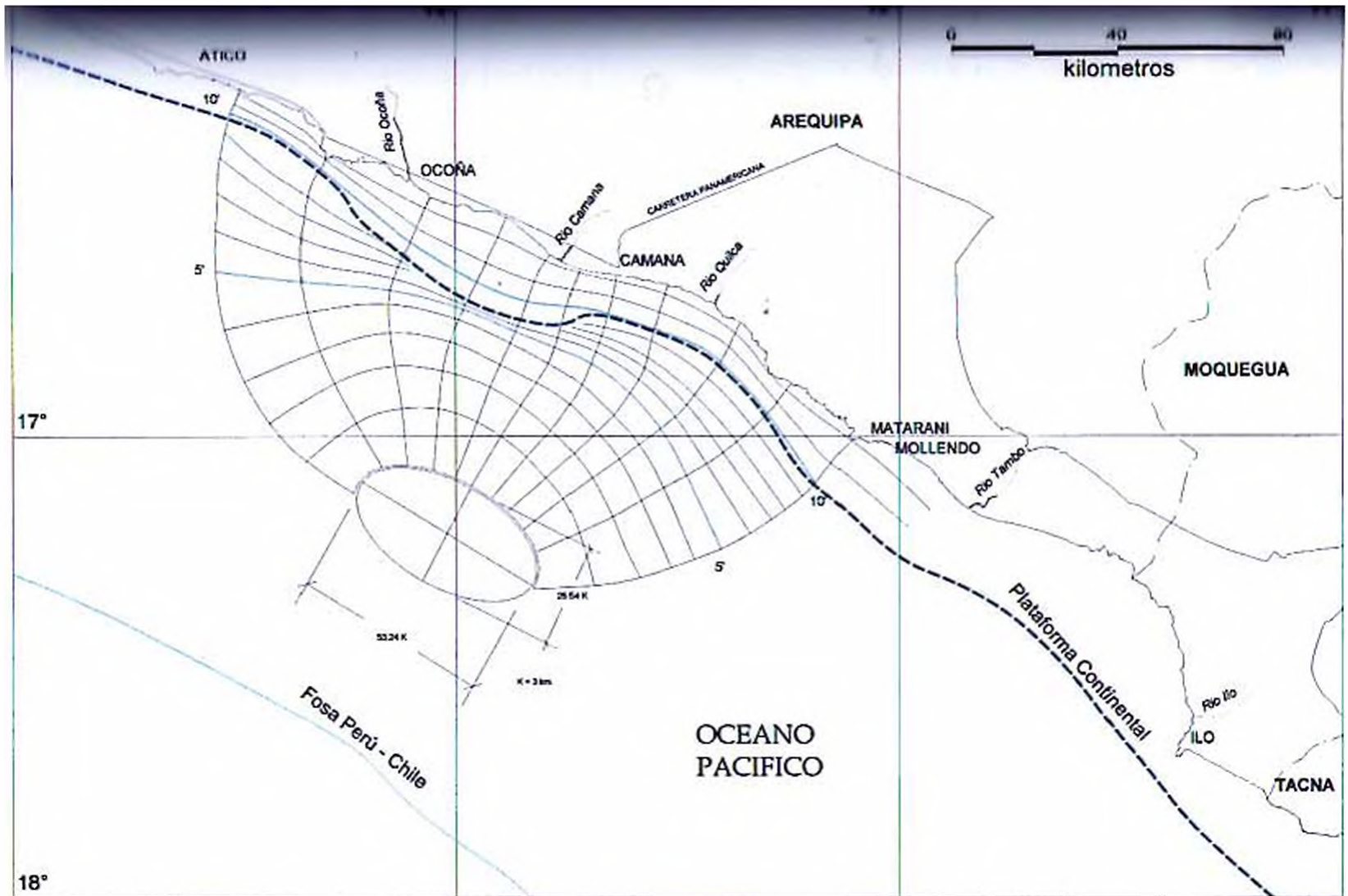
De acuerdo a la Lámina 6.5, el epicentro que hemos determinado tiene por coordenadas $17^{\circ}12'36''\text{S}$ $73^{\circ}01'12''\text{W}$. Referenciando el epicentro con respecto a Camaná, tomamos un punto $16^{\circ}38'\text{S}$ y $72^{\circ}43'\text{W}$. La línea que une estos dos puntos tiene por dirección $\text{S}27^{\circ}\text{W}$ y una extensión de 71.20 km. Al prolongar esta línea hasta llegar a la fosa, la distancia del epicentro a esta es de 56.90 km. La ubicación del epicentro del sismo nos indica que la ruptura se originó en la zona estadísticamente donde ocurren la mayoría de sismos superficiales y de magnitud mayor de 6.5° en la escala de Richter y cercano a la fosa (2250 m, HIDRONAV). En la Lámina 6.6 se representan los datos obtenidos.


En la Lámina 6.5, observamos que la elipse de generación tiene por eje mayor $a=159.71\text{ Km}$ y eje menor $b=85.61\text{ Km}$, siendo entonces el área o fuente de generación $S=10,738.57\text{ Km}^2$. Las fórmulas de IIDA y HOTARI, sirven para determinar la medida del eje mayor y menor de la elipse de generación. Las fórmulas están en función de la magnitud M_s del sismo, al evaluarlas para diferentes magnitudes se obtendrán las correspondientes superficies de generación, y mediante un análisis por regresión podemos determinar una relación en la que M_s sea función de S . Procediendo de la manera anterior, la fórmula de regresión es $M_s = 4,5703 S^{0.05629}$, y al evaluarla para $S=10738.57\text{ km}^2$ hallamos que $M_s=7.7$; debiendo ser de éste orden la magnitud del sismo.

La magnitud del tsunami fue moderada a fuerte, según IMAMURA de $m=2$ a 3 ; lo cual se comprobó con la evaluación de daños. Para el caso del Balneario de Camaná, por ejemplo, se observa que las viviendas afectadas corresponden a aquellas que se encontraban en los primeros quinientos metros de la línea de ataque del tsunami, siendo la penetración tierra adentro de varias centenas de metros, mientras que la mayoría de las muertes producidas en este balneario se debe a que estos eran vigilantes de las casas del Balneario que no sabían de este fenómeno y se adentraron a la mar cuando esta se retiró y al venir con fuerza no tuvieron tiempo de alcanzar zonas altas. En el resto de la costa afectada los daños fueron grandes al inundar el mar los campos de cultivo y en la zona del río Camaná el mar penetró cerca de 2 Km.

En zonas poco habitadas la penetración fue de varias centenas de metros, las olas fueron detenidas por los acantilados, reportándose inundaciones o daños materiales más no personales. Si el agua llegó en algunos lugares a penetrar tierra adentro, fue porque son de poca pendiente, casi planos y abiertos directamente al mar sin la presencia de algún tipo de construcción que reste energía al tsunami.

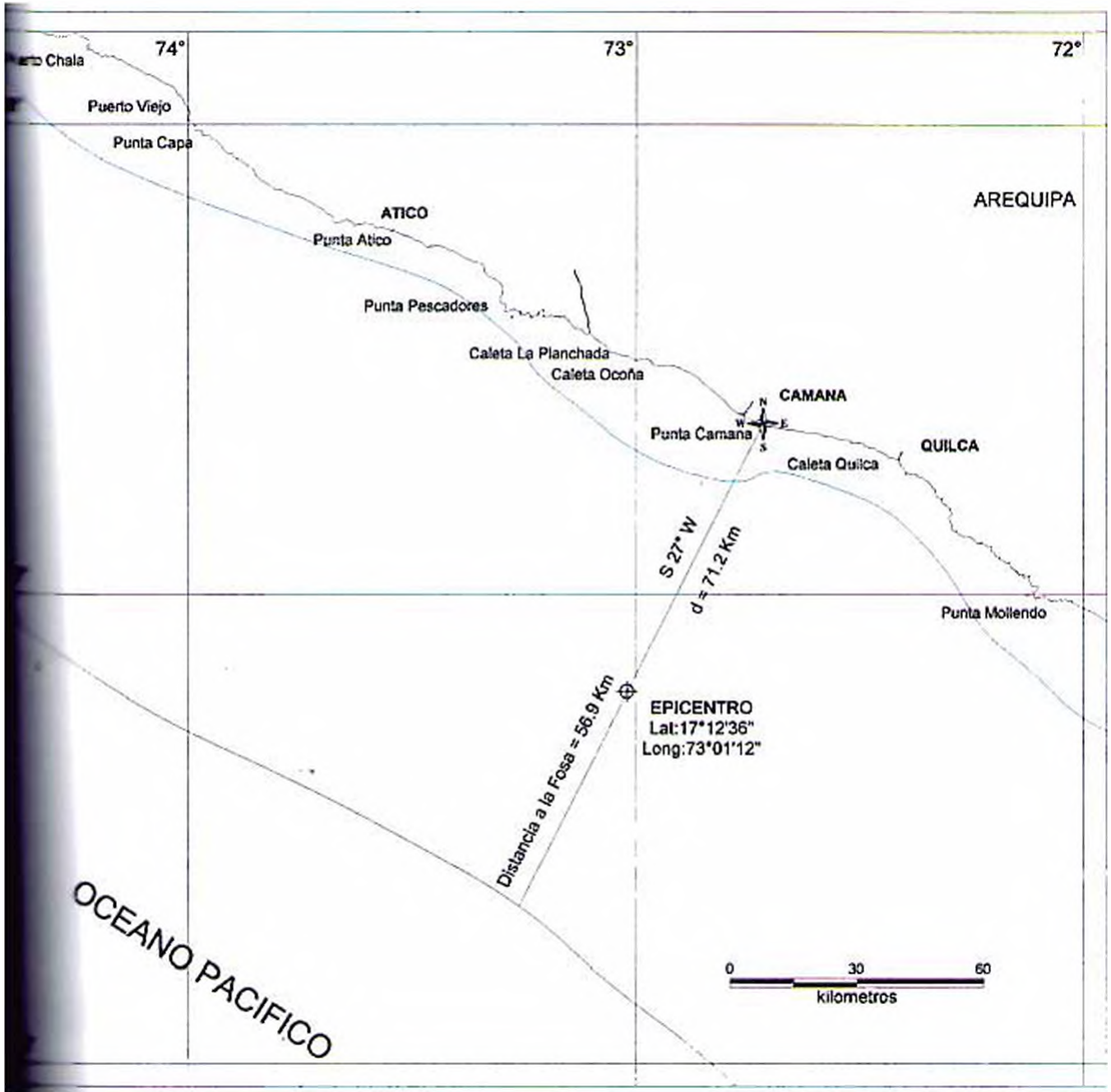
Toda esta evaluación se realiza con más detalle en el Capítulo 7, nos dice claramente que la magnitud del tsunami fue moderada a fuerte, lo cual confirma el resultado anterior de que fue un sismo con epicentro en el talud continental aproximadamente a 30 mn al suroeste de Punta Pescadores donde se encuentra un cañón submarino que parece ser el más importante del área sur con un desnivel de 640-2,620 m, un ancho máximo de 3,5 mn y la anchura en el fondo de 1,5 millas y frente a la costa del departamento de Arequipa, este fue el mecanismo generador del tsunami. Un sismo de magnitud $M_s 7.7$, y cuyo epicentro se ubique cerca a la costa, puede tener la energía necesaria para producir la ruptura del fondo oceánico debido a que el espesor del estrato a romper es menor. El efecto que se produjo luego sobre la masa de agua fue del tipo pistón, provocando que esta última se irradie en varias direcciones.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE GEOLOGÍA

ELIPSE DE GENERACIÓN DEL TSUNAMI
CAMANA 23 DE JUNIO 2001

Autor Geólogo OCELE HUARTE	Tema Tsunami	Fecha Dic 2003	Págs. 6.5
Profesor Ing. ENRIQUE CÁRTEGA R.	Profesional		
Escala 1 : 1 000 000			



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE GEOLOGIA</p>			
<p>REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS DATOS OBTENIDOS TSUNAMI 23 DE JUNIO DEL 2001</p>			
Auto:	Daniel OLCECE Huerta	Fecha:	Sept 2001
Dibujó:	Ing. Erick ORTEGA R.	Título:	Profesional
Escala:	1 : 1'487,000	Fecha:	Dic. 2001
			6.6

Según planos batimétricos, la altura de agua sobre el punto de ruptura es de 2,250 m aproximadamente. La masa de agua irradiada empezó su propagación desde los fondos oceánicos llegando en pocos minutos a la plataforma continental 14' minutos para el caso del Balneario de Camaná, Ocoña y Pucchun, según el Diagrama de Refracción hallado. Ver Lámina 6.5.

A partir de ese instante empezó su propagación en aguas pocas profundas determinándose menores velocidades. Para SOLOVIEV, los tsunamis son reflejados parcialmente por las irregularidades de los fondos oceánicos y principalmente por el talud continental. En este caso se produce una pérdida de energía cercana al 25%. Señala asimismo que la plataforma continental absorbe y conserva gran cantidad de la energía de los tsunamis.

Si tomamos como referencia un plano batimétrico de la región, obtenemos que la distancia de la isóbata de los 2,250 m a Camaná es de 55 Km, mientras que para Atico 85 Km, Punta Pescadores 76 Km, Ocoña 80 Km, Quilca 105 Km y Matarani 105 Km. Por eso, cuando el frente de onda del tsunami llegó a estas localidades, la energía transmitida por el sismo a la masa de agua no había sido en gran parte disipada por los efectos de fricción mencionados.

Esto último explicaría en parte porque el tsunami produjo grandes inundaciones en Camaná, más no así en las demás localidades. Sin embargo, la idea principal es que el sismo de magnitud $M_s = 7,7$ ubicado cerca a la costa, ocasionó la ruptura de la corteza terrestre en los fondos oceánicos, (la placa Sudamericana, según la teoría de la Tectónica de Placas) provocando, debido a la magnitud del sismo y a su cercanía de la costa, el deslizamiento de un lado de la falla respecto al otro. Este deslizamiento causó entonces el mismo efecto sobre la masa de agua por encima de ella, obligándola a seguir el comportamiento mencionado anteriormente. El hecho de que se hayan registrado tres olas de mediana a gran amplitud confirma este resultado. Sin embargo, en la generación de los tsunamis suelen actuar simultáneamente varios mecanismos, ya que los desplazamientos sismo tectónicos rara vez están orientados precisamente en una dirección vertical u horizontal, y los desplazamientos del fondo oceánico son siempre seguidos por fuertes movimientos y oscilaciones elásticas.

El mayor evento sísmico registrado en Camaná en los siglos pasados fue el que ocurrió en el año 1868, cuya energía sísmica liberada fue estimada en $M_0 = 7 \times 10^{29}$ dyn-cm y la magnitud aproximada fue de $M_s = 8.6$ (Fuente IGP). Este sismo generó un Tsunami destructivo, el cual afectó la costa Peruana desde Pisco hasta Arica (Chile). Este terremoto habría producido una longitud de ruptura del orden de 500 Km. y las olas del Tsunami tuvieron alturas de 12 a 16 m., que causaron muerte y destrucción desde Iquique hasta Pisco. El sismo del 23 de Junio del 2001 debió tener una magnitud cercana a $M_s = 7,7$, profundidad focal de 28 km y distancia 57 km de Camaná. Sin embargo, éste produjo un tsunami que afectó gran parte de la costa sur.

Para este evento la altura de agua por encima de la zona de ruptura fue entre 2105 m y 2250 m. aproximadamente. Pensamos que debe haber una altura mínima de agua requerida encima de la ruptura como para que se produzca una transmisión de la energía del sismo a la masa de agua. Estudios teóricos y experimentales no han establecido cuál es esta altura. Todo esto demuestra que las características de los tsunamis no están sólo influidas por el mecanismo generador sino también en gran medida por la razón entre el diámetro medio de la fuente y la profundidad del agua.

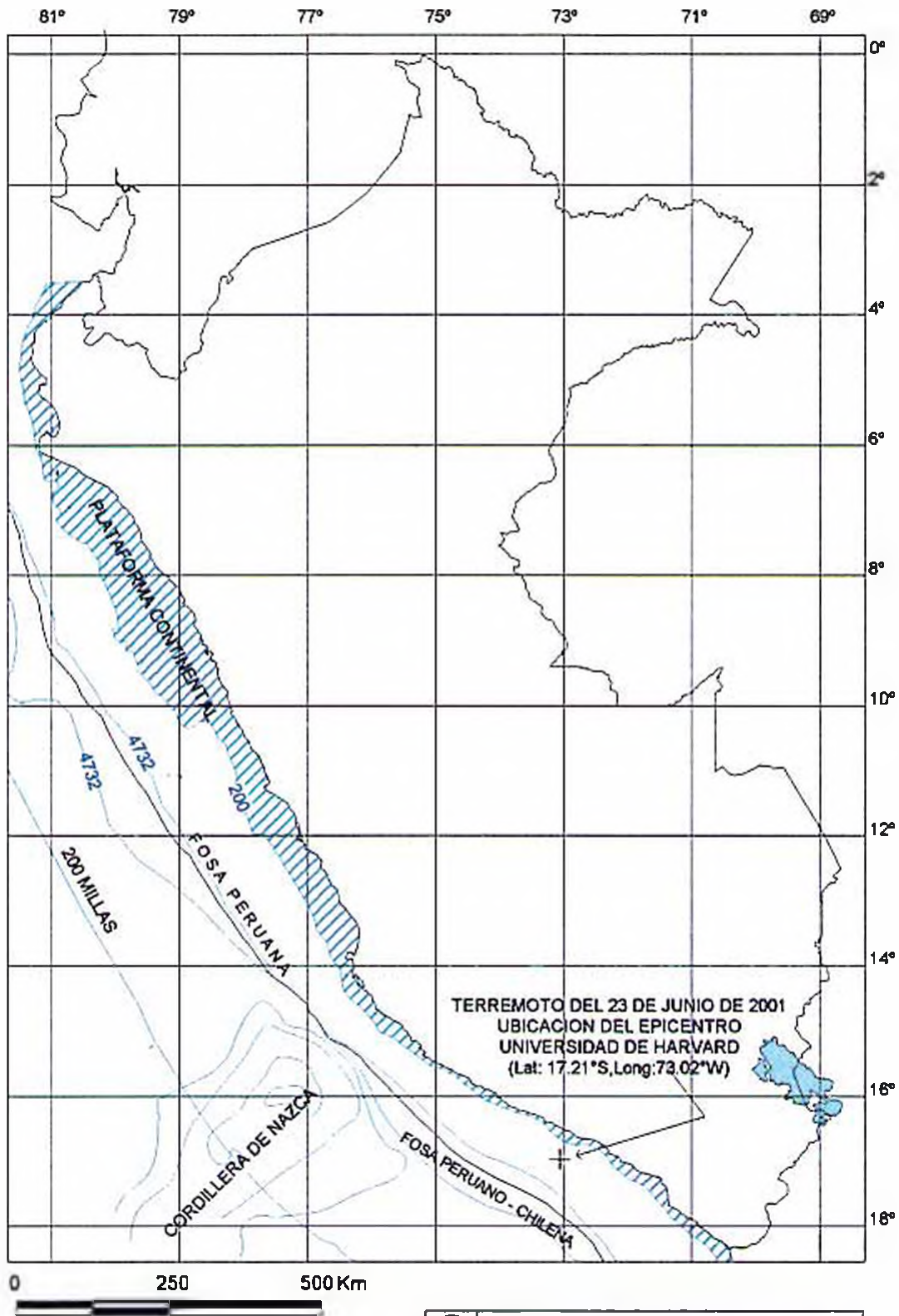
Se descarta que el origen haya sido un derrumbe submarino por que estudios anteriores sobre tsunamis en la costa del Perú han demostrado que este mecanismo de generación de tsunamis no se da en Perú. Además, los modelos experimentales demuestran que sólo el 1-2% de la energía de un cuerpo en


movimiento bajo, con una cierta pendiente, puede transformarse en energía ondular de gravedad (SOLOVIEV). En consecuencia podemos decir que el mecanismo de generación de tsunamis es la ruptura de los fondos marinos debido a sismos tectónicos cuyos epicentros se ubican en el fondo del mar.

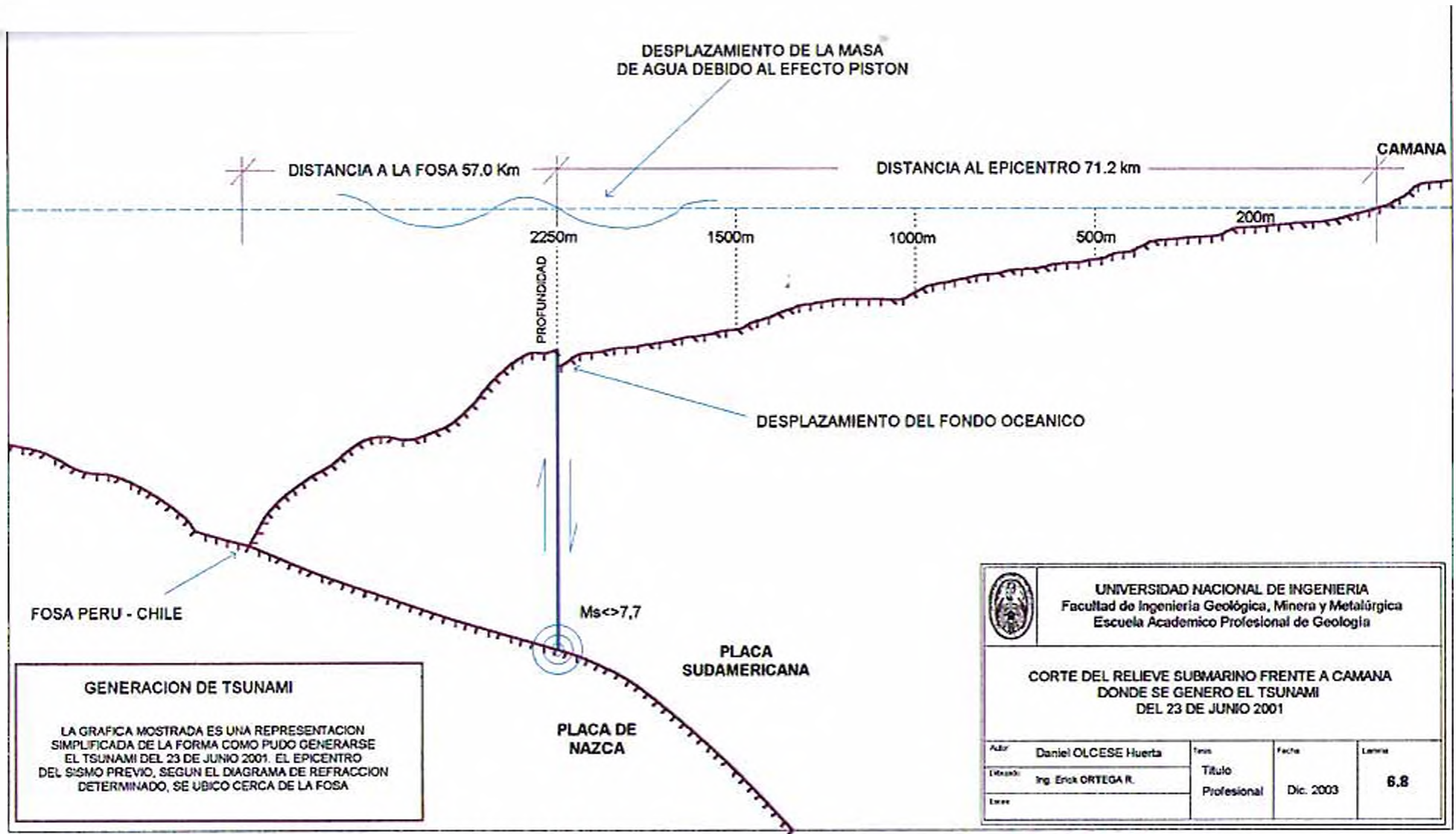
El tiempo de llegada de la primera ola a la costa es otro punto que merece explicación. Se sabe que la velocidad con la que avanza el tsunami depende de la batimetría, y que si ésta nos indica la presencia de aguas profundas cerca de la costa entonces el tsunami llegará muy pronto. Por el contrario, cuando tenemos aguas someras cerca de la costa, la distancia que recorre el tsunami es menor en comparación con aguas profundas por unidad de tiempo, y en consecuencia el tiempo que demorará en llegar la ola será mayor. Precisamente el primer caso se presenta frente a la costa de Arequipa (Camaná), y en general a partir de Quilca (Moquegua) hasta la Bahía San Juan de Marcona (Arequipa), y no es otra cosa que el ancho de la plataforma continental en esta parte de la costa sur del país se presenta muy angosta, tal como lo describimos en el Capítulo 2. Además los planos batimétricos indican para nuestra zona de estudio que el ancho de la plataforma continental se extiende de la siguiente manera: en la zona sur el promedio de la Plataforma Continental es de 9.3 Km (5 mn) y un máximo de 24 Km (13 mn), cuando se ensancha en la desembocadura de los ríos Majes y Tambo. En la zona sur, la isóbata de 2250 m. (1285 bz) se aproxima más a la línea de costa, reduciéndose su extensión a 24 Km, como máximo y 9.3 Km (5 mn) como promedio. En la Lámina 6.7 se observa la variación del ancho de la plataforma continental a lo largo de toda nuestra costa.

Según el método del Diagrama de Refracción, para que el tiempo de llegada de la primera ola sea de 15 minutos, el epicentro del sismo se deberá ubicar a una distancia aproximada de 70 km de Camaná, considerando $M_s=7.7$. A esta distancia la profundidad del agua es de 2,250 m. Este es un caso crítico debido al tiempo de llegada de la primera ola a la costa (entre 10 a 15 minutos). Se espera que las profundidades de agua sean las mínimas requeridas como para que se produzca la efectiva transmisión de la energía del sismo a la masa de agua.

Un factor que contribuyó a disminuir la altura de la ola del tsunami fue la mar que estuvo calmada. Afortunadamente el tsunami ocurrió cuando en Camaná ya se había iniciado la bajamar, en Matarani también y en La Punta Callao se había iniciado una pleamar. Las características del comportamiento del mar antes, durante y después de ocurrido el tsunami puede verse en los mareogramas respectivos. La forma como pudo generarse el tsunami y su propagación hacia la costa se ilustra en la Lámina 6.8. En general, la época del año en que se presentan las condiciones más desfavorables para incrementar la altura de ola de los tsunamis corresponde a los meses de enero, febrero y marzo; donde se producen las bravesas de mar debido a cambios climáticos que en esta época son frecuentes, y si sumamos a eso que el tsunami se presente justo cuando nos encontramos en el nivel más alto de la pleamar, se estarían dando entonces las condiciones de que se produzcan, a diferencia del tsunami del 23 de Junio del 2001, tsunamis mucho más peligrosos y destructivos.




			
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Escuela Académico Profesional de Geología			
PLANO DE VARIACION HORIZONTAL PLATAFORMA CONTINENTAL UBICACION DEL EPICENTRO			
Autor Darío OLCESE Huerta	Título Profesional	Fecha Dic. 2003	Hoja 6.7
Asesor Ing. ENRIQUE CASTEJÓN			
Escala 1 : 1 000 000			



GENERACION DE TSUNAMI

LA GRAFICA MOSTRADA ES UNA REPRESENTACION SIMPLIFICADA DE LA FORMA COMO PUDO GENERARSE EL TSUNAMI DEL 23 DE JUNIO 2001. EL EPICENTRO DEL SISMO PREVIO, SEGUN EL DIAGRAMA DE REFRACCION DETERMINADO, SE UBICO CERCA DE LA FOSA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Escuela Académico Profesional de Geología		
CORTE DEL RELIEVE SUBMARINO FRENTE A CAMANA DONDE SE GENERO EL TSUNAMI DEL 23 DE JUNIO 2001			
Autor	Daniel OLCESE Huerta	Tesis	Fecha
Elaboró	Ing. Erick ORTEGA R.	Título	Lamina
Evaluó		Profesional	Dic. 2003
			6.8

Capítulo 7 Exploración de campo para evaluar los daños y efectos del Tsunami del 23 de Junio del 2001

7.1 Generalidades

En el presente capítulo se realiza la evaluación de los daños y efectos ocasionados por el tsunami del 23 de junio del 2001. El relato de la evolución del tsunami, en el instante previo al impacto, es descrito tal como lo hemos visto en nuestra exploración de campo en las localidades relacionadas con la ocurrencia de mayores daños y efectos. En el Apéndice se muestran mapas y documentos fotográficos que describen por sí mismos los efectos del tsunami en las localidades visitadas durante ambos reconocimientos.

Con la finalidad de evaluar con prontitud los daños ocasionados por el tsunami del 23 de junio en las comunidades costeras del Sur del Perú, la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) envió una comisión de reconocimiento a los 2 días después del sismo. Posteriormente, con la información recabada durante el primer reconocimiento, la DHN en coordinación con instituciones de diferentes países conformó el “Grupo Internacional de Estudios Post-Tsunami” (“International Tsunami Survey Team, ITST”). Este estudio se realizó desde el 6 al 15 de Julio del 2001, el mismo que comenzó desde Yauca (Departamento de Arequipa) y finalizó en Ilo (Departamento de Moquegua).

La importancia de documentar exhaustivamente las observaciones de los efectos costeros del tsunami y de compartir internacionalmente estas experiencias reside en el estudio de prevención de riesgo de inundación por tsunamis que irremediablemente impactarán zonas costeras habitadas por el Hombre, por lo que esperamos que la amarga experiencia adquirida de este tsunami sea de utilidad a nuestro país y a los países hermanos para prevenir y mitigar los daños que pudiesen ocurrir debido al impacto de los próximos tsunamis.

7.1.1 Métodos de análisis utilizados en el campo

El principal propósito del primer Grupo (ITST) fue documentar la inundación, la extensión horizontal de la penetración del agua en costa, la rompiente de la ola, la máxima elevación vertical de la tierra inundada (run-up), y reunir información de los efectos del tsunami. La evidencia de la inundación y rompiente fue efímera y desapareció muy pronto, luego de ocurrido el evento. El ITST se dividió en varios equipos que emplearon una combinación de diversos métodos.

Observación y registro de la altura del agua e indicadores de inundación tales como detritos (restos de basura tales como botellas plásticas, palizada y restos de cantos gelivados que estuvieran dispersos) y líneas de costa; Indicadores de agua en el terreno y en las edificaciones; elevación del daño (tales como ventanas rotas y techos desmantelados), detritos y arena depositadas en las escaleras, pisos superiores, y techos (Figura 7.1). Deberá tenerse sumo cuidado al interpretar los indicadores del agua, puesto que están relacionados a los episodios en que el agua todavía era suficiente para dejar un indicador y son casi siempre inferiores a la altura pico del agua.

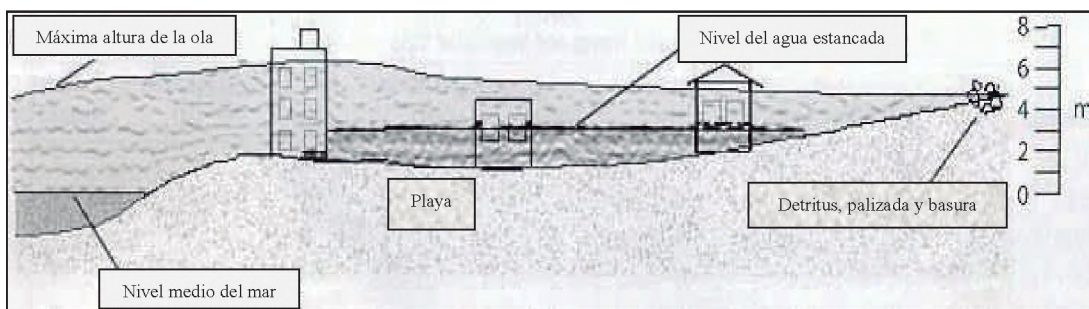


Fig. N°7.1 Datos de campo del tsunami que se desarrolló en la zona costera de Camaná. La inundación es la extensión horizontal de la penetración del agua. El Run-up es la elevación vertical del punto mas alto de la superficie de inundación. Las marcas del aumento de nivel de agua puede ser algunas veces medida cuando la arena y otros sedimentos son depositados en la parte alta de los pisos de las casas, edificios, árboles o líneas de poder eléctricas. En algunos casos la elevación del agua puede ser estimada por la altitud de los daños, rotura de vidrios de ventanas o marcas en los techos y paredes. Construcciones, paredes, y plantaciones de árboles pueden tener una o más marcas de agua que otras mediciones del nivel del agua estancada.

- 1.) Entrevista a los testigos. Es fácil interpretar mal los detritus y líneas de costa que pueden ser provocados por las pleamares y ondas de tormentas a menos que se corroboren como un deposito de tsunamis por los testigos. Al Norte de Ocoña y Sur de Quilca, los observadores informaron que las ondas positivas del tsunami no se extendieron tan alto como los indicadores de la pleamar. Sin la observación de los testigos, la berma de la marea o tormenta pudo haberse mal interpretado como altura del tsunami. No obstante, la percepción humana durante los eventos catastróficos pueden desviarse. Hubo varios casos en donde un testigo informó sobre las alturas de la ola que eran incompatibles con la evidencia de campo o la de otros testigos. Muchos de los primeros informes de los medios y de las ONG (organizaciones no-gubernamentales) manifestaron que las alturas de olas fueron de 30 metros, el ITST no encontró ningún indicador de agua creíble de más de 8.8 metros; En lo posible, los miembros del ITST hablaron con varios y diferentes grupos de personas para asegurar una historia coherente, y se grabaron algunas entrevistas en una cinta de video para un archivo permanente en la Universidad del Sur de California – USA y la Dirección de Hidrografía y Navegación.
- 2.) Estudio de los perfiles. Las líneas se estudiaron con un equipo de estudio láser u óptico (nivel topográfico) a lo largo del perfil de playa desde la ruptura de las olas hasta la extensión de la inundación máxima interior. Las elevaciones estaban calibradas de acuerdo al nivel de la marea ambiental en el momento del tsunami.
- 3.) Entrevista a las autoridades del gobierno y ayuda a los trabajadores; además recopilación de informes, mapas, fotografías y otros materiales relacionados al tsunami del 23 de junio del 2001.

7.2 Evaluación de Daños

Se efectuó un reconocimiento de Norte a Sur a lo largo del litoral en las localidades que se indican en la Figura 7.2, y pertenecen a los departamentos costeros de Arequipa y Moquegua.

Playa Tanaka

En Playa Tanaka no se encontró evidencia de inundación por tsunami. En la parte norte de esta playa los pobladores de Yauca observaron la retirada del mar al transcurrir 20 minutos después del sismo y buscaron refugio en las partes altas previendo que venía un tsunami. En contraste, a escasos 2 km, los pobladores de la parte sur de la playa acudieron al lecho marino durante la retirada del mar para recolectar peces.

Playa Chala y Puerto Chala

En Playa Chala y en Puerto Chala no se encontraron evidencias de inundación por tsunami, el tsunami no sobrepasó la marca de la marea alta. En Puerto Chala los pobladores acudieron a los cerros al observar la retirada del mar. El Sargento de Playa indica que los pescadores y sus familias tienen conocimiento que después de un sismo se puede generar un tsunami debido a que periódicamente se les han dado conferencias de prevención y simulacros de evacuación.

Atico

En Atico no se encontraron daños por inundación debido a que el tsunami sobrepasó con aproximadamente 25 cm la marca de las mareas altas, penetrando 20 m tierra adentro. Los pobladores de Atico, en su mayoría pescadores, acudieron a lugares altos previendo la llegada de un tsunami al observar la retirada del mar después del sismo.

La Planchada

En el puerto pesquero de La Planchada la mayoría de los pescadores condujeron sus lanchas mar adentro al observar la retirada del mar. Algunas personas al pie del talud se lanzaron al mar para evitar que las rocas cayeran sobre ellos durante el sismo. No hubo daños por inundación.

Playa Puerto Ocoña

En la zona costera de Ocoña, aledaña a la desembocadura del río, el tsunami penetró 30 m alcanzando la altura de 3 m e inundando parcialmente las áreas de cultivo de caña y de maíz. Los pobladores notaron la retirada del mar y observaron el primer embate del tsunami, al observar que de nuevo el mar se retiraba acudieron a los cerros. Más al Sur, en la playa de Ocoña, la cual está deshabitada, no se encontraron marcas de altura de tsunami debido a la pendiente pronunciada, playa que está constituida por cantos rodados. La mayoría de los habitantes cuyas casas se encuentran cerca de la costa, pasada una semana del terremoto, continuaban pernoctado en los cerros por temor a que el mar se salga de nuevo con “uno de tantos temblores” (réplicas del sismo) que estuvieron sintiendo.

El Tsunami en el Valle de Camaná

La región de Camaná fue la más afectada por el tsunami, no solamente por su densidad de población comparativamente mayor a las anteriores, sino por la altura del tsunami y la extensión horizontal de inundación. La observación de las marcas del tsunami y el testimonio de los pobladores coincide en que se presentaron tres inundaciones consecutivas de las cuales la tercera fue la más destructiva alcanzando una altura de 7 a 8 m. en las partes norte y central del valle y entre 6 y 5 metros de altura en la parte sur hacia los balnearios.

Playa La Chira, Jahuay y Pucchun

En el extremo norte del valle (playa deshabitada) la extensión horizontal de inundación (800 m) alcanzó el talud semi-vertical del cerro por donde pasa la carretera panamericana.

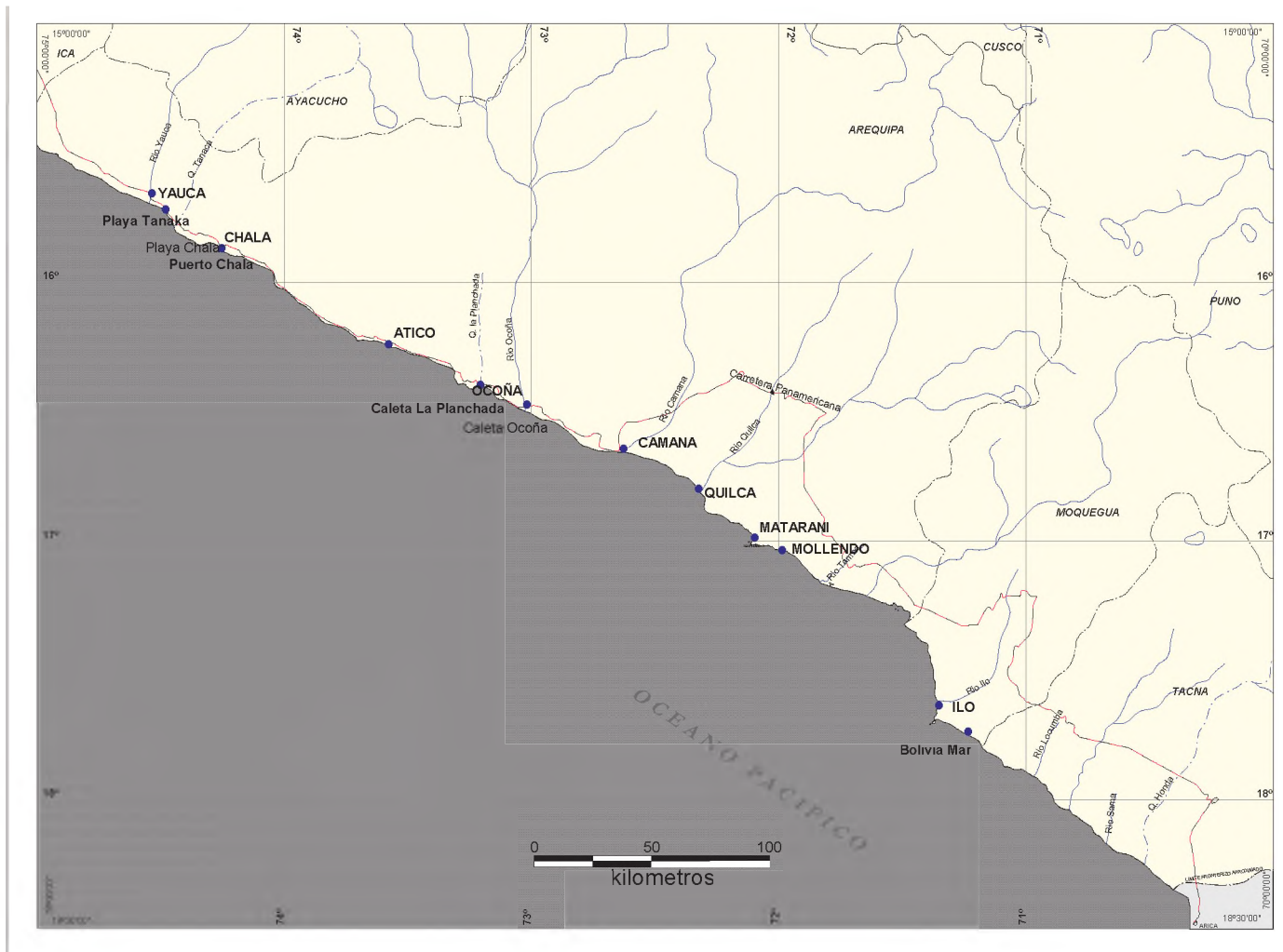


Fig. N° 7.2 Esta lámina muestra las zonas afectadas en el litoral Sur Peruano por el Tsunami ocurrido el 23 de Junio del 2001.

Zona Agrícola de Pucchun

En la parte central del valle el mar penetró aproximadamente 1.5 km dañando todas las áreas de cultivo en una franja de 23 km a lo largo de la costa. En esta área se han reportado 4 agricultores desaparecidos. El daño en las áreas de cultivo ha sido considerable. Además de la destrucción de los productos agrícolas que estaban a punto de cosecharse, la cantidad de arena y sal producto de la inundación que ha penetrado en las tierras de cultivo las ha dejado inutilizadas para la siembra.

Pucchuncillo

Aunado a lo anterior, el tsunami ha depositado sobre estas tierras toneladas de plantas acuáticas provenientes de la laguna costera Tilimaco que se interpone entre el valle y la playa.

Balneario de Camaná

La cuña que forma la parte sur del valle, entre la costa y la carretera panamericana hasta donde termina la playa, es un área de balnearios (La Dehesa, El Chorro, La Punta, La Primavera, Las Gaviotas, Las Brisas, La Católica, Los Cerrillos, Las Cuevas) densamente poblada en donde abundan los hoteles, restaurantes y casas habitación. En esta área el tsunami penetró hasta la carretera ocasionando destrucción y muerte. Más de 2000 edificaciones resultaron dañadas por el tsunami y la mayoría de éstas quedaron prácticamente destruidas por la fuerza del agua. Se han reportado 23 personas fallecidas y 62 desaparecidas por causa del tsunami. La mayoría de las personas entrevistadas afirman que la inundación venía en un ángulo oblicuo (del norte) a la playa. En la temporada de verano el balneario se satura de turistas (aproximadamente 30,000 personas), mientras en esta temporada de invierno en la que ha ocurrido el tsunami, la población consistía en algunos propietarios y en su mayoría empleados a cargo de mantenimiento y seguridad. De haber ocurrido este tsunami en marea alta y en verano la fatalidad hubiese sido de dimensiones inenarrables. En la Figura 2 se muestra el área inundada por el tsunami en la región costera de Camaná. Esta figura viene a ser la carta de inundación que ha sido trazada por la naturaleza misma, y no por modelos matemáticos.

Quilca

En la Caleta de Quilca el tsunami causó daños considerables pero no cobró vidas humanas. El Sargento de Playa mencionó que el mar inició el retiro entre 5 a 10 minutos después del sismo y la población permaneció observando como el mar regresaba un poco más alto que a su nivel normal, al ver que el mar se retiraba por segunda ocasión huyeron a los cerros desde donde observaron que el mar cubría la caseta que está sobre el muelle de concreto y cubría en su totalidad al muelle de madera, arrojando las lanchas a tierra a manera de proyectiles. "Al bajar, el mar se llevó todo lo que pudo arrastrar. Después de esta inundación el mar se fue calmando". Entre los daños por inundación se encuentran los ocasionados al generador de electricidad y al cuarto frío en donde se conserva el producto de la pesca. En esta localidad el tsunami alcanzó 4 m de altura y penetró 50 m horizontalmente. Los cerros que bordean la Caleta y la pendiente fuerte de esta evitaron que el tsunami dañara la mayoría de las casas y así mismo dio refugio a corta distancia a las personas que se encontraban en la costa.

Matarani

En el Puerto de Matarani todas las personas fueron evacuadas por las autoridades a las zonas altas al observarse el retiro del mar después del sismo, previendo que se aproximaba un tsunami. En esta localidad se observaron tres oscilaciones del nivel del mar a intervalos de 25 minutos, de las cuales la tercera fue la más alta, alcanzando la altura de 1 metro sobre la marea alta. No hubo pérdida de vidas humanas ni daños materiales debido al tsunami. Las dos personas que fallecieron en el puerto perecieron al derrumbarse un cerro sobre ellos durante el sismo.

Mollendo

En Mollendo no se encontraron evidencias de inundación por el tsunami, según los pobladores ribereños y pescadores de la zona, se observó la retirada del mar y el regreso de éste a la normalidad, esto se repitió tres veces.

Ilo

En el Puerto de Ilo el tsunami no sobrepasó la altura de la marea alta. Al norte del puerto, en un área puntual cerca del Hotel de Ilo el tsunami sobrepasó con 30 cm el nivel de la marea alta sin causar ningún daño. Al sur del puerto de Ilo, en Bolivia Mar, no se encontró evidencia de inundación por tsunami a lo largo de varios kilómetros de playa.

7.3 Evaluación Final

La evaluación final de los daños y efectos ocasionados por el tsunami, que el 23 de junio del 2001 afectó la porción de costa comprendida entre el Yauca e Ilo, se ha efectuado mediante tablas en los que se indica el número de víctimas así como de heridos registrados. Asimismo, los daños y efectos, que ya fueron mencionados y que sirvieron de base para realizar esta evaluación, se muestran en forma resumida en el última tabla que se denomina "Evaluación de los Daños y Efectos del Tsunami del 23 de Junio del 2001 y Medidas Recomendadas para Futuros Eventos".

**TABLA 7.1
NUMERO TOTAL DE VICTIMAS***

LOCALIDAD	VICTIMAS	COMENTARIOS
Camaná	4	Muertes por el tsunami
José Maria Quimper	0	
Mariano Nicolás Valcárcel	0	
Mariscal Cáceres	3	Muertes y desaparecidos por el tsunami
Nicolás de Piérola	0	
Ocoña	1	Principalmente por impactos del terremoto
Quilca	0	
Samuel Pastor	17	Muertes y heridos por el tsunami
TOTAL	25	

**TABLA 7.2
NUMERO TOTAL DE DESAPARACEDOS***

LOCALIDAD	DESAPARACIDOS
Camaná	0
José Maria Quimper	0
Mariano Nicolás Valcárcel	0
Mariscal Cáceres	2
Nicolás de Piérola	0
Ocoña	0
Quilca	0
Samuel Pastor	60
TOTAL	62

(*)Fuente: INDECI (2001)

**TABLA 7.3
NUMERO TOTAL DE HERIDOS***

LOCALIDAD	HERIDOS
Camaná	16
José Maria Quimper	0
Mariano Nicolás Valcárcel	0
Mariscal Cáceres	0
Nicolás de Piérola	0
Ocoña	0
Quilca	0
Samuel Pastor	25
TOTAL	41

**TABLA 7.4
NUMERO TOTAL DE POBLACIÓN AFECTADA (DAMNIFICADOS)***

LOCALIDAD	HERIDOS
Camaná	2,700
José Maria Quimper	1,200
Mariano Nicolás Valcárcel	1,524
Mariscal Cáceres	780
Nicolás de Piérola	201
Ocoña	3,432
Quilca	21
Samuel Pastor	3,000
TOTAL	12,858

**TABLA 7.5
NUMERO TOTAL DE VIVIENDAS AFECTADAS Y DESTRUIDAS***

LOCALIDAD	VIVIENDAS AFECTADAS	VIVIENDAS DESTRUIDAS
Camaná	300	300
José Maria Quimper	0	200
Mariano Nicolás Valcárcel	0	254
Mariscal Cáceres	30	115
Nicolás de Piérola	11	28
Ocoña	484	330
Quilca	1	3
Samuel Pastor	430	2500
TOTAL	1,256	3,730

**TABLA 7.6
NUMERO TOTAL DE CULTIVOS AFECTADOS***

LOCALIDAD	CULTIVOS
Pucchun	Fréjol, cebolla
Pucchuncillo	Maíz, fréjol
El Chorro	Mazorcas de maíz
La Dehesa	Mazorcas de maíz
TOTAL	2500 Hectáreas

(*) Fuente: INDECI (2001)

TABLA 7.7 EVALUACION DE LOS DAÑOS Y EFECTOS DEL TSUNAMI DEL 23 DE JUNIO DEL 2001 Y MEDIDAS RECOMENDADAS PARA FUTUROS EVENTOS

LOCALIDAD	LAT. (°S)	LON. (°W)	RUNUP (m)	INUND. (m)	DESCRIPCIÓN DEL AREA	MARCAS DE AGUA (m)	DAÑOS PRODUCIDOS	FLUJO DE AGUA PARADA POR	EFECTOS REGISTRADOS	RIESGO DE DESASTRE	MEDIDAS RECOMENDADAS	FOTOS RECORRIDO
Playa Tanaka	15.71	74.50	BB		Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	Retiro del mar, zona inhóspita, caída de rocas por acción del golpe del tsunami.	Alto en las zonas bajas	Sistema de Alarma	1-5
Chala	15.86	74.25	BB		Caleta		Flujo de agua	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	Leves daños a botes, sin daños personales, retiro del mar en el puerto.	Alto en la caleta y playas.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma	6-8
Punta Blanca	16.23	73.70	BB		Caleta		Flujo de agua	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	Leves, sin daños materiales ni personales, retiro del mar en la caleta.	Alto en la caleta y playas.	Sistema de Alarma, construcción de defensa ribereñas.	9-10
Atico 1	16.23	73.61	2.38	51.20	Playa de rocas		Flujo de agua e inundación	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	Retiro del mar, llevándose un kiosco en la playa, no se reportaron víctimas.	Alto en las zonas bajas	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	11-12
Atico 2	16.23	73.61	3.03	54.00	Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua e inundación	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en las zonas bajas	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	13-15
Pescadores 1	16.44	73.24	4.75	83.50	Campo para la agricultura		Flujo de agua e inundación	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero y morfología costera (Riscos y peñascos)	Se observo el retiro del mar, no se reportaron daños materiales ni víctimas.	Moderado en la caleta.	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	16
Pescadores 2	16.44	73.24		679.60	Laquna Tilimaco		Flujo de agua	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero y morfología costera	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Moderado en la caleta.	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	17
Ocoña	16.45	73.10	2.94	41.50	Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	Leves daños materiales a la pesca artesanal, chozas derribadas por retiro del mar en la caleta.	Alto en las zonas bajas	Demarcación de vías evacuación	16-21
Camaná 1 Playa Chira	16.53	72.90	7.71	254.00	Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua e inundación	Por riscos o lomas elevadas	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Bajo zona inhóspita.	Demarcación de vías evacuación	22-23
Camaná 2 Playa Chira	16.53	72.90	8.77	390.00	Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua e inundación	Por riscos o lomas elevadas	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Bajo zona inhóspita.	Demarcación de vías evacuación	24
Camaná 3 Playa Chira	16.53	72.88	3.59	504.00	Plataforma costera no desarrollada	3.59	Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Bajo zona inhóspita.	Demarcación de vías evacuación	25
Camaná 4 Playa Santa Mónica	16.56	72.85	4.46	725.00	Campo para la agricultura		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en las zonas bajas	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	26
Camaná 5 Playa Santa Mónica	16.57	72.82	5.14	1000.00	Campo para la agricultura		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en las zonas bajas	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	27
Camaná 6 Playa Pucchun	16.62	72.78	5.20	1358.50	Campo para la agricultura		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	Inundación de tierras agrícolas y derribo de casas de adobe por impacto de olas del tsunami. Víctimas 3, desaparecidos 3	Alto por hallarse esta zona agrícola a nivel del mar.	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	28-29
Camaná 7 Playa Pucchun	16.64	72.74	2.78	1042.70	Campo para la agricultura	3.95	Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	Inundación de tierras agrícolas y derribo de casas de adobe por impacto de olas del tsunami. Víctimas 5, desaparecidos 6	Alto por hallarse esta zona agrícola a nivel del mar.	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	30
Camaná 8 Playa Pucchun	16.65	72.72	3.30	750.00	Campo para la agricultura	4.3-5.1	Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	Inundación de tierras agrícolas y derribo de casas de material noble por impacto de olas del tsunami. Víctimas 3, desaparecidos 15	Alto por hallarse esta zona agrícola a nivel del mar.	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	31
Camaná 9 La Dehesa	16.65	72.70	2.81	536.60	Campo para la agricultura	5.29	Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	Inundación de tierras agrícolas y derribo de casas de material noble por impacto de olas del tsunami. Víctimas 4, desaparecidos 20	Alto por hallarse esta zona agrícola a nivel del mar.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, canalización del río, construcción de espigones y defensas. Planificación	32-33
Camaná 10 Playa El Chorro	16.65	72.69	4.89	785.00	Campo para la agricultura		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	Inundación de tierras agrícolas y derribo de casas de material noble por impacto de olas del tsunami. Víctimas 5, desaparecidos 16	Alto por hallarse esta zona agrícola y playas a nivel del mar.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma y construcción de espigones. Planificación	34-35
Camaná 11 La Punta	16.65	72.69			Plataforma costera desarrollada	7.25	Flujo de agua	Plataforma costera plana	Inundación de los balnearios La Punta Nueva, La Punta Vieja y La Punta; y colapso de casas de material noble por impacto de olas y erosión del flujo de agua. Destrucción de la pista costanera	Alto en todo el balneario por encontrarse debajo y a nivel del mar.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	36-39
Camaná 12 Los Cerrillos	16.65	72.67	3.79	483.00	Plataforma costera desarrollada		Flujo de agua e inundación	Carretera Panamericana elevada sobre la cima de lomas o cerros	Inundación del balneario Los Cerrillos colapso de casas de material noble por impacto de olas. Destrucción de la pista costanera por erosión del flujo de agua. Víctimas 1, desaparecidos 2	Alto en todo el balneario por encontrarse debajo y a nivel del mar.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	40-41
Camaná 13 Las Brisas	16.66	72.65	5.43	345.00	Plataforma costera desarrollada		Flujo de agua e inundación	Carretera Panamericana elevada sobre la cima de lomas o cerros	Inundación del balneario, colapso de casas de material noble por impacto de olas y destrucción de la pista costanera por erosión del flujo de agua.	Alto en todo el balneario por encontrarse debajo y a nivel del mar.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	40-41
Camaná 14 Los Cerrillos II	16.66	72.65	4.67	282.00	Plataforma costera desarrollada	4.67	Flujo de agua e inundación	Por lomas elevadas	Inundación del balneario, colapso de casas de material noble por impacto de olas y destrucción de la pista costanera por erosión del flujo de agua.	Alto en todo el balneario por encontrarse debajo y a nivel del mar.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	40-41
Camaná 15 Los Cerrillos II	16.66	72.63	4.78	240.00	Plataforma costera desarrollada		Flujo de agua e inundación	Por lomas elevadas	Inundación del balneario, colapso de casas de material noble por impacto de olas y erosión por el flujo de agua de cimientos y vías vehiculares.	Alto en todo el balneario por encontrarse debajo y a nivel del mar.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	40-41
Camaná 16 Las Cuevas	16.66	72.61	4.39	130.00	Plataforma costera desarrollada		Flujo de agua e inundación	Por riscos o lomas elevadas	Inundación del balneario, colapso de casas de material noble por impacto de olas y erosión por el flujo de agua de cimientos y vías vehiculares.	Alto en todo el balneario por encontrarse debajo y a nivel del mar.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	42-43

La Bajada	16.68	72.56	4.67	160.00	Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en todo el balneario por encontrarse debajo y a nivel del mar.	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	----
Pampa Grande	16.69	72.50	3.56	202.00	Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en todo el balneario por encontrarse debajo y a nivel del mar.	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	----
Quilca 1 Camino a Quilca	16.70	72.47	3.25	110.00	Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en todo el balneario por encontrarse debajo y a nivel del mar.	Sistema de Alarma y planificación de la costa.	44-45
Quilca 2 Localidad de Quilca	16.70	72.46	3.40	41.20	Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	Daños materiales moderados a leves, casas de madera sufrieron inundación, el embarcadero fue inundado. No se reportaron víctimas.	Mediano se gana altura rápidamente.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	----
Quilca 3 Desembarcadero Quilca	16.71	72.44	3.18		Caleta		Flujo de agua	Plataforma costera plana	Daños materiales moderados a leves, casas de madera sufrieron inundación. No se reportaron víctimas.	Mediano se gana altura rápidamente.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	46
Quilca 4 Embarcadero Quilca	16.71	72.43			Caleta	2.62	Flujo de agua	Plataforma costera plana	Daños materiales moderados a leves, casas de madera sufrieron inundación, el embarcadero fue inundado. No se reportaron víctimas.	Mediano se gana altura rápidamente.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	46
Quilca 5 Caleta Quilca	16.71	72.43	3.72	30.00	Caleta	3.88	Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	Daños materiales moderados a leves, casas de madera sufrieron inundación, el embarcadero fue inundado. No se reportaron víctimas.	Mediano se gana altura rápidamente.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	47
Quilca 6 Río Quilca	16.72	72.42	2.29	19.80	Caleta		Flujo de agua e inundación	Plataforma costera plana	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Mediano se gana altura rápidamente.	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	----
Puerto Matarani	17.00	72.11			Puerto principal	1.80	Flujo de agua	Plataforma costera plana	Caseta mareográfica de material noble sufrió fisuras e hundimiento en el puerto. No se reportaron daños materiales, víctimas 02.	Mediano se gana altura rápidamente.	Sistema de Alarma	48-53
Playa Matarani	17.03	72.01	BB		Plataforma costera desarrollada		Flujo de agua	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Mediano se gana altura rápidamente.	Sistema de Alarma	48-53
Mollendo Norte	17.05	71.99	BB		Plataforma costera desarrollada		Flujo de agua	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en las zonas bajas	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	54-59
Mollendo Sur	17.05	71.97		72.50	Plataforma costera no desarrollada	2.45	Flujo de agua e inundación	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en las zonas bajas	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	54-59
Mejía	17.09	71.91	BB		Laquna		Flujo de agua	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en las zonas bajas	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	----
Ilo	17.63	71.34	2.68	40.00	Plataforma costera desarrollada		Flujo de agua e inundación	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Alto en las zonas bajas	Plan de evacuación, Sistema de Alarma, construcción de defensas y planificación de la costa.	60-67
Playa Bolivia Mar	17.74	71.26	2.33	72.00	Plataforma costera no desarrollada		Flujo de agua e inundación	Fricción y arrastre de la ola en fondo costero (Playa)	No se reportaron daños materiales ni víctimas.	Baio zona inhóspita.	Demarcación de vías evacuación	68-71

7.4. Fotografías del recorrido del “Grupo Internacional de Estudios Post-Tsunami”.- Observaciones de campo en las localidades de Yauca y Chala, provincia Caravelí, departamento de Arequipa.



Foto N° 7.1.- Playa Tanaka Norte. En esta zona de Arenamiento el Tsunami no paso la marca de la marea alta. Coordenadas: 15°42.821'S ; 74°30.001'W.



Foto N° 7.2.- Playa Tanaka Centro. Se observa abundantes restos de conchuelas, el Tsunami no paso la marca de la marea alta.



Foto N° 7.3 - Playa Tanaka Sur. el retiro del mar el día del sismo +/- 80 m. Coordenadas: 15°42.552'S ; 74°27.704'W.



Foto N° 7.4.- Playa Tanaka Sur. Vista de Sur a Norte. Se observa la marca De la marea alta en la Playa, esta marca no la sobrepaso el Tsunami.



Foto N° 7.5.- Balneario Tanaka, Vista desde la carretera hacia el mar, retiro del mar el día del sismo +/- 80 m.

PUERTO DE CHALA



Foto N° 7.6.- Muelle Fondepes en Chala, el mar se retiro dejando al descubierto los pilotes del cabezo de muelle, el retiro fue aproximadamente +/- 100 m. Coordenadas: 15°50.151' S; 74°17.371'W



Foto N° 7.7.- Vista de Norte a Sur del Puerto de Chala las olas del Tsunami no pasaron la línea de alta marea, como puede observarse en la fotografía.



Foto N° 7.8.- Vista desde el cabezo del muelle Fondepes en Puerto de Chala.



Foto N° 7.9.- Punta Blanca (Fábrica SIPESA), en esta foto se puede observar el instante en que empieza el retiro del mar como consecuencia del terremoto, se observa el retiro del mar +/- 2 m., como indican las flechas rojas.



Foto N° 7.10.- Punta Blanca en la foto se observa retiro dell mar generado por el terremoto, los peñascos normalmente no se ven, según personal de la fábrica. Coordenadas: 16°13.738' S; 73°41.711'W

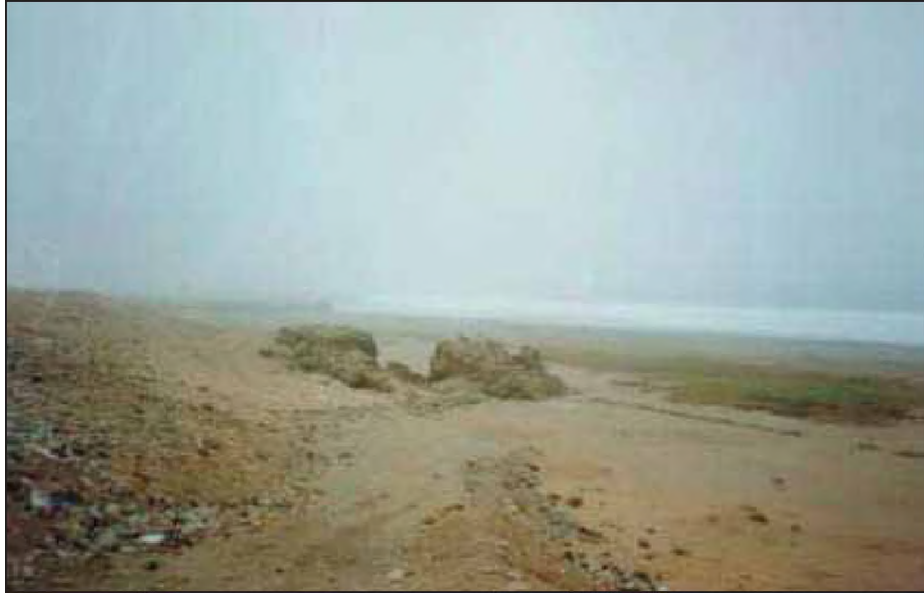


Foto N° 7.11.- Playa El Huevo el tsunami tuvo un Run-up de 2.38 m. e inundo una distancia de 51.2 m. Coordenadas: 16°13.853' S; 73°36.787'W

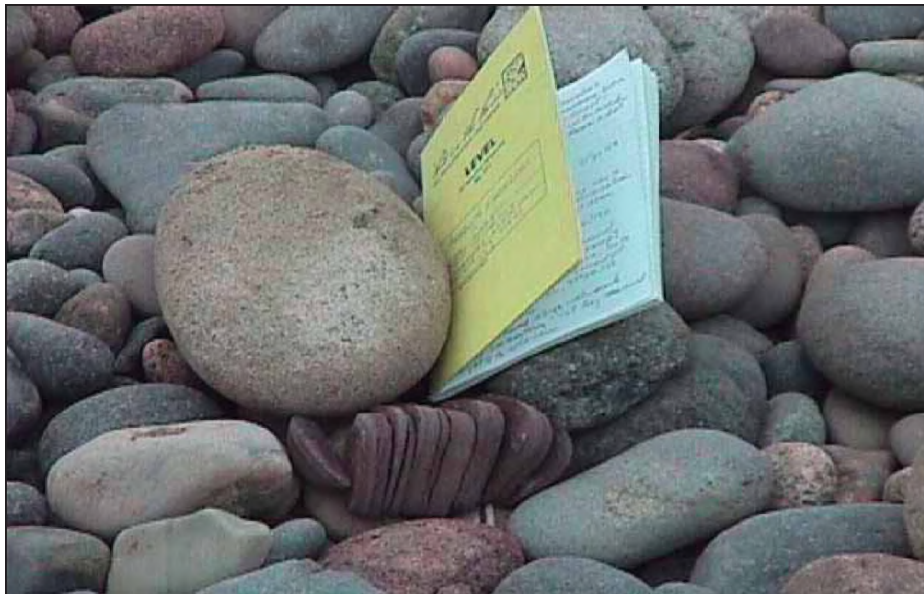


Foto N° 7.12.- Playa El Huevo se observa el canto gelivado por lo cual se concluye que el tsunami paso la linea de alta marea Run-up de 2.38 m. e inundo una distancia de 51.2 m desde la linea de costa.



Foto N° 7.13.- Playa El Huevo en Atico el tsunami tuvo un Run-up en esta zona de 3.03 m. e inundo una distancia de 54 m. Coordenadas: 16°13.854' S; 73°36.891'W



Foto N° 7.14.- Playa El Huevo vista hacia el sur, el tsunami tuvo un Run-up en esta zona de 2.38 m. e inundo una distancia de 50 m. Coordenadas: 16°14.039' S; 73°36.891'W



Foto N° 7.15.- Bloque de roca desprendido en la Panamericana al Sur de Atico y Norte de Ocoña Km.770 aproximadamente



Foto N° 7.16.- Caleta Pescadores, el tsunami no avanzó en tierra más allá de la línea de alta marea.



Foto N° 7.17.- Caleta Pescadores, el tsunami no avanzó en tierra más allá de la línea de alta marea.



Foto N° 7.18.- Sector del Rio Ocoña, observese el material arrastrado por el tsunami, altura de ola +/- 3.00 m., de altura



Foto N° 7.19.- Desembocadura del rio Ocoña, se puede observar el Run-up del tsunami



Foto N° 7.20.- Personal realizando mediciones de pendiente de playa Ocoña



Foto N° 7.21.- Personal realizando mediciones de pendiente de playa (Nivelación taquimetrica) Ocoña.



Foto N° 7.22.- Sur de Ocoña, el tsunami alcanzo la marca de marea alta



Foto N° 7.23.- Sur de Ocoña, el tsunami alcanzo la marca de marea alta, zona del cementerio antiguo

PLAYA CHIRA (Camaná Norte)



Foto N° 7.24.- Norte de Camana Playa La Chira. Se observa la marca de agua al pie del acantilado.

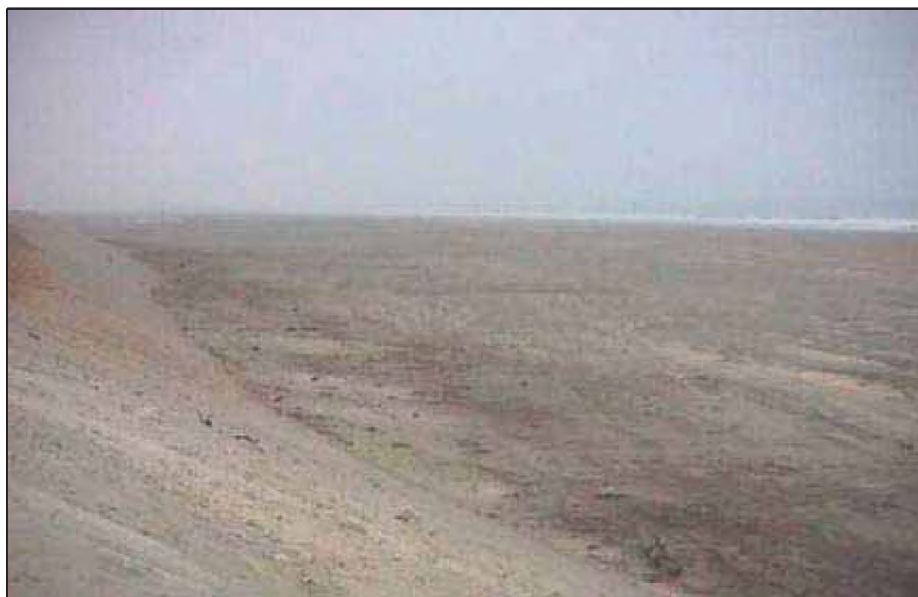


Foto N° 7.25.- Playa La Chira – zona inundada por el tsunami, nótese la marca de agua en el acantilado

PLAYA SANTA MONICA (Camaná Norte)

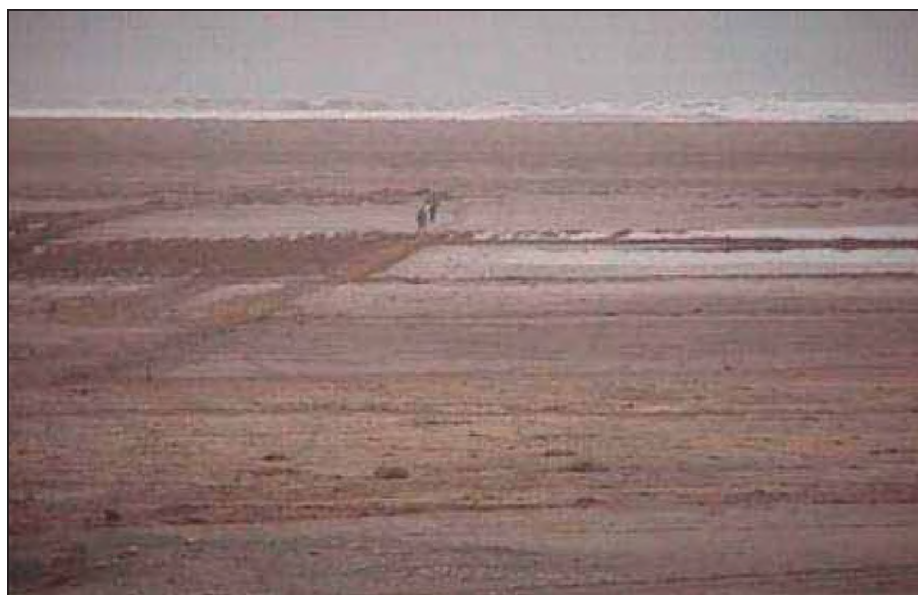


Foto N° 7.26.- Terreno de cultivo inundados por el Tsunami

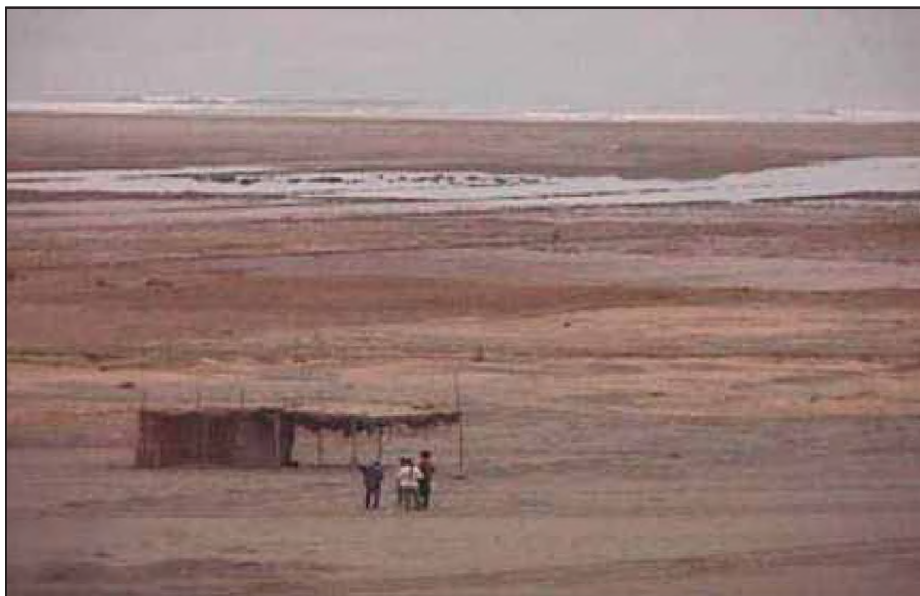


Foto N° 7.27.- Terreno de cultivo inundado por el tsunami, en la zona de Pucchuncillo, al norte de Camaná.

BALNEARIO PUCCHUN (Camaná Norte)



Foto N° 7.28.- Personal realizando levantamiento de perfil de playa



Foto N° 7.29.- Personal realizando levantamiento de perfil de playa, Run-up alcanzado por el Tsunami +/- 5.14 m., de altura.



Foto N° 7.30.- Terrenos de cultivo zona de Pucchun, el tsunami inundo casi 1.5 km.



Foto N° 7.31.- Terrenos de cultivo zona de Pucchun, el tsunami inundo casi 1.5 km.



Foto N° 7.32.- Zonas de cultivo El Chorro y La Dehesa, margen izquierda del rio Camana.



Foto N° 7.33.- Zonas de cultivo El Chorro y La Dehesa, cerca al margen izquierda del rio Camana, el tsunami penetro casi 1km., en esta zona

BALNEARIO EL CHORRO



Foto N° 7.34.- Zonas de cultivo El Chorro, cerca de la Carretera Panamericana Sur, el tsunami penetro casi hasta el borde de la carretera.



Foto N° 7.35.- Zonas de cultivo El Chorro, el tsunami penetro casi hasta el borde de la carretera.

BALNEARIO LA PUNTA



Foto N° 7.36.-Zona del Balneario de La Punta, pista costanera, totalmente destruida por el tsunami. Run-up 5.43 m.



Foto N° 7.37.- Zona del Balneario de La Punta, personal realizando levantamiento del perfil de costa.

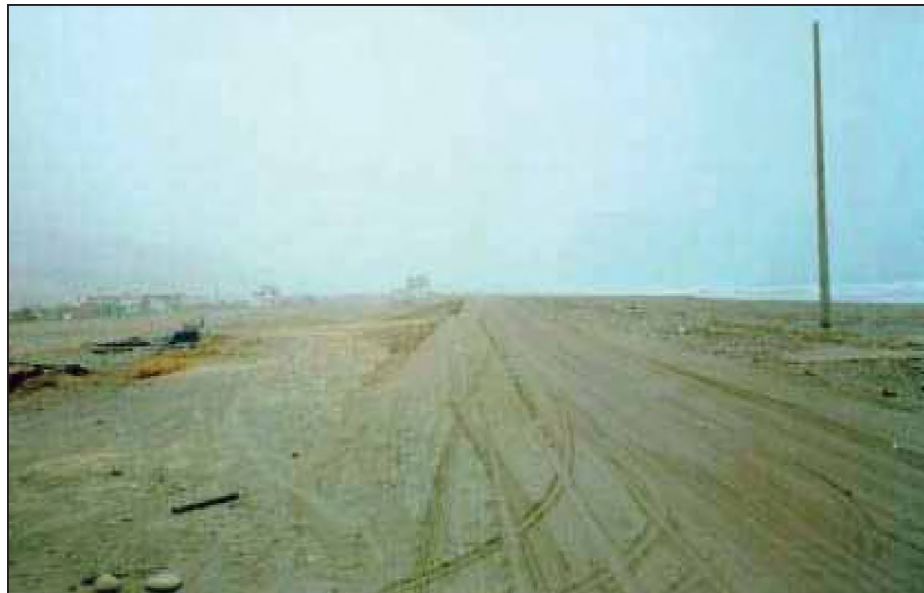


Foto N° 7.38.- Zona del Balneario de La Punta, pista costanera.



Foto N° 7.39.- Zona del Balneario de La Punta.

BALNEARIO LOS CERRILLOS

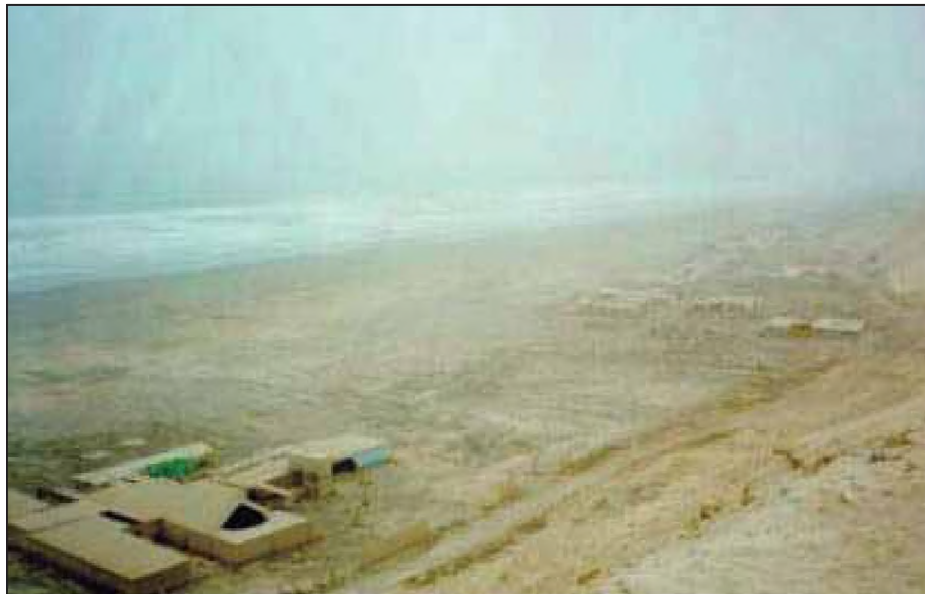


Foto N° 7.40.- Zona del Balneario de Los Cerrillos.



Foto N° 7.41.- Zona del Balneario de Los Cerrillos. Distancia horizontal de inundación +/- 172.60 m.

BALNEARIO LAS CUEVAS

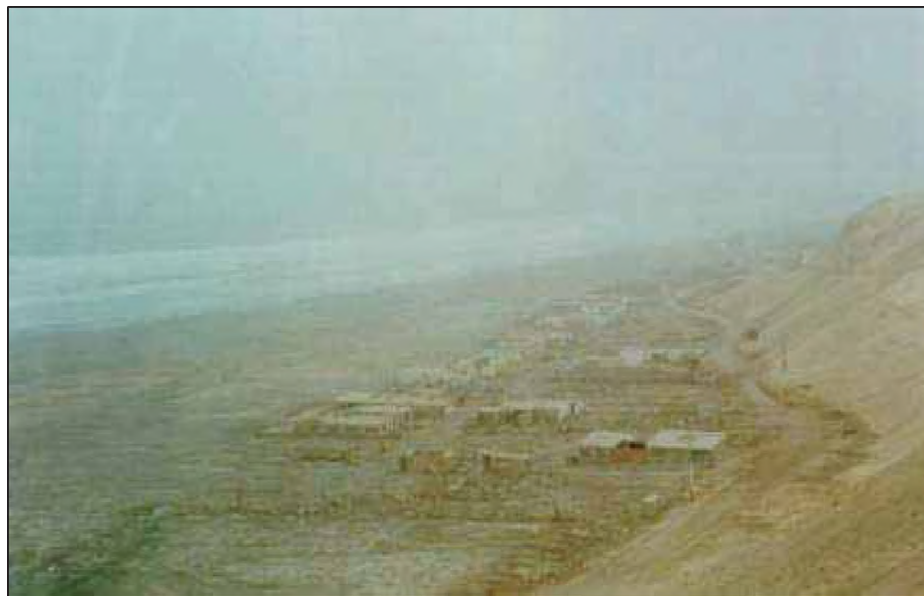


Foto N° 7.42.- Zona del Balneario de Las Cuevas. Run-up alcanzado por el tsunami 4.39 m., distancia de inundación 130 m.



Foto N° 7.43.- Zona del Balneario de Las Cuevas. Se observa el nivel alcanzado por la ola del tsunami.

CAMINO A QUILCA (Cerro El Pano)

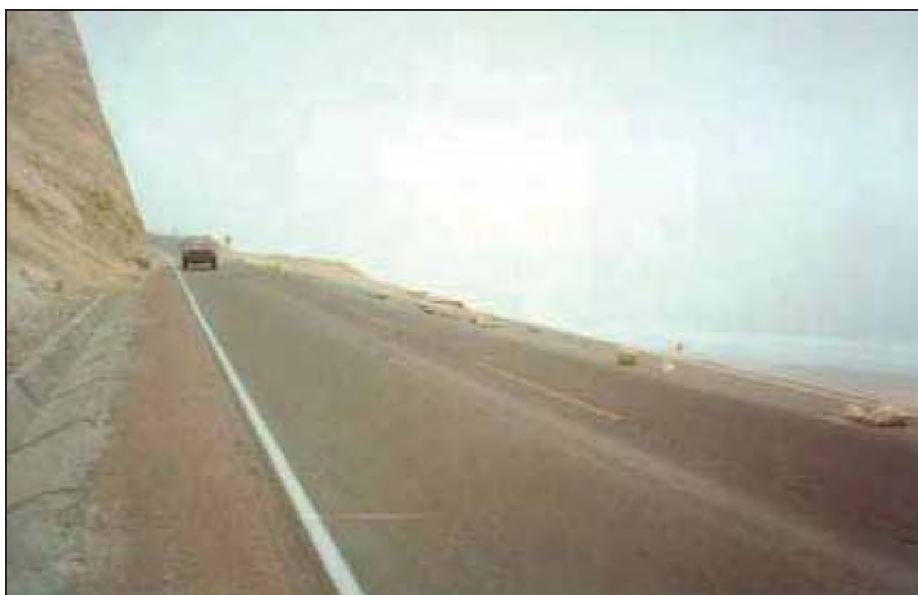


Foto N° 7.44.- Vista tomada hacia el Sur al extremo derecho la pista colapso debido al terremoto, nótese las rocas como señal de peligro.



Foto N° 7.45.- Vista tomada hacia el Sur la carretera en mal estado debido al terremoto.



Foto N° 7.46.- Vista tomada en Caleta Quilca.



Foto N° 7.47.- Vista tomada en Caleta Quilca. Se puede observar la marca del tsunami



Foto N° 7.48.- Estación mareográfica Puerto Matarani

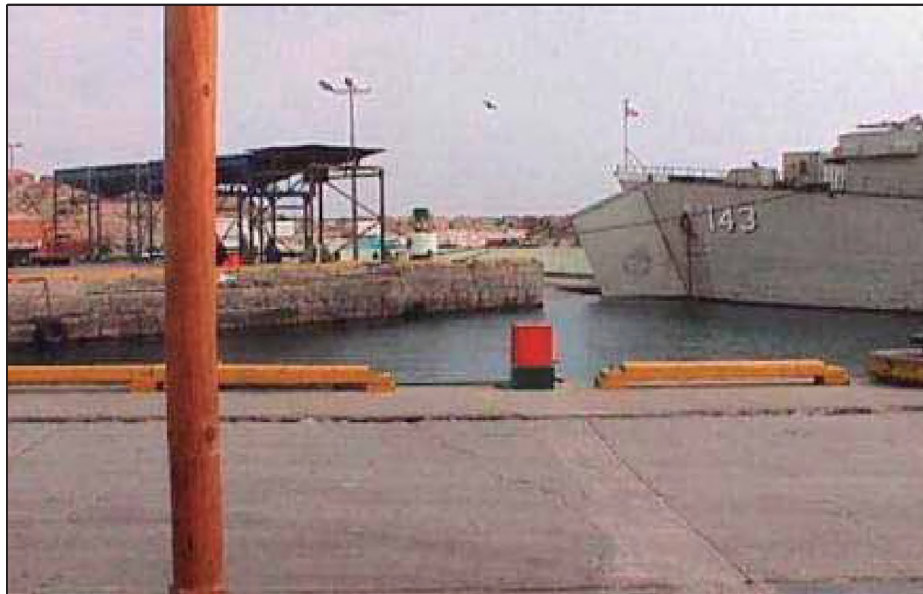


Foto N° 7.49.- Vista hacia el Sur del Muelle del Puerto de Matarani



Foto N° 7.50.- Recorrido de la nivelación en el Puerto de Matarani y efectuando reconocimiento de posibles evidencias del Tsunami.



Foto N° 7.51.- Recorrido de la nivelación en el Puerto de Matarani y efectuando reconocimiento de posibles evidencias del Tsunami.



Foto N° 7.52.- Recorrido de la nivelación en el Puerto de Matarani y efectuando reconocimiento de posibles evidencias del Tsunami.

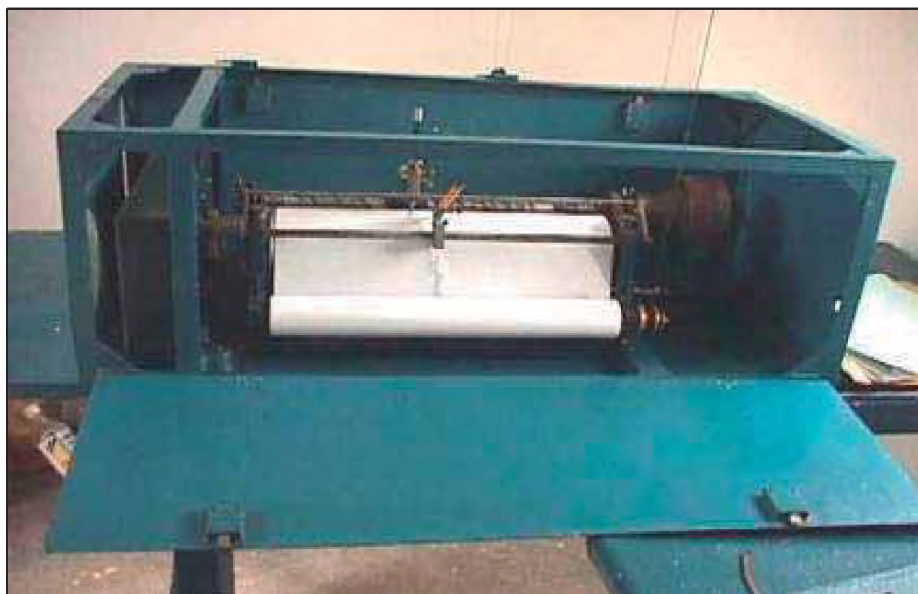


Foto N° 7.53.- Mareógrafo analógico del Puerto de Matarani.
Coordenadas: 16°9978'S; 72°1069'W

PUERTO DE MOLLENDO PLAYA 1 Y 2

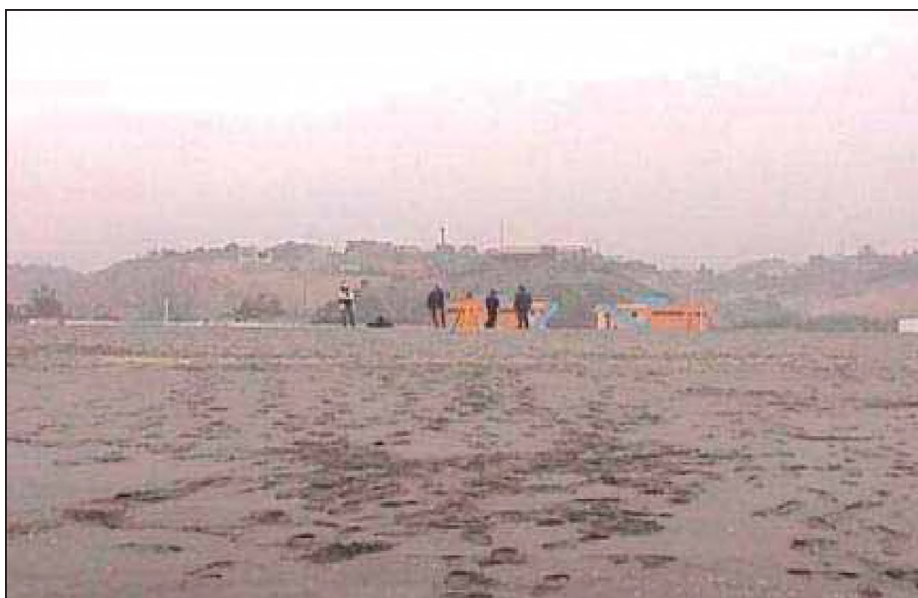


Foto N° 7.54.- Efectuando reconocimiento y buscando evidencias
sobre el Tsunami en Playa 1. Coordenadas: 17°01.932'S;
72°00.767'W



Foto N° 7.55.- Realizando la nivelación en la Playa 1, no se encontro evidencia del Tsunami, debido a la marea baja el Tsunami no paso la marca de la alta marea.

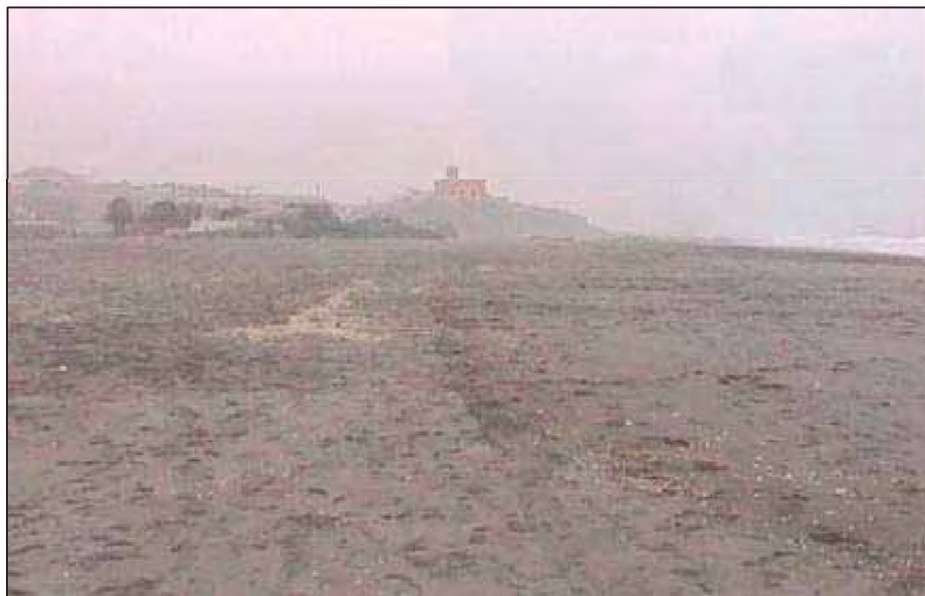


Foto N° 7.56.- Playa 1 , vista tomada de Norte a Sur, se puede apreciar la linea de alta marea hasta donde alcanzo el tsunami.

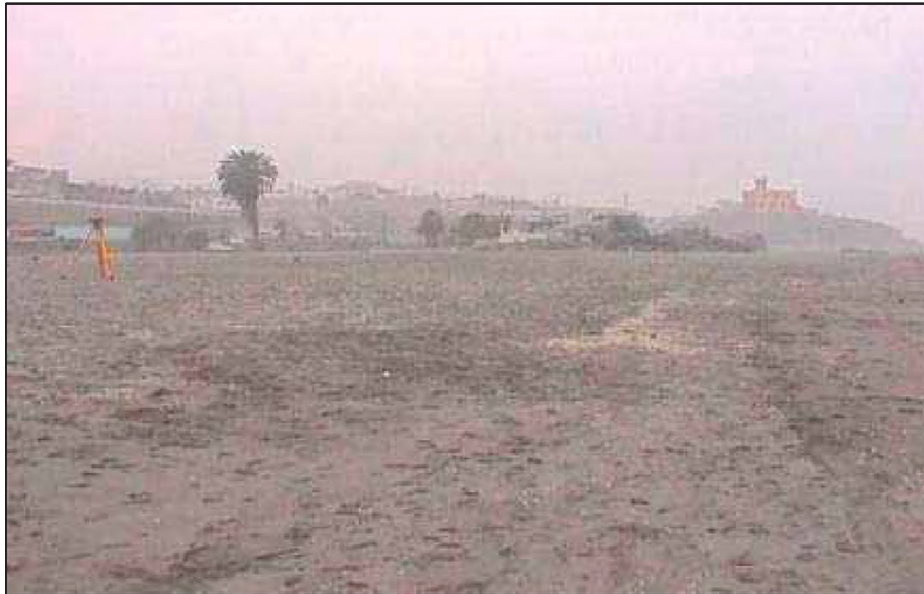


Foto N° 7.57.- Playa 1 se puede observar la marca de la línea de alta marea.



Foto N° 7.58.- Playa 2 el tsunami aquí también no pasó la marca de la línea de alta marea.



Foto N° 7.59.- Efectuando la nivelacion desde la linea de baja marea para obtener el transecto de la costa



Foto N° 7.60.- Playa al Sur de la desembocadura del Rio Ilo, se puede apreciar la marca del Tsunami a lo largo de la playa indicado por la flecha roja.



Foto N° 7.61.-Desembocadura del Rio Ilo, tambien se observa la marca del Tsunami a lo largo de la desembocadura indicado por la flecha roja.



Foto N° 7.62.- Playa al Sur de la Desembocadura de Rio Ilo o Boca del Rio



Foto N° 7.63.- Playa al Norte del antiguo hotel de Turistas, hoy hotel ILO, aquí también se puede apreciar las marcas del Tsunami, que no paso la linea de alta marea y solo fue una sola ola.



Foto N° 7.64.- Playa al Norte del antiguo hotel de Turistas, hoy hotel ILO, vista de Sur a Norte y hacia Boca del Rio



Foto N° 7.65.- Playa al Norte del antiguo hotel de Turistas, hoy hotel ILO, se observa la nivelación efectuada por la mayoría del equipo, la única ola que se observó fue de 2.68 m. De run-up con una inundación de 40.00 m.



Foto N° 7.66.- Buscando evidencias del Tsunami al norte del ex - Hotel de Turistas de Ilo, zona de Peña Blanca.

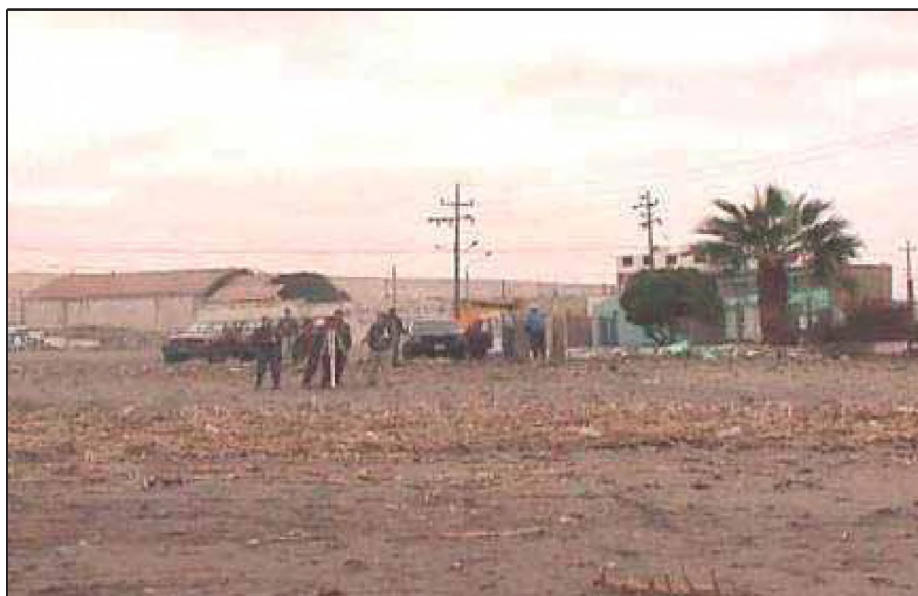


Foto N° 7.67.- Recorrido de la nivelación al norte del ex – Hotel de Turistas de Ilo, zona de Peña Blanca.

BOLIVIA MAR



Foto N° 7.68.- Vista de Sur a Norte, buscando evidencias del Tsunami, se puede observar que la ola del tsunami alcanzo el pie de monte del acantilado.



Foto N° 7.69.- Efectuando nivelación en el transecto de Bolivia Mar con ayuda de Brandon, la ola del tsunami alcanzo 2.33 m. Coordenadas: 17°44.458'S; 71°15.479'W



Foto N° 7.70.- Daniel Olcese efectuando nivelación en este transecto de Bolivia Mar, la ola del tsunami no paso la linea de alta marea.



Foto N° 7.71.- Terminando la nivelacion en el transecto de Bolivia Mar la ola penetro aproximadamente 72 m. de distancia.



Foto N° 7.72.- Brigada participante en el recorrido, de izquierda a derecha están: Vasily Titov, Enrique Bermúdez, Brandon Gomer, Fernando Vegas, Matthew Swensson, Modesto Ortiz, José Borrero, Emile Okal, Sebastián Araya, Lori Dengler, Shunichi Koshimura, Daniel Olcese y Gustavo Laos.

Capítulo 8 *Metodología para la elaboración de vías de evacuación y zonas de refugio en caso de Tsunamis*

8.1 Metodología a aplicar

Conjunto de normas y acciones que surgen para su aplicación, la misma que nos permite considerar los aspectos que deben ser abordados cuando se estudia una localidad. En el caso específico de tsunamis, este conjunto de normas y acciones constituyen delimitación de las vías de evacuación y zonas de refugio, así como la formulación de un plan de evacuación, que es una medida de protección por la cual pueden disponer las localidades costeras.

En este capítulo estableceremos una metodología que contiene los diferentes criterios y conceptos a emplearse para la elaboración del plan de evacuación. Tales criterios y conceptos a seguir serán expuestos de acuerdo al orden en que, suponemos, deberán ser tratados. Parte de la metodología que se menciona en este capítulo fue empleada en la elaboración de planes de evacuación para la costa central y sur del Perú. Aunque su eficacia no ha sido aun comprobada ante un tsunami real, también es cierto que los simulacros realizados en diferentes ciudades del Perú han demostrado que se pueden mitigar los daños.

8.2 Plan de Evacuación

La finalidad del plan es la evacuación pre-impacto de la población hacia zonas seguras previamente estudiadas y delimitadas, aportando seguridad y protección. Conocimientos adquiridos en otros países, señalan que la medida más efectiva para proteger a la población es evacuarla de la zona inundable. La evacuación de la población con ejercicios de simulacro es la práctica más eficaz para brindar una protección bien planificada.

El tiempo de llegada de la primera ola del tsunami a la costa y la altura de esta ola en el momento de la inundación, es el fundamento más importante para elaborar el Plan de Evacuación. Una vez obtenido estos datos se pueden emprender los siguientes pasos: localización y delimitación de la zona crítica o inundable, estudio de la situación local, zonas de refugio, rutas de evacuación y finalmente, la formulación del conjunto de acciones coordinadas a ejecutarse durante la evacuación.

8.2.1 Localización y Delimitación de la Zona Inundable (Run-up). En el área de estudio se delimita la zona que, de acuerdo a las características topográficas y de ubicación en relación con el mar, se estima será inundada por acción del tsunami.

Ocurre que en muchas ocasiones el límite de la zona inundada (run-up) ha coincidido con la altura de la ola en la costa; afirmación que no debe tomarse como referencia. El avance en tierra del tsunami es bastante complejo y normalmente no se puede predecir, por lo tanto se tiene un inconveniente de como limitar la zona de inundable con la mayor seguridad posible.

Una manera de resolver el problema consiste en limitar nuestra zona considerando los efectos de la pendiente del terreno, y la posible convergencia o divergencia de la energía del tsunami, que hacen que el valor del run-up varíe en ambos sentidos. Por lo cual es importante

determinar la altura que la ola del tsunami alcanzaría en la línea de costa. Esta altura de ola deberá considerar el caso más crítico de la variación del nivel de la marea que se presenta en la zona estudiada, la forma del litoral, y otros factores que influyen en el tamaño de esta.

8.2.2 Estudio de la Realidad Local. Se realizará el estudio y análisis en la zona previamente establecida. Asimismo, los diferentes aspectos a considerar son: El estado de las viviendas como el material de construcción de estas, estado de conservación de las vías, datos de población, localización de las áreas verdes, operatividad de los sistemas de agua, desagüe y energía eléctrica en general las condiciones socioeconómicas de la zona.

Este estudio comprende también la identificación y reconocimiento de las entidades de servicios de cada localidad como las Municipios, Comisaría, Estaciones de Bomberos, Centros de Salud, etc.

8.2.3 Zonas de Refugio. Los refugios son zonas o áreas donde se dará albergue a la población evacuada de las zonas críticas y las clasificaremos en refugios de emergencia y refugios temporales.

8.2.3.1 Refugios Temporales. Son áreas donde la población permanecerá algunos días o semanas, mientras dure la emergencia. La ubicación estará fuera del área o del límite inundable, estas deberán tener frente a las más importantes vías de evacuación o en la confluencia de varias de ellas. Se deberá escoger grandes áreas de terreno cuyo cambio temporal de función permitan continuar con las funciones urbanas como son producción, abastecimientos, transporte, etc. Estos refugios, deben estar preparados para proporcionar servicios básicos como alimentación, agua, abrigo, higiene, salud y otros. Pueden ser locales escolares o lugares abiertos como parques, que permiten albergar a un gran número de damnificados, facilitando la prestación de servicios.

Se recomienda que la organización dentro de un refugio temporal se realice bajo cuatro grandes áreas: administración, residencia, salud y servicios.

8.2.3.2 Refugios de Emergencia. Son edificaciones que poseen áreas disponibles con fines de refugio en niveles ubicados por encima de la altura de ola del tsunami en costa, deben poseer por lo menos una altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Están localizados en la zona inundable y, a pesar de ello, constituyen sitios de seguridad, debido a que los inmuebles poseen características como las presentadas a continuación:

1. Deben ser sismoresistentes, y en consecuencia después del sismo, no presenten daños o fisuras en sus elementos tales como vigas, columnas, placas y/o muros de albañilería.
2. Deben ser altos, lo suficiente para que permitan, que sobresalgan sobre el nivel máximo de inundación.
3. Deben ser construcciones de concreto y/o ladrillo, de modo que pueden resistir el efecto hidrodinámico de las olas, el impacto de pequeñas embarcaciones y presenten una cimentación que resista la erosión provocadas por las olas.

El objetivo primordial de estos refugios es ofrecer albergue a madres de familia, ancianos, personas discapacitadas, etc.; que no puedan abandonar la zona inundable. Para estimar la población que se

pueda albergar en una determinado edificación, se considera que cada persona ocupa un metro cuadrado promedio del área con fines de refugio.

Al respecto podemos indicar que han resistido a los tsunamis las estructuras de concreto reforzado y ladrillo, con muros paralelos a la dirección de avance de las olas, de tal manera que ofrezcan el menor frente posible a la presión hidráulica y con su cimentación protegida contra la erosión. En cambio, las construcciones ligeras de madera sin el debido anclaje a la cimentación han sido completamente destruidas. Lo mismo sucede con las construcciones de adobe y quincha.

En conclusión, para determinar los refugios de emergencia se deben considerar los siguientes aspectos:

- Ubicación y localización
- Tipo de uso
- Material de construcción
- Antigüedad
- Estado de conservación
- Tipo de cimentación y su profundidad
- Tipo de estructura
- Altura
- Áreas disponibles con fines de refugio
- Existencia de sistema de comunicación

8.2.4 Determinación de las Rutas de Evacuación. Estas rutas deberán permitir llegar a zonas de mayor cota topográfica lo más rápidamente posible. Se clasifican en principales y secundarias.

8.2.4.1 Rutas de Evacuación Principales. Son las rutas que reciban la mayor circulación de vehículos y peatones, provenientes ambos de la zona inundable o bien rutas de evacuación secundarias.

Las rutas principales de evacuación, deben cumplir con los siguientes condiciones:

- 1.- Deben tener pendiente ascendente.
- 2.- Deben poseer un ancho de vía apropiada de acuerdo a la población y tránsito vehicular, se designarán rutas de doble tráfico.
- 3.- Deben ser transitables después del sismo, de tal manera, que el derrumbe de las edificaciones que las bordean no las obstruyan.

También se debe designar para la evacuación vehicular el lado derecho de la ruta, saliendo de la zona de inundación; y el lado izquierdo para los peatones; ya que ese lado quedará libre al momento de darse la alarma, lo que impedirá el ingreso de vehículos a la zona de inundación.

8.2.4.2 Rutas de Evacuación Secundarias. Son rutas de evacuación peatonal como vehicular, son más estrechas que las rutas de evacuación principal. Estas rutas pueden ser utilizadas para evacuación directa o bien conducir el tránsito de vehículos y peatones hacia las rutas principales, en forma de rutas alternas. Para la definición de estas rutas dependerá de la localidad a

estudiar. Puede resultar, si la realidad local lo determina, que estas rutas asuman el rol de rutas principales.

En conclusión, para determinar la capacidad de servicio de una ruta de evacuación, lo primero será definir el tipo de servicio que prestará la ruta durante la evacuación y la zona a la que sirve principalmente; luego el recorrido que seguirá, sus dimensiones, perfil topográfico, estado de conservación y demás aspectos; y finalmente, definir el ancho utilizable y los puntos de probable obstrucción luego de ocurrido el desastre.

8.2.5 Ejecución de las acciones coordinadas durante el proceso de evacuación de la población. Estas acciones se realizarán mediante la colaboración de las llamadas Brigadas de Emergencia del Instituto Nacional de Defensa Civil y de grupos organizados de los diferentes sectores institucionales o del gobierno local, así como pobladores voluntarios debidamente entrenados y capacitados.

La organización de la evacuación de una localidad se llevará a cabo con la ayuda de la difusión general de una Cartilla de Prevención ante Tsunamis, que debe contener las instrucciones básicas que se deben seguir, las cuales se refieren al riesgo relativo de ataque de tsunami que afronta cada zona dentro de una localidad, las rutas de evacuación cuyo uso se recomienda y la ubicación de las zonas de seguridad. Las instrucciones deberán ser difundidas entre la población y se espera que estas acciones incrementen la participación de la población durante la evacuación.

El responsable de realizar los simulacros y dirigir la evacuación en caso de producirse tsunamis, es el jefe de Defensa Civil de la respectiva jurisdicción. Por ley, en las capitales provinciales y distritales, son los respectivos alcaldes. La Marina de Guerra, que mediante las capitanías controla los principales puertos de nuestro litoral, es uno de los principales participantes en todas las fases de preparación para hacer frente a los tsunamis. Las tareas a cumplirse durante el período de evacuación serán las siguientes:

1. Efectuar la rápida evacuación de personas que se encuentren en colegios, centros asistenciales, albergues, asilos y otros inmuebles.
2. En lo posible, mantener libres de obstáculos las vías de evacuación controlando que no ingresen vehículos a la zona crítica.
3. Encaminar en forma eficiente el tránsito peatonal y vehicular durante la evacuación, en función de la localización de los refugios.
4. Rescatar y evacuar hacia zonas de seguridad a los heridos a consecuencia del sismo.
5. Organizar la recepción de la población evacuada en los refugios de emergencia.

Las Brigadas de Emergencia deben organizarse y clasificarse como: brigadas de alarma y comunicaciones, brigadas de evacuación general, brigadas de vías o rutas de escape, brigadas de transporte y colaboración vehicular, brigadas de inspección de seguridad y refugio, brigadas de rescate y primeros auxilios, brigadas contra incendios y daños materiales. El mismo nombre de las brigadas nos dice la función que van a desempeñar.

Capítulo 9 **Plan de evacuación para el Balneario de Camaná**

9.1 Introducción

Uno de los objetivos de esta tesis es la formulación del plan de evacuación para la ciudad de Camaná. Para las otras localidades que se encuentran dentro de la zona de estudio, la formulación de planes de evacuación deberá seguir el mismo procedimiento que el empleado para Camaná, acorde con la metodología propuesta en el Capítulo 8.

La altura y tiempo de llegada de la primera ola a la costa fueron determinados haciendo uso de los planos batimétricos de cada región, los cuales fueron proporcionados por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (HIDRONAV).

9.2 Plan de Evacuación del Balneario de Camaná

De acuerdo con la metodología propuesta, se formula el plan de evacuación para la ciudad de Camaná. También se realiza la evaluación de los posibles efectos y daños debido a un futuro evento.

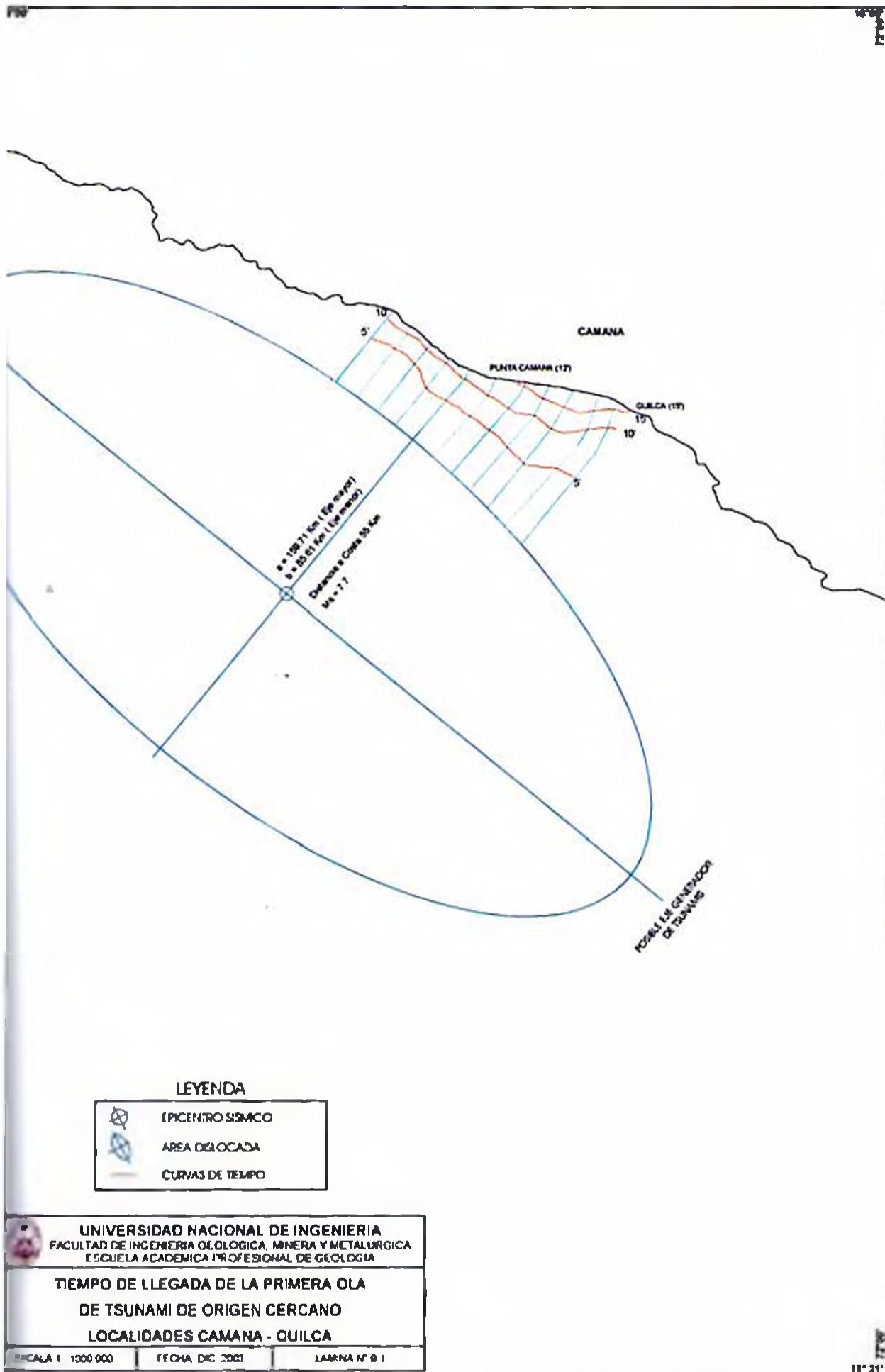
9.2.1 Formulación del Plan de Evacuación

- a) *Cálculo del Tiempo de Llegada de la Primera Ola a la Costa.* El tiempo de llegada se calculará en forma gráfica, trazando para ello la respectiva Curva de Refracción (la metodología para su elaboración fue enunciada en el Capítulo 5). El tiempo que se calcule corresponderá al caso en que se ubique el epicentro del sismo justo frente a Camaná, buscando de esta manera obtener el tiempo crítico de llegada de la primera ola a la costa. Para esto debemos conocer la posición del probable eje de generación de tsunamis en nuestra zona de estudio. Esta posición la podemos determinar basándonos en el registro de los grandes sismos que afectaron dicha zona, empleando para ello el mapa de sismicidad y alineamiento elaborado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Luego de realizar el análisis mencionado, se muestra en la Lámina 9.1 la ubicación de este eje referido a un sistema de coordenadas. En la misma lámina se muestra gráficamente que el tiempo de llegada de la primera ola a la costa es de 15 minutos. Este tiempo es el que dispone la población de los distritos Mariscal Cáceres, Camaná y Samuel Pastor para evacuar la zona de inundación.

- b) *Cálculo de la Altura de Ola.* El cálculo de la altura de ola H , que será de utilidad para determinar la zona de inundación, en los distritos antes mencionados, se estimará inicialmente con la fórmula empírica de Yamaguchi. Así, aplicando esta fórmula desde la entrada de la onda desde la isóbata de los 100 metros y apoyándonos en un plano batimétrico, obtenemos que la altura inicial h es 6.7 metros.

Cuando la ola ingrese a la costa de la provincia de Camaná estará sometida a perturbaciones locales, como la pendiente del terreno y otras. Una de las perturbaciones será la fricción por la pendiente del terreno y la podemos determinar haciendo uso de la metodología descrita en el Capítulo 5.

Lo anterior nos muestra que los tsunamis afectarían de modo variable, en lo que respecta a la gravedad de los daños, la costa de la provincia de



Camaná. Otro factor importante que incidirá en la gravedad de los daños en determinadas zonas, es el ángulo con que ingresaría el frente de onda a la costa.

Sin embargo, para fines de trabajo, se puede considerar una altura de ola promedio h_p de 6.7 m. En consecuencia, la altura H estará determinada de la siguiente manera:

$$H = h_p + v_m + o_f$$

h_p = calculada por Yamaguchi, que es igual a 6.7 m.

v_m = corresponde a la variación del nivel del mar. Para el caso de Camaná es característico que en pleamar sea de 0.46 m (Tabla de Mareas, HIDRONAV).

o_f = otros factores como bravezas de mar, etc; 0.94 m. (Datos estadísticos de la División de Mareas, HIDRONAV)

En consecuencia:

$$H = 6.7 \text{ m} + 0.46 \text{ m} + 0.94 \text{ m}$$

$$H = 8.10 \text{ m}$$

Según el trabajo de campo desarrollado después del tsunami se halló un Run-up de 8.14 m. en la Playa La Chira hacia el norte de la costa de la provincia de Camaná y al sur del balneario de Camaná en el distrito Samuel Pastor, se observó una tendencia a decrecer la altura de la ola, debido a la fricción entre 5.5 a 6.7 m.

- c) *Determinación de la Zona de Inundación y el Límite Inundable.* La zona de inundación se determinó haciendo uso de la metodología propuesta para tal fin en el Capítulo 5. En este caso está considerando que la altura de ola decrecería con una pendiente de 1/100 debido a efectos de fricción hacia el norte (playas del distrito Mariscal Cáceres) y centro (zona agrícola), y 1/200 para el balneario de Camaná (distrito de Samuel Pastor).

Al aplicar el método anterior, se determinó que el límite de la zona de inundación y el máximo límite inundable quedan atrapadas por los acantilados hacia el Norte y Sur de Camaná. Hacia el centro el tsunami entraría por el río y recorrería una mayor distancia hasta que la fuerza de fricción lo anule al igual que en la zona agrícola de Camaná el límite de inundación será mayor. Estos límites se muestran en el mapa N° 9.2.

- d) *Estudio de la Realidad Local*

d.1) *Uso Actual de la Zona Costera Inundable.* En la actualidad, las principales actividades económicas que se desarrollan en los distritos costeros de la provincia de Camaná se concentra dentro de la zona inundable. Una inspección de la zona nos permite ver 3 sectores claramente diferenciados, los cuales se muestran en el mapa N°9.3. En ella, el sector 1 corresponde al distrito de Mariscal Cáceres zona donde se encuentran playas como La Chira, Jahuay, etc y zonas agrícolas. El sector 2 corresponde mayoritariamente a viviendas dentro de la zona agrícola, escuelas. El sector 3 corresponde también a viviendas, pero se caracteriza por que en ella se desarrolla las actividades de recreo, numerosos hoteles, clubes, restaurantes, discotecas, casas de veraneo etc., por lo que allí muchas de las construcciones son de varios pisos. En los límites de este último sector se encuentra las instalaciones la urbanización Las Cuevas, la cual también fue afectada por el tsunami.

Cabe resaltar que la costa de Camaná sufre, de manera importante, los efectos de la braveza del mar cuando éstas se presentan. Por esto, el problema de erosión está afectando a muchas de las viviendas y pistas cercanas que se encuentran lindando con el mar, principalmente las del sector 2 y 3.

- d.2) *Material de Construcción.* En el sector 2 las viviendas son generalmente de un sólo piso. El material empleado para la construcción de las viviendas es variado. Así se puede notar la presencia de viviendas hechas con material noble, predominando las construcciones de adobe y observándose algunas de madera. En el sector 3 la mayoría de las edificaciones están hechas con material noble y son de varios pisos. Estas edificaciones se encuentran a lo largo del balneario lindando con el mar y la carretera Panamericana Sur, estas edificaciones en su mayoría fueron arrasadas y erosionadas por el tsunami, quedando solo en pie las que tuvieron una muy buena cimentación.
- d.3) *Colegios, Postas Médicas e Iglesias dentro de la Zona de Inundación.* Respecto a los colegios, Postas Médicas se encuentran fuera de la zona inundable, correspondiendo a colegios estatales, solo en el balneario se encuentra una Iglesia que fue arrasada.
- d.4) *Estado de las Vías.* Las vías utilizadas para el tránsito vehicular y peatonal en el sector 1 y sector 2 son trochas de un solo sentido, ya sea entrando o saliendo de la zona inundable. Desde el sector 3 hacia adelante se nota la presencia de vías afirmadas y asfaltadas de doble sentido, antes del tsunami según testigos estuvieron en buen estado de conservación, estas fueron arrasadas.
- d.5) *Datos de Población.* Según el INEI, la población nominalmente censada en Camaná fue de 29,082 habitantes en 1993. La proyección estimada para 2002 señala 32,000 habitantes, concentrados principalmente en 2000 Km².
- d.6) *Condiciones Económicas de la Población Afectada* El lugar con mayor capacidad de recuperación en caso de desastre corresponde al sector 3 donde se encuentra el balneario de Camaná y es la más vulnerable ante el ataque de tsunamis por estar ubicada muy cerca al mar. En los sectores 1 y 2 que son las zonas agrícolas se estima que los daños producidos por el impacto del tsunami serán de fuerte a moderado, debido a que corresponde en su gran mayoría a la población de menor capacidad económica y en el vértice de la bahía. La ayuda deberá ser orientada principalmente a esos lugares.
- d.7) *Presencia de Algún tipo de Defensa.* Desgraciadamente la ciudad de Camaná no se encuentra protegida por una defensa natural que constituya una barrera que le permita funcionar como un enorme muro de contención capaz de restar energía y dispersar la onda del tsunami. Solo en la desembocadura del río Camaná se ha formado hacia ambas márgenes y en la línea costera una barrera natural de piedras hacia el Sur y barra de arena hacia el Norte de 3 a 4 msnm, que en el caso de un tsunami local evitaría su penetración.
- e) *Determinación de los Refugios Temporales y Vías de Evacuación.* Está en función de la máxima zona de inundación que pueda producirse en Camaná, y cuya demarcación ya fue determinada. Después de analizar las posibles vías de evacuación y refugios temporales en la zona de estudio, las cuales se muestran en el mapa N° 9.4.

9.2.2 Puesta en Funcionamiento del Plan de Evacuación El Plan entrará en funcionamiento cuando se determine la posibilidad de un alerta real de tsunami. Si este es de origen lejano, el factor tiempo deja de ser primordial, por lo que la evacuación puede efectuarse en forma ordenada y tranquila. Pero si el tsunami es generado por un sismo muy fuerte, con epicentro cerca a la costa, el factor tiempo resulta ser muy importante debido al poco tiempo que se demora en llegar la primera ola del tsunami. En este caso el sismo es la primera señal de alerta, un sismo cuyas características sean iguales o mayores a las referidas a continuación, puede originar tsunami: si es difícil permanecer de pie, si es difícil conducir autos y, si hay derrumbes en edificaciones o acantilados. En general, si el sismo tiene intensidad mayor o igual a VIII en la escala de Mercalli Modificada. De producirse el caso anterior, se deberá evacuar la zona inundable en forma inmediata a través de las vías de evacuación señaladas en el mapa N°9.4 y en dirección a los refugios temporales. El tiempo de permanencia en esos lugares dependerá de las características del tsunami. Apuntes históricos señalan al respecto, considerando la ocurrencia de un gran tsunami, que las olas más altas son en número de 10 a 15, después de las cuales se observa que la amplitud decrece notoriamente. Si se asume que el periodo de estas olas es de 30 minutos, entonces el mar estará perturbado unas 7 á 8 horas. Sin embargo, los diversos daños que el tsunami pudiera causar en la zona inundable, obligan a una permanencia razonable en los refugios de 24 horas.

9.2.3 Estimación de los Posibles Efectos

- a) Población Damnificada. La población damnificada, en caso ocurra un tsunami con las características asumidas, se estima conociendo el área inundable. Del mapa N°9.4 estimamos que el área inundable es 28.6 Km² de área. Si consideramos que los 32,000 habitantes se hallan concentrados principalmente en 704.40 Km², obtenemos 45 hab/Km² que multiplicados por 28.67 Km² dan como resultado 1290 damnificados. Si consideramos la población proyectada obtenemos 1,500 damnificados. Sin embargo, de presentarse el tsunami en día de verano y a la misma hora, la población afectada será mucho mayor, aproximadamente unas 35,000 personas que veranean en un día sábado o domingo.
- b) Viviendas Afectadas. De acuerdo con lo que venimos diciendo, las viviendas de los sectores 2 y 3 serán las más afectadas; primero por la ocurrencia del sismo previo y segundo por el impacto del tsunami. En el sector 3 estos daños serán mayores por la densidad de edificaciones, y estas no muestran gran resistencia, debido a la mala cimentación y el tipo de terreno (arena). Lógicamente que los mayores daños, debido al impacto del tsunami, se producirán en aquellas viviendas ubicadas frente al mar, y a medida que el tsunami penetre en tierra los daños causados serán por inundación.
- c) Daños a Instalaciones Portuarias y Embarcaciones. Las instalaciones portuarias más cercanas a Camaná son Caleta Quilca y el puerto de Matarani por el Sur y por el Norte Caletas Planchada y Atico serán los más afectados debido a que sus posiciones están cerca al epicentro. El tsunami del 23 de Junio del 2001 en el puerto de Matarani se canalizó en la rada interior del puerto vaciando el puerto por el boquerón del mismo en forma de remolino, quedando numerosas embarcaciones menores ladeadas hacia el sur por el vaciado o retiro del mar, posteriormente regreso la mar lentamente para volver a su nivel normal. En Caleta Quilca el retiro de la mar fue lento para luego llenarse lentamente hasta la altura de aproximadamente 1.5 a 2 msnm causando daño material a embarcaciones y a varias edificaciones que estaban muy cerca de la orilla. El comportamiento del tsunami hacia el Norte en las Caletas

Planchada y Atico fue un retiro de la mar lento y al cabo de algunas horas regreso a su nivel normal. Es muy probable que aquel comportamiento se repita debido a la geomorfología costera, siendo el caso más desfavorable cuando el epicentro del terremoto que genere un tsunami impacte directamente contra las instalaciones del puerto o caleta. Las embarcaciones que se encuentran a lo largo de la bahía serán varadas tierra adentro debido a la fuerza de la ola, impactando luego contra las edificaciones del puerto y acantilados.

- d) *Análisis de la Capacidad de Servicio de los Hospitales.* Indudablemente que en cualquier situación de desastre, la demanda superará a la oferta. Aun en situaciones actuales, se verificó que la capacidad de servicio de los hospitales es insuficiente, por lo que la instalación de postas médicas provisionales, luego de ocurrido el desastre, se hace necesaria en función de la población damnificada que hemos determinado en caso de tsunamis. Estas quedarán instaladas en los refugios temporales que ya hemos determinado y cuyas ubicaciones se muestran en el mapa N°9.4.

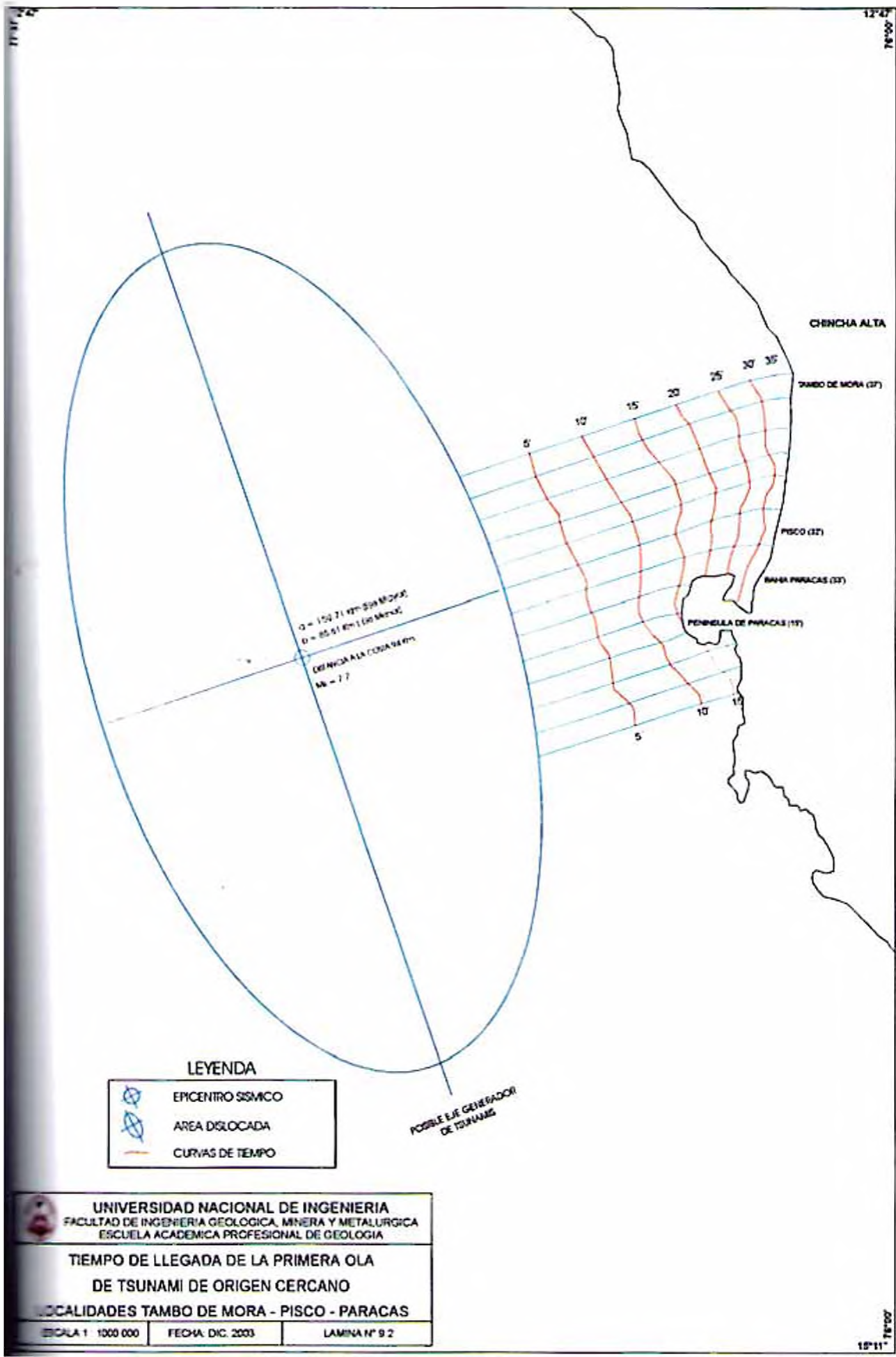
9.3 Otras Localidades

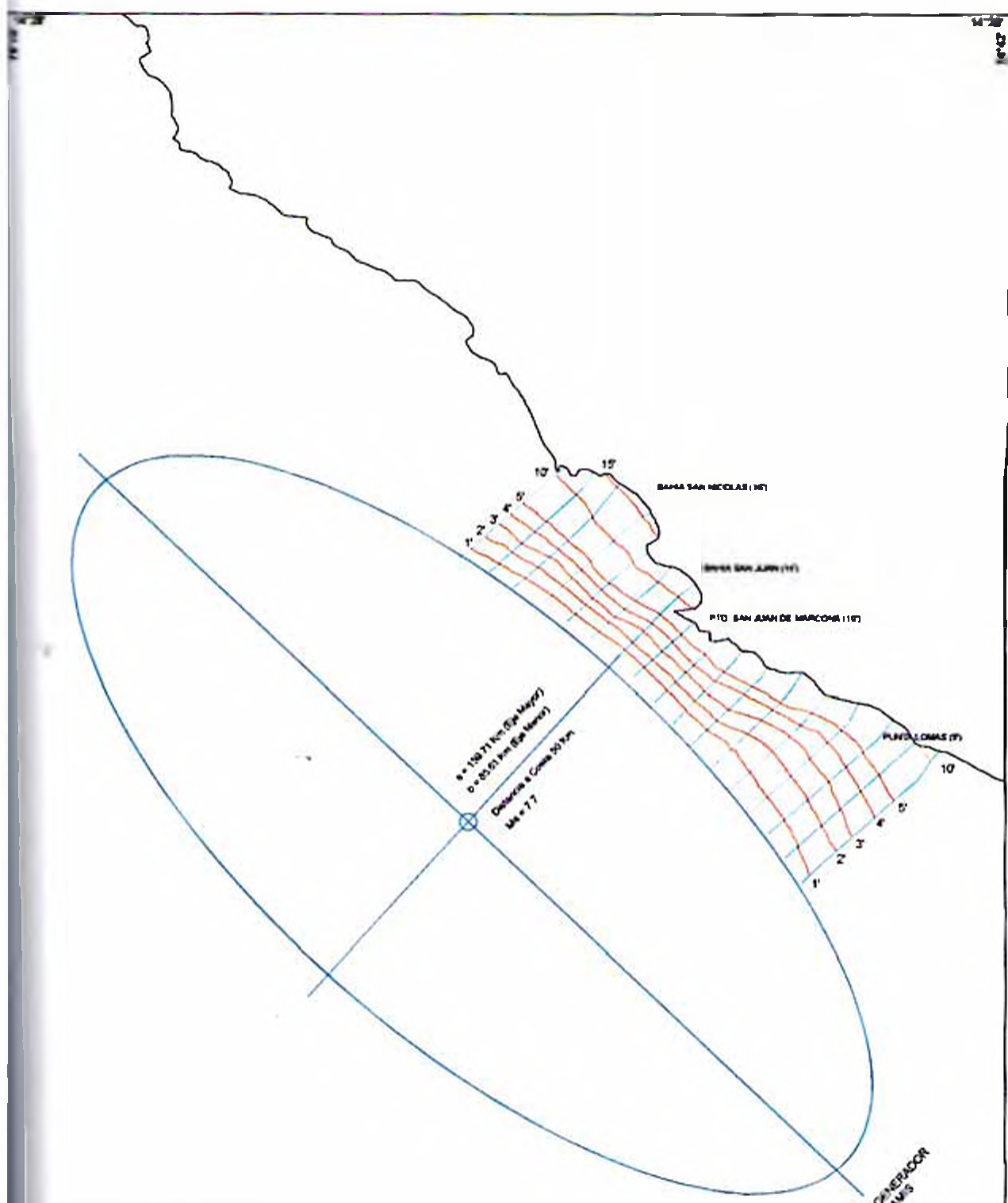
En la Tabla N° 9.1 se da los tiempos de llegada de la primera ola de las localidades estudiadas. Este tiempo se obtiene empleando el mismo procedimiento: se asume un sismo con epicentro frente a las costas de estos lugares, se determina la elipse de generación y luego se procede a trazar los frentes de ondas. Al asumir el epicentro frente a las costas buscamos obtener el tiempo crítico (mínimo) de llegada de la primera ola a la costa. En las láminas 9.1; y de la 9.5 a la 9.9 se observa gráficamente este procedimiento.

**TABLA N° 9.1
TIEMPO DE LLEGADA DE LA PRIMERA OLA A LA COSTA**




EPICENTRO FRENTE A:	TIEMPO MINUTOS	ALTURA OLA (m)	LAMINA N°
PISCO	42'	6.0	9.5
BAHIA DE PARACAS	33'	6.5	9.5
PENINSULA DE PARACAS	15'	6.7	9.5
BAHIA SAN NICOLAS	16'	6.7	9.6
BAHIA SAN JUAN	14'	7.1	9.6
PUERTO SAN JUAN	10'	7.2	9.6
PUNTA LOMAS	09'	10.1	9.6
PUNTA ATICO	06'	11.4	9.7
PUNTA PESCADORES	06'	11.1	9.7
CALETA PLANCHADA	05'	8.8	9.7
PUNTA CAMANA	12'	6.7	9.1
CALETA QUILCA	15'	7.7	9.1
MATARANI	05'	10.1	9.8
PUNTA ISLAY	04'	11.6	9.8
MOLLENDO	10'	9.1	9.8
PUNTA MEJIA	10'	7.9	9.8
VALLE DEL TAMBO	15'	6.1	9.8
PUERTO ILO	10'	8.5	9.9
PUNTA COLES	05'	10.7	9.9
CALETA SAMA	09'	6.3	9.9
LA YARADA	11'	5.3	9.9
BALNEARIO SANTA ROSA	11'	4.7	9.9

(*) Altura de ola determinada usando la fórmula empírica de YAMAGUCHI

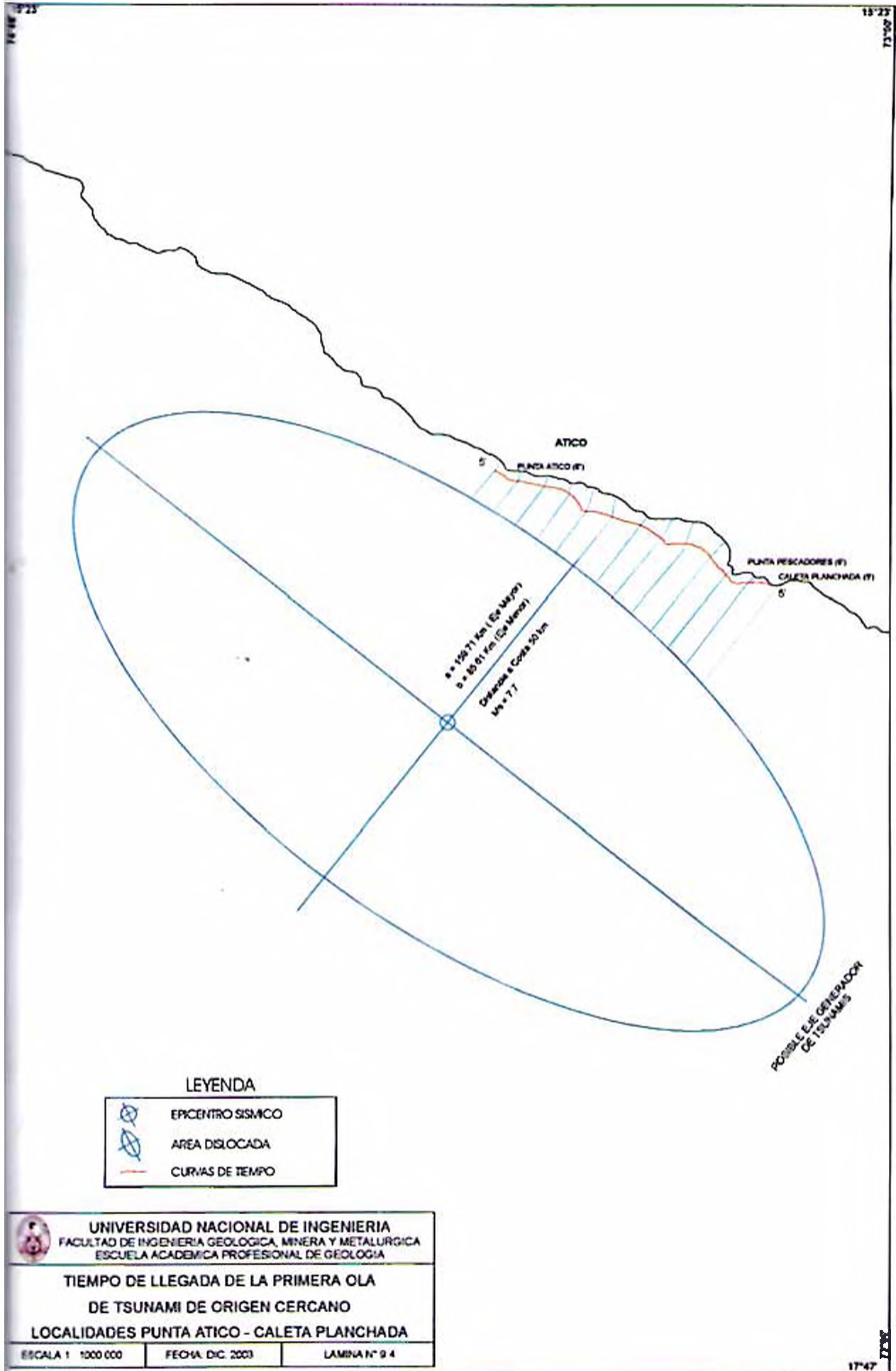




LEYENDA

	EPICENTRO SISMICO
	AREA DE OCADA
	CURVAS DE TIEMPO

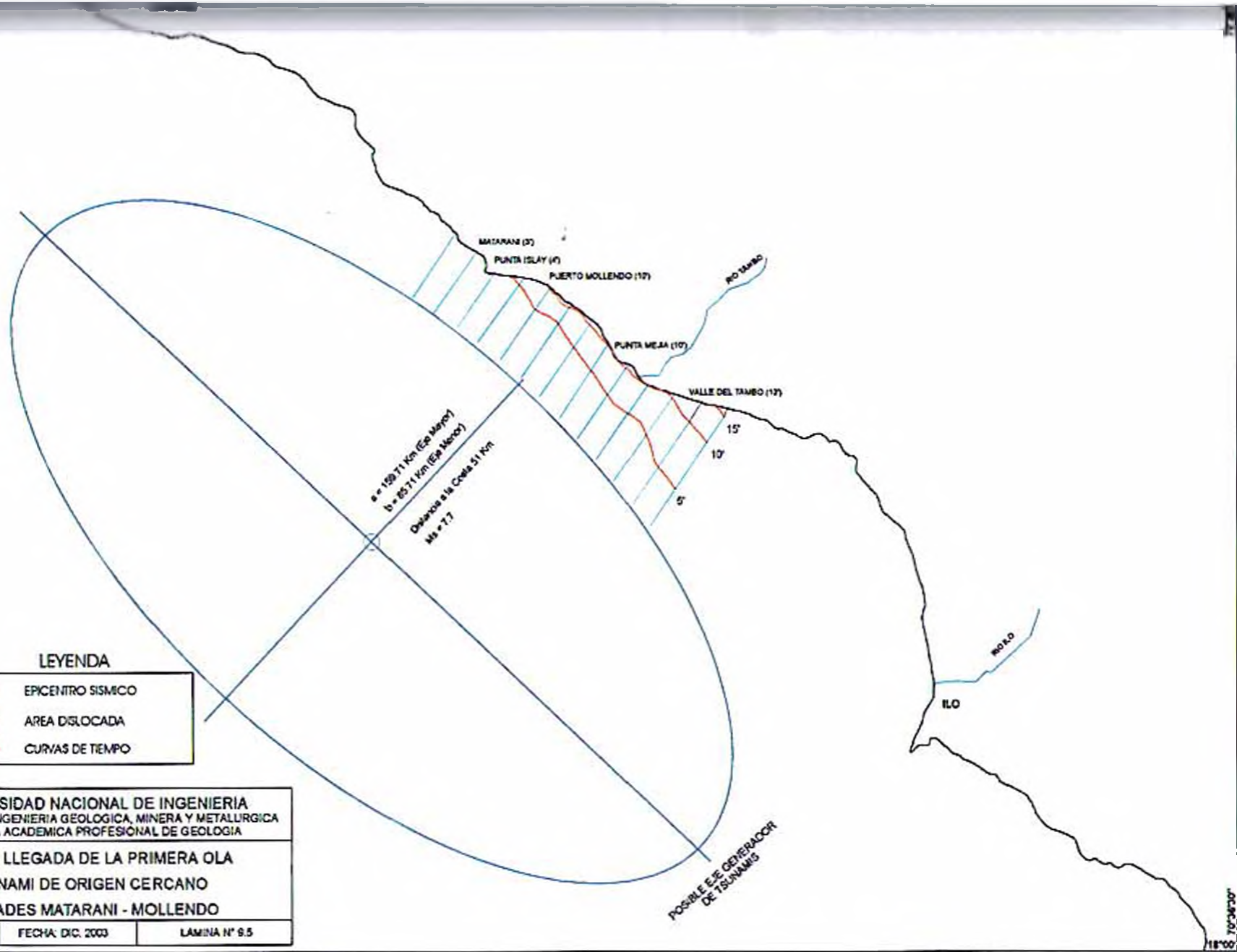
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE GEOLOGIA		
TIEMPO DE LLEGADA DE LA PRIMERA OLA DE TSUNAMI DE ORIGEN CERCANO LOCALIDADES BAHIA SAN NICOLAS - SAN JUAN		
ESCALA 1 : 1000 000	FECHA DIC 2000	LAMINA Nº 03



LEYENDA

	EPICENTRO SISMICO
	AREA DISLOCADA
	CURVAS DE TIEMPO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE GEOLOGIA		
TIEMPO DE LLEGADA DE LA PRIMERA OLA DE TSUNAMI DE ORIGEN CERCANO LOCALIDADES PUNTA ATICO - CALETA PLANCHADA		
ESCALA 1 : 1000 000	FECHA: DIC. 2003	LAMINA N° 9 4



$a = 159.71 \text{ Km (Eje Mayor)}$
 $b = 45.71 \text{ Km (Eje Menor)}$
 Desplazamiento a la Criba 31 Km
 $M_s = 7.7$

LEYENDA

-  EPICENTRO SISMICO
-  AREA DISLOCADA
-  CURVAS DE TIEMPO

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE GEOLOGIA	
	TIEMPO DE LLEGADA DE LA PRIMERA OLA DE TSUNAMI DE ORIGEN CERCANO LOCALIDADES MATARANI - MOLLENDO	
	ESCALA 1: 1000 000	FECHA: DIC. 2003

146

70°36'30"






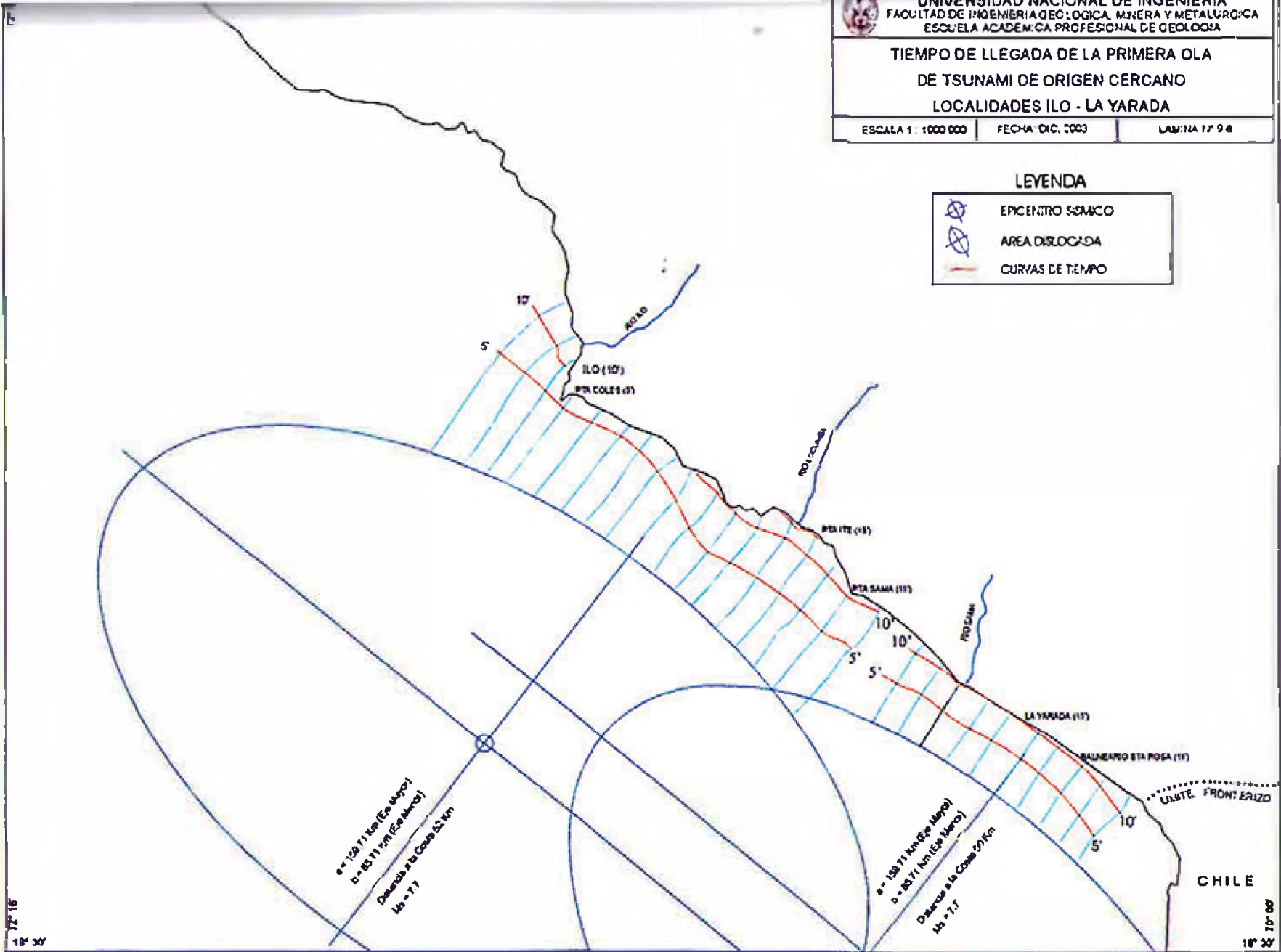
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA
 ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE GEOLOGIA

TIEMPO DE LLEGADA DE LA PRIMERA OLA
 DE TSUNAMI DE ORIGEN CERCANO
 LOCALIDADES ILO - LA YARADA

ESCALA 1 : 1000 000 | FECHA: DIC. 2003 | LAMINA 17 9 8

LEYENDA

-  EPICENTRO SISMICO
-  AREA DISLOCADA
-  CURVAS DE TIEMPO



$e = 129 71 \text{ km (Epi Mayor)}$
 $h = 83 11 \text{ km (Epi Menor)}$
 Distancia a Coque 271 km
 $l_0 = 7.1$

$e = 139 71 \text{ km (Epi Mayor)}$
 $h = 83 71 \text{ km (Epi Menor)}$
 Distancia a Coque 271 km
 $l_0 = 7.1$

Capítulo 10 Conclusiones y Recomendaciones

Los estudios realizados en campo y gabinete nos llevan a indicar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1) El tsunami registrado el 23 de Junio 2001 fue generado por un sismo cuya magnitud fue de $M_s=7.7$. Las coordenadas del epicentro del sismo fueron $17^{\circ}12'36''S$ y $73^{\circ}01'12''W$, distante 71.20 Km al SW de la ciudad de Camaná y a 56.90 Km de la fosa, teniendo como profundidad focal 29 km. La columna de agua por encima de la zona de ruptura fue de 2250 m aproximadamente (Carta Batimétrica Hidronav). Estos resultados indican que la ubicación del epicentro del sismo donde se origina la ruptura es la zona estadísticamente donde ocurren la mayoría de sismos superficiales y de magnitud mayor de 6.5° en la escala de Richter y cercanos a la fosa.
- 2) De acuerdo a lo anterior, se concluye que la magnitud y profundidad focal de los sismos pueden ser datos insuficientes para determinar la presencia de tsunamis destructivos en la costa. Los resultados obtenidos luego de analizar anteriores tsunamis en nuestra zona de estudio indican que el tirante de agua por encima de la zona de ruptura influye en la generación de tsunamis destructivos locales. Por esta razón, se piensa que los futuros eventos que ocurran tendrán mayores posibilidades de ser destructivos localmente si es que el sismo generador se ubica en aguas poco profundas y cercanas a costa. Si tomamos en cuenta que en nuestra zona de estudio la profundidad de 2250 m se encuentra, en promedio, a 70 km de la costa, se deduce entonces que lo anterior puede darse para aquellos sismos que ocurran entre la isobata de los 2000 m y la costa. Por lo tanto, se concluye que las características de los tsunamis en nuestra zona de estudio están influidos en gran medida, por la altura de agua encima de la zona de ruptura y cercanía de la costa.
- 3) Para aquellos tsunamis destructivos que se pudieran generar cerca a la costa (entre el litoral y la isóbata de los 2000 metros), se ha calculado que entre 10 a 20 minutos estaría llegando la primera ola. En este caso, la alerta lo constituye la intensidad del sismo, siendo ésta generalmente de VIII MM. Es de esperar, como se ha mencionado, que las correspondientes alturas de agua sean las requeridas como para que se generen tsunamis destructivos.
- 4) Las tres olas registradas para el tsunami en estudio permiten deducir una instantánea dislocación del fondo oceánico, la cual puede darse por un sismo de fuerte magnitud y epicentro cercano a la costa. Esta característica del tsunami refuerza, pues, los resultados que se han obtenido acerca de las características del sismo generador.
- 5) La principal alerta contra tsunamis lo constituye un sismo cuya intensidad en la costa sea mayor o igual a VIII MM. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los tsunamis, después de ocurrido el terremoto suele ser precedido por un aumento o disminución del nivel de la marea fuera de lo normal, razón por la cual, esta señal debe ser la principal alerta contra tsunamis.
- 6) El material empleado en la construcción de las viviendas de muchas de las localidades estudiadas, así como la posición de éstas localidades respecto al mar, determinan un alto riesgo de desastre ante la ocurrencia de sismos y tsunamis. Esta situación obliga, pues, a intensificar las campañas de prevención. En ese sentido, los cálculos efectuados en esta tesis, como son el tiempo crítico de llegada de la primera ola del tsunami y la altura que tendría en la costa, son un aporte esencial para la Defensa Civil Peruana.

- 7) Uno de los objetivos de esta tesis fue la formulación del plan de evacuación en caso de tsunamis para las zonas agrícolas, balnearios, caletas y playas de Camaná (Playas La Chira, Jahuay, Pucchun, Pucchuncillo, El Chorro, La Punta, Los Cerrillos y Las Cuevas). De acuerdo a ese objetivo se determinó que el tiempo de llegada de la primera ola a la costa sería de 12 minutos, siendo éste el tiempo que dispone la población para evacuar la zona inundable. Así mismo, las dos brigadas internacionales en las cuales participe, hizo cálculos de la altura de ola en costa, al norte en la Playa La Chira fue de 8.77 m, en la parte central por la Playa El Chorro fue de 4.89 m y al sur en la Playa Las Cuevas fue de 4.39 m. Delimitada la zona de inundación, se observó que el límite de la zona de inundación y el máximo límite inundable quedaban muy cerca de la Panamericana Sur. En el lado norte la marca de agua dejada por el tsunami en las laderas de los acantilados permitió delimitar estas playas fácilmente, en la zona agrícola de Pucchun, parte central, se observó la inundación de sus campos de cultivos y la marca de agua permitió delimitar esta zona al igual que en el balneario de Camaná, hacia el Sur.
- 8) En la actualidad, una de las principales actividades económicas que se desarrollan en Camaná (agricultura y turismo) se concentra dentro de la zona inundable. Una inspección de la zona nos permite ver 3 sectores claramente diferenciados, las cuales se muestran en la Figura 10.1. En ella, el sector 1 corresponde a las Playas del Norte de Camaná. El sector 2 corresponde mayoritariamente al poblado de Pucchun haciendas, agrícolas, viviendas y escuelas. El sector 3 corresponde al balneario de Camaná con viviendas de playa, pero se caracteriza por que en ella se desarrolla las actividades turísticas con, numerosos clubes, hoteles, restaurantes, discotecas e Iglesias etc., por lo que allí muchas de las construcciones son de varios pisos. Este estudio por sectores permitió determinar que los lugares con mayor capacidad de recuperación en caso de desastre corresponden al sector 2 donde se encuentran las zonas agrícolas. El sector 1 se encuentra las Playas La Chira y Caleta La Chira que también se encuentran dentro de esta categoría. En el sector 3 donde se sitúa el balneario de Camaná se estima que los daños producidos por el impacto del tsunami han sido y serán muy severos, corresponde en su gran mayoría a la población de mayor capacidad económica, es la más vulnerable ante el ataque de tsunamis por estar ubicada frente al mar y a lo largo de la línea de costa. Es por eso que la ayuda deberá ser orientada principalmente a ese lugar.
- 9) De acuerdo con lo que venimos diciendo, las viviendas del sector 2 y 3 serán las más afectadas; primero por la ocurrencia del sismo previo y segundo por el impacto del tsunami. En el sector 3 los daños serán mayores, debido a que estas edificaciones no han mostrado gran capacidad de resistencia. Lógicamente que los mayores daños, debido al impacto del tsunami, se producirán en aquellas viviendas ubicadas frente al mar, y a medida que el tsunami penetre en tierra los daños causados serán por socavamiento, erosión de cimientos e inundación.
- 10) Las instalaciones de todo el Balneario de Camaná serán las más afectadas debido a que su posición está frente al mar paralelas a la línea de costa. El tsunami del 23 de Junio del 2001 se canalizó por la entrada del Río Camaná penetrando kilómetro y medio desde la línea de costa, inundando extensos campos de cultivo cerca de la costa, produciendo mucho daño material a estos campos. Es muy probable que aquel comportamiento se repita debido a la configuración de esta parte de la costa, siendo el caso más desfavorable cuando el tsunami impacte directamente contra el balneario de Camaná. Las embarcaciones que se encuentran a lo largo de la bahía haciendo faena de pesca, serán llevadas tierra adentro debido a la fuerza de la ola, impactando luego contra las edificaciones. En este caso la medida recomendable es que las embarcaciones se internen mar adentro. Al respecto, se ha verificado que estando a 15 brazas de profundidad no sufrirán daño.

- 11) Parte de las actividades comerciales públicas y turísticas se desarrollan dentro de la zona inundable determinada para Camaná en caso de tsunamis. Así mismo, hay colegios que se ubican en esta zona. Se ha estimado un aproximado de 1500 habitantes la población que se vería en peligro en época de invierno y aproximadamente en época de verano 25,0000 habitantes (bañistas y población de la zona). Por lo tanto, se recomienda efectuar simulacros de evacuación en caso de sismos y tsunamis. El plan de evacuación para Camaná, formulado en esta tesis, también es un aporte para la Defensa Civil Peruana para tal fin.
- 12) Indudablemente que en cualquier situación de desastre se incrementará la demanda de atención médica. Aún en situaciones actuales, se verificó que la capacidad de los hospitales es insuficiente, la instalación de postas médicas, luego de ocurrido el desastre, se hace necesaria en función de la población damnificada en caso de tsunamis calculada en esta tesis. Estas quedarán instaladas en refugios temporales que determine la Defensa Civil Peruana.
- 13) Se recomienda formular planes de evacuación para las otras localidades dentro de la zona de estudio. El procedimiento debe ser el utilizado en esta tesis. Como contribución para la Defensa Civil Peruana, se ha calculado el tiempo de llegada crítico de la primera ola a la costa, que es el tiempo que dispone la población para evacuar la zona inundable, así como la altura que tendría en la costa, con lo cual se estima la zona potencialmente inundable. Estas informaciones son importantes, por que a partir de ellas se formulan los planes de evacuación.
- 14) Se recomienda a las autoridades locales conjuntamente con la Defensa Civil Peruana la planificación de las zonas costeras. Como esto sólo puede realizarse si existe la voluntad política de hacerlo, es necesario entonces intensificar las campañas de educación entre las autoridades locales y pobladores locales sobre qué son los tsunamis y los efectos que pueden ocasionar en la costa.
- 15) Debido a que el Sistema Internacional de Alerta contra Tsunamis determinó que no se habían generado tsunamis destructivos como consecuencia de los sismo del 23 de Junio del 2001 en Arequipa, y del 17 de Julio de 1998 en Papua Nueva Guinea, es recomendable que el Sistema de Alarma Local contra Tsunamis incremente su capacidad operativa con el fin de tener más posibilidades de detectar aquellos tsunamis (de origen cercano) que serán destructivos en nuestra costa. En ese sentido, los resultados de esta tesis son un aporte para tal fin.
- 16) Es recomendable que la Marina de Guerra, a través de las Capitanías de Puerto, tenga una mayor participación en las campañas de prevención contra estos fenómenos, intensificando la difusión con folletería, videos, seminarios y charlas en todas las localidades que se encuentran en zonas bajas frente al mar.
- 17) La época del año en que se presentan las condiciones más desfavorables para incrementar la altura de ola de los tsunamis corresponde a los meses de invierno; donde las bravesas de mar debido a cambios climáticos son frecuentes, debiendo considerarse además el nivel de la marea en el momento de la inundación.
- 18) La tesis propone una metodología que permitirá reproducir gráficamente la propagación de cualquier tsunami ocurrido en el pasado con sólo tener como dato el tiempo que llegó la primera ola a la costa. Reproducir la propagación del tsunami significará obtener información respecto del sismo previo al tsunami, tales como epicentro, magnitud, etc.; y de esta manera identificar cuáles son las zonas del fondo oceánico donde es muy posible que se generen futuros eventos.
- 19) Se espera que los resultados de esta tesis contribuyan al conocimiento de los sismo-tsunamis, y sean de utilidad para la Defensa Civil Peruana para adoptar las medidas de prevención que se efectúen contra los desastres que ocasionan los tsunamis.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abe, K., 2001. "Tsunami magnitude." <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/abe/MtO10623.html>.
- Abe, K., 1979. "Size of great earthquakes of 1837-1974 inferred from tsunami data," *Journal of Geophysical Research*. 84:1561-1568.
- Adams G. I. 1906, Caudal, procedencia y distribución de aguas en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Bol. Del Cuerpo de Ing. De Minas del Perú N°45, Lima.
- Aida, Isamu, Numerical Experiments for the tsunami propagation – the 1964 Nigata tsunami and 1968 Tokachi - Oki tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute, vol. 47, pp. 673 - 700. Tokyo, Japan, 1969.
- Bellido E., Narváez 1960, Geología del Cuadrángulo de Atico (33-o). Comisión Carta Geológica Nacional, 53 pág., 14 fot., 1perf., 6 fig., 1 mapa.
- Bellido, Simons, Sociedad Geológica del Perú. Memoria explicativa del Mapa Geológico del Perú.
- Bolt, Bruce A, Earthquakes, University of California, Berkeley, 1978.
- Borrero, J., 2002. "Field survey of the June 23, 2001 earthquake and tsunami in Southern Peru," *Solutions to Coastal Disasters '02*. Proceedings edited by L. Ewing and L. Wallendorf. American Society of Civil Engineers, International Tsunami Survey Team.
- Bourgeois , J., C. Petroff, H. Yeh, V. Titov, CE Synolakis, B. Benson, J. Kuroiwa, J. Lander, and E. Norabuena, 1999. "Geology setting, field survey and modeling of the Chimbote, northern Peru, tsunami of 21 February 1996," *Pure and Applied Geophysics*. 154:513-540.
- Caldas, J. (1979) Complejo metamórfico de Illescas. Bol. Soc. Geol. Perú. 63:217-236.
- Castillo, J., Peligro Sísmico en el Perú, Tesis de Título Profesional, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, 1994.
- Ceresis, Terremotos Destructivos en América del Sur 1530-1984, Proyecto SISRA, Volumen N°10, 1985.
- Delgado, C., R. Gomero, H. Salzwedel, L. Flores y G. Carbajal 1987 Distribución de los sedimentos en el margen continental peruano. Bol. Inst. Mar Perú 11(5).
- Delgado, C. y R. Gomero 1995. Atlas Sedimentológico de la Plataforma Continental Peruana. Inf. Inst. Mar Perú. 110: 5-31.
- Delgado, Alberto y GARCIA, Celia, Plan de Evacuación de Ciudades Afectadas por Tsunamis, Zona La Punta-Pucusana, Tesis de Grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1982.
- Dengler, L. and J. Preuss, 2002 in press. "Mitigation lessons from the Papua New Guinea tsunami of 17 July 1998." *Pure and Applied Geophysics*.
- Dorbath, L., A. Cisternas, and C. Dorbath, 1990. "Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru," *Bulletin of the Seismological Society of America*. 80:3:551-576.

Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis, División de Geofísica. Callao 1970.

Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis, Boletín de Tsunamis, Lima, División de Geofísica. Callao 2000.

Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis, Evaluación de Riesgo de Tsunami de Origen Cercano para la Costa del Perú. División de Geofísica. Callao 1999.

Earthquake Spectra, The Professional Journal of the Earthquake Engineering Research Institute, Supplement a to Volume 19: Southern Perú Earthquake of 23 June 2001 Reconnaissance Report. Technical Editors: Adrian Rodriguez-Marek, Curtis Edwards. January 2003.

Gelfenbaum, G., B. Jaffe, M. Nongkass, and H. L. Davies, 2001. "Sedimentary deposits from the 17 July 1998 Papua New Guinea tsunami," *Proceedings of the International Tsunami Symposium 2001* (IIS 2001) (on CD-ROM). Pacific Marine Environmental Laboratory, NOAA, Session 2, Paper 2-13:449-452.

Geist, E., 2001. "Preliminary analysis of the tsunami generated by the 23 June 2001 Perú earthquake." <http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/Peru01.htm>

Hoffman, I., E.A. Okal, and CE Synolakis, 2002. "Systematics of the distribution of tsunami runup along coastlines in the near-field for dislocation sources with variable parameters (abs)." *Eos Transactions*. American Geophysical Union. Vol.83.

Hotari, Tokutaro, Vertical Trusdal Deformation and Tsunami Energy, Bulletin of the Earthquake Research Institute. Vol. 48, pp. 171 - 188, Tokio, Japan, 1982.

Htdb/Pac, 2001. *Historical tsunami database for the Pacific, 47BC - 2000 AD*. (CD-ROM) Tsunami Laboratory, ICMMG SD RAS, Novosibirsk, Russia.

Indeci, 2001; *Resumen final de daños en distritos afectados por el sismo del 23-06-01 y sub-siguientes ocurridos en el del país*, Instituto Nacional de Defensa Civil. Lima, Perú, <http://www.indeci.gob.pe/resumdist27nov08h.btm>.

Instituto Geofísico del Perú–Centro Nacional de Datos Geofísicos. Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en Perú. Isabel Bernal, Hernando Tavera. Lima, Perú 2002

Instituto Geofísico del Perú – Centro Nacional de Datos Geofísicos. Compendio de Trabajos de Investigación realizados por Estudiantes durante el año 2002 Vol. N°4. Lima, Perú 2002

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – Centro Nacional de Datos Geofísicos. Compendio de Trabajos de Investigación realizados por Estudiantes durante el año 2002 Vol. N°4. Lima, Perú 2002

Instituto Nacional de Minería. 1977. Mapa geológico del Perú. Escala 1:1000,000

Jenks, W.F. 1948, Geología de la Hoja de Arequipa. Instituto Geológico del Perú, Bol. 9.

Kajiura, K., Tsunami Energy in Relation to Parameters of Earthquake model, Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Japan, 1981.

- Kikuchi, M. and Y. Yamanaka, 2001. "EIC seismological note number 105", http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_news/105E.html.
- Koshimura, S. y V. Titov, 2001. "Preliminary model results for the 23 June 2001 Peruvian tsunami," *Proceedings of the International Tsunami Symposium 2001 (ITS 2001)*, CD-ROM. Pacific Marine, Environmental Laboratory, NOAA. Session 2, Paper 2-2:379.
- Kuroiwa, Julio, Tsunamis - Efecto sobre las costas de Lima Metropolitana. Lima, Perú, 1983.
- Kuroiwa, Julio, Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza. Lima, Perú, Enero 2002.
- Lisson, C.I. 1925, Como se generó el suelo peruano. Bol. Soc. Geol. Del Perú. T. 1 Lima.
- Lockridge, P., 1985. *Tsunamis in Peru-Chile, Report SE-39*, World Data Center A for Solid Earth Geophysics. U.S. Department of Commerce, National Geophysical Data Center.
- Lomnitz, C. and R. Cabré, 1968. "The Peru Earthquake of October 17, 1966," *Bulletin of the Seismological Society of America*. 58(2):652-656.
- Macharé, J., M. Sebrier, D. Huamán y L. Mercier 1986 Tectónica Cenozoica de la margen continental peruana. Bol. Soc. Geol. Perú 76:45-77.
- NEIC, 1996. *Preliminary determination of epicenters*. National Earthquake Information Center, Golden Colorado.
- Newell, N.D. 1956 Reconocimiento Geológico en la región Pisco-Nazca. Bol. Soc. Geol. Del Perú, T. 30. Lima.
- Okal, E., L. Dengler, S. Araya, J. Borrero, B. Gomer, S. Koshimura, G. Laos, D. Olcese, M. Ortiz, M. Swensson, V. Titov, and F. Vegas, 2002. "Field survey of the Camaná, Peru tsunami of June 23, 2001," *Seismological Research Letters*. 73(6):907-920.
- Pitcher W.S. 1972, The Coastal Batholith of central Peru: Some structural aspects. 24 Th. I.G.C. Section 2.
- Ries, A.C. (1976) Rb/Sr. ages from the Arequipa Massif, Southern Perú.
- Ruegg W. 1952, The Camana Formation and its bearing on the Andean post-orogenic uplift. Bull. Assoc. Suisse des geol et Ing. Du Petrole, vol 19, N°57, p. 7-12
- Samamé M., J. Castillo y A. Mendencia. 1985. Situación de las pesquerías demersales y los cambios durante "El Niño". En: El Niño, su impacto en la fauna marina. Bol. Inst. Mar Perú. Vol. Extraordinario: 153-158.
- Schweigger, E. 1964. El litoral peruano. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima
- Segundo Congreso Geológico Chileno, Año 1979. Evolución Neógena del Piedemonte Pacífico de los Andes sur del Perú.
- Solov'ev, S.L. and C .N. Go, 1975. "Catalog of tsunamis on the eastern shore of the Pacific Ocean" (in Russian). Nauka, Moscow 308. [Translated by the Canadian Institute for Scientific and Technical Information, National Research Council, Ottawa, Canada.

Steinmann, G. 1930 Geología del Perú. Traducción castellana por J.A. Broggi de Geologie von Perú. Heidelberg.

Synolakis, CE, J.P. Bardet, J.C. Borrero, H.L. Davies, E.A. Okal, E.A. Silver, S. Sweet, and D.R. Tappin, 2002. "The slump origin of the 1998 Papua New Guinea tsunami," *Proceedings of the Royal Society* (London). Ser. A 458:763-789.

Swenson, J.L. and S.L. Beck, 1996. "Historical 1942 Ecuador and 1942 Perú subduction earthquakes, and earthquake cycles along the Colombia-Ecuador and Peru subduction segments," *Pure and Applied Geophysics*. 146:67-101.

Tanioka, Y., L.J. Ruff, and K. Satake, 1996. "The recent large tsunamigenic earthquakes" (abs), *Eos Transaction*. American Geophysical Union 1996 Spring Meeting, 77:S 184.

Teves, N. y E. Evangelista. 1974. Las 200 millas de mar territorial peruano y sus fondos marinos. Bol. Soc. Geol. Perú 53:59-74

Torburgn, T. y L. Kulm. 1981. Sedimentary basins of the Perú Continental margin: Structure, stratigraphy and Cenozoic tectonics from 6° S to 16° S latitude. Geol. Soc. Am. Mem. 154: 393-422

The Tsunami Commission of the International union of geodesy and geophysics (IUGG), Proceedings of the International tsunami Symposium, British Columbia Canada, 1987.

Tsuji, Y., F. Imamura, H. Matsutomi, C. Synolakis, P. Nanana, Jumadi, S. Harada, S. Sub Han, K. Arai, B. Cook, 1995. Field survey of the East Java earthquake and tsunami of June 3, 1994," *Pure and Applied Geophysics*. 144(3/4):839-854.

UNDHA/GENEVA, Tsunamis: Evacuación de la Población y Planes de uso del Suelo para Mitigar sus Efectos. Localidades estudiadas en el Perú entre 1981 y 1994, Revisado y publicado por INDECI y la Marina de Guerra del Perú, Lima, Perú, 1994.

U.S. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA); Unesco Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC); International Tsunami Information Center (ITIC); Laboratoire de Geophysique, France (LDG), Tsunamis, The Great Waves, Hawaii, U.S.A., 1975, revisado y reimpresso 2002.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 2.1 Estructuras de la corteza continental Peruana.....	14
FIGURA N° 2.2 Mapa del mundo que muestra las placas tectónicas	14
FIGURA N° 2.3 Morfoestructura de la costa Peruana.....	17
FIGURA N° 2.4 Corte esquemático de la morfoestructura de la costa Peruana.....	17
FIGURA N° 2.5 Mapa del mundo que muestra la relación entre las placas	30
FIGURA N° 2.6 Muestra vacíos de terremotos en el margen Pacífico.....	31
FIGURA N° 3.1 Causas principales de generación de Tsunamis.....	35
FIGURA N° 3.2 Esquema general del proceso de subducción.....	36
FIGURA N° 3.3 Zona de subducción inter-placas tectónicas.....	36
FIGURA N° 3.4 La Placa Continental se deforma lentamente.....	36
FIGURA N° 3.5 El terremoto ocurre cuando la Placa Continental se libera	37
FIGURA N° 3.6 Una parte del tsunami se dirige a las tierras cercanas.....	37
FIGURA N° 3.7 Parámetros característicos de los Tsunamis.....	40
FIGURA N° 3.8 Representación esquemática del avance del tsunami.....	43
FIGURA N° 4.1 Proceso de convergencia de placas	48
FIGURA N° 4.2 Proceso de evolución de la Cordillera.....	49
FIGURA N° 4.3 Principales rasgos tectónicos.....	50
FIGURA N° 4.4 Principales unidades geomorfológicas.....	51
FIGURA N° 4.5 Localización de sismos históricos entre 1513 y 1959.....	54
FIGURA N° 4.6 Mapa de la sismicidad en Perú.....	55
FIGURA N° 4.7 Esquema del modelo de subducción de la placa de Nazca.....	56
FIGURA N° 5.1 Parámetros de la fórmula de Yamaguchi.....	65
FIGURA N° 5.2 Determinación del run-up primera aproximación.....	68
FIGURA N° 5.3 Determinación del run-up corrección por pendiente < 1/50.....	68
FIGURA N° 5.4 Determinación del run-up corrección por pendiente > 1/50.....	68
FIGURA N° 6.1 Mapa de Intensidades del terremoto del 23 de junio del 2001.....	72
FIGURA N° 6.2 Registro mareográfico del Puerto de Matarani.....	76
FIGURA N° 6.3 Registro mareográfico del Puerto de Callao.....	77
FIGURA N° 7.1 Datos de campo del tsunami.....	89
FIGURA N° 7.2 Zonas afectadas en el litoral Sur Peruano.....	91

INDICE DE FOTOS

FOTO N° 2.1 Complejo Basal de la Costa.....	21
FOTO N° 2.2 Estratos de limolitas del Grupo Ambo.....	22
FOTO N° 2.3 Limolitas de color verde del Grupo Tarma.....	23
FOTO N° 2.4 Limolitas del Grupo Mitu.....	24
FOTO N° 2.5 Formación Chocolate al norte del Puerto Chala.....	25
FOTO N° 2.6 Derrames lávicos de la Formación Guaneros.....	25
FOTO N° 2.7 Afloramiento de la Formación Camaná.....	26
FOTO N° 2.8 Cuerpo subvolcánico de la Formación Moquegua.....	27
FOTO N° 2.9 Cuerpo intrusivo monzonodiorítico del Paleozoico.....	28
FOTO N° 3.1 Daños producidos por Socavamiento.....	44
FOTO N° 3.2 Daños producidos por Socavamiento.....	44
FOTO N° 3.3 Daños producidos por Fuerzas de Oleaje.....	45
FOTO N° 3.4 Daños producidos por Fuerzas de arrastre e impacto.....	45
FOTO N° 3.5 Daños producidos por Fuerzas de Impacto.....	46
FOTO N° 3.6 Daños producidos por Fuerzas Hidrostáticas.....	46
FOTO N° 3.7 Daños producidos por Fuerzas de empuje.....	46
FOTO N° 7.1 Playa Tanaka Norte.....	97
FOTO N° 7.2 Playa Tanaka Centro.....	97
FOTO N° 7.3 Playa Tanaka Sur.....	98
FOTO N° 7.4 Playa Tanaka Sur.....	98
FOTO N° 7.5 Balneario de Tanaka.....	99

FOTO N° 7.6 Muelle Fondapes Chala.....	99
FOTO N° 7.7 Puerto de Chala.....	100
FOTO N° 7.8 Cabezo del Muelle Fondapes Chala.....	100
FOTO N° 7.9 Punta Blanca (Fábrica SIPESA).....	101
FOTO N° 7.10 Punta Blanca.....	101
FOTO N° 7.11 Playa El Huevo mirando hacia el Norte.....	102
FOTO N° 7.12 Playa El Huevo.....	102
FOTO N° 7.13 Playa El Huevo Atico.....	103
FOTO N° 7.14 Playa El Huevo vista hacia el Sur.....	103
FOTO N° 7.15 Bloque de roca en carretera Km. 770.....	104
FOTO N° 7.16 Caleta Pescadores.....	104
FOTO N° 7.17 Caleta Pescadores.....	105
FOTO N° 7.18 Sector del Río Ocoña (desembocadura).....	105
FOTO N° 7.19 Desembocadura del Río Ocoña.....	106
FOTO N° 7.20 Nivelación de Playa Ocoña.....	106
FOTO N° 7.21 Nivelación de Playa Ocoña.....	107
FOTO N° 7.22 Sur del río Ocoña.....	107
FOTO N° 7.23 Sur de Playa Ocoña (Cementerio).....	108
FOTO N° 7.24 Playa Chira (Camaná Norte).....	108
FOTO N° 7.25 Playa Chira (Marca del tsunami).....	109
FOTO N° 7.26 Playa Santa Mónica (Camaná Norte).....	109
FOTO N° 7.27 Zona de cultivo y balneario de Pucchuncillo.....	110
FOTO N° 7.28 Nivelación en Balneario Pucchun.....	110
FOTO N° 7.29 Nivelación y perfil de playa.....	111
FOTO N° 7.30 Terrenos de cultivo Pucchun.....	111
FOTO N° 7.31 Terrenos de cultivo Pucchun.....	112
FOTO N° 7.32 Zonas de cultivo El Chorro y La Deheza.....	112
FOTO N° 7.33 Zonas de cultivo Margen izquierda Río Ocoña.....	113
FOTO N° 7.34 Panamericana Sur Zona de cultivo El Chorro.....	113
FOTO N° 7.35 Panamericana Sur Zona de cultivo El Chorro.....	114
FOTO N° 7.36 Zona del Balneario de La Punta Camaná Centro.....	114
FOTO N° 7.37 Nivelación en zona del Balneario de La Punta.....	115
FOTO N° 7.38 Zona del Balneario de La Punta (Vía Costanera).....	115
FOTO N° 7.39 Zona Turística del Balneario de La Punta.....	116
FOTO N° 7.40 Balneario Cerrilos (Camaná Sur).....	116
FOTO N° 7.41 Balneario Cerrilos (Camaná Sur).....	117
FOTO N° 7.42 Balneario Las Cuevas (Camaná Sur).....	117
FOTO N° 7.43 Marcas de agua en el Balneario Las Cuevas (Camaná Sur).....	118
FOTO N° 7.44 Carretera Panamericana Sur Km. 844.....	118
FOTO N° 7.45 Carretera Panamericana Sur Km. 844 (Cerro El Pano).....	119
FOTO N° 7.46 Vista tomada hacia desembocadura de caleta Quilca.....	119
FOTO N° 7.47 Vista tomada hacia desembocadura de caleta Quilca.....	120
FOTO N° 7.48 Estación Mareográfica del Puerto de Matarani.....	120
FOTO N° 7.49 Vista hacia el Sur del Muelle del Puerto de Matarani.....	121
FOTO N° 7.50 Recorrido de la Nivelación en Puerto Matarani.....	121
FOTO N° 7.51 Recorrido de la Nivelación en Puerto Matarani.....	122
FOTO N° 7.52 Recorrido de la Nivelación en Puerto Matarani.....	122
FOTO N° 7.53 Mareógrafo analógico de Puerto Matarani.....	123
FOTO N° 7.54 Playa 1 y 2 de Mollendo.....	123
FOTO N° 7.55 Nivelación en Playa 1.....	124
FOTO N° 7.56 Nivelación y reconocimiento de Playa 1 hacia el Sur.....	124
FOTO N° 7.57 Playa 1 el tsunami no paso de la marea alta.....	125
FOTO N° 7.58 Playa 2 (Mollendo).....	125
FOTO N° 7.59 Nivelación en la Playa 2 (Mollendo).....	126
FOTO N° 7.60 Playa al sur de la desembocadura del Río Ilo.....	126
FOTO N° 7.61 Playa al sur del Río Ilo (Marca de Agua del Tsunami).....	127
FOTO N° 7.62 Playa al sur de la desembocadura del Río Ilo (Nivelación).....	127

FOTO N° 7.63 Playa al norte del ex-Hotel de Turistas de Ilo.....	128
FOTO N° 7.64 Playa al norte del ex-Hotel de Turistas de Ilo.....	128
FOTO N° 7.65 Nivelación en Playa al norte del Hotel Ilo.....	129
FOTO N° 7.66 Buscando evidencias del tsunami (Ilo).....	129
FOTO N° 7.67 Nivelación en zona de Peña Blanca (Ilo).....	130
FOTO N° 7.68 Bolivia Mar vista de sur a Norte.....	130
FOTO N° 7.69 Nivelación en Bolivia Mar.....	131
FOTO N° 7.70 Nivelación en Bolivia Mar.....	131
FOTO N° 7.71 Nivelación en Bolivia Mar.....	132
FOTO N° 7.72 Brigada Participante en el recorrido del Sur.....	132

INDICE DE LAMINAS

LAMINA N° 6.1 Epicentros localizados por agencias Nacionales e Internacionales.....	73
LAMINA N° 6.2 Eje de coordenadas y dirección de propagación del tsunami.....	78
LAMINA N° 6.3 Cambio de escala para el balneario de Camaná.....	79
LAMINA N° 6.4 Cambio de escala para el Puerto de Matarani.....	80
LAMINA N° 6.5 Ubicación y tamaño de la elipse de generación.....	82
LAMINA N° 6.6 Representación de datos obtenidos.....	83
LAMINA N° 6.7 Variación de la Plataforma continental Peruana.....	86
LAMINA N° 6.8 Generación del tsunami y su propagación hacia la costa	87
LAMINA N° 9.1 Grafica que muestra la llegada de la 1era. Ola a Camaná.....	138
LAMINA N° 9.2 Grafica que muestra la llegada de la 1era. Ola a Pisco.....	143
LAMINA N° 9.3 Grafica que muestra la llegada de la 1era. Ola a San Juan.....	144
LAMINA N° 9.4 Grafica que muestra la llegada de la 1era. Ola a Atico.....	145
LAMINA N° 9.5 Grafica que muestra la llegada de la 1era. Ola a Matarani.....	146
LAMINA N° 9.6 Grafica que muestra la llegada de la 1era. Ola a Mollendo.....	147

INDICE DE MAPAS

MAPA 1 Ubicación.....	11
MAPA 2 Geológico costero.....	20

INDICE DE CARTAS

CARTA 9.1 Zona inundable y limite máximo inundable	Anexo
CARTA 9.2 Sectores diferenciados e inspeccionados.....	Anexo
CARTA 9.3 Vías de evacuación y zonas de refugio en caso de tsunamis.....	Anexo

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 3.1 Magnitud del Tsunami según Imamura.....	41
TABLA N° 3.2 Magnitud del Tsunami según Iida.....	41
TABLA N° 4.1 Ocurrencia de fenómenos tectónicos.....	48
TABLA N° 4.2 Sismos y Tsunamis en la costa Peruana.....	57
TABLA N° 4.3 Periodo de retorno de un sismo tsunamigénico.....	58
TABLA N° 4.4 Probabilidad de ocurrencia de un sismo tsunamigénico.....	58
TABLA N° 4.5 Grandes terremotos que han generado tsunamis.....	60
TABLA N° 6.1 Epicentros dados por diferentes agencias internacionales.....	71
TABLA N° 7.1 Número total de victimas.....	93
TABLA N° 7.2 Número total de desaparecidos	93
TABLA N° 7.3 Número total de heridos.....	94
TABLA N° 7.4 Número total de damnificados.....	94

TABLA N° 7.5 Número total de viviendas afectadas y destruidas.....	94
TABLA N° 7.6 Número total de cultivos afectados.....	94
TABLA N° 7.7 Evaluación de los daños del tsunami medidas recomendadas	95
TABLA N° 7.7 Evaluación de los daños del tsunami medidas recomendadas	96
TABLA N° 9.1 Tiempo de llegada de la 1era. Ola a la Costa.....	142

ANEXOS

ANEXO N°1

GUIA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTOS POSTERIORES A UN TSUNAMI

- **Consejo**

Lea esta Guía con suficiente antelación, mientras prepara el levantamiento y, antes de ir al campo distribuya copias suficientes entre los miembros del equipo.
- **Propósito**

Del Levantamiento:
Observar y documentar los efectos de los tsunamis recolectando datos tan pronto como sea posible, de tal manera de aprender acerca de la naturaleza e impacto del fenómeno y ser capaz de proporcionar recomendaciones sobre la necesidad de mayores investigaciones, planificación y preparación.

De esta Guía de Campo:
Establecer las líneas de acción para conducir el trabajo de campo después de un tsunami y las normas para las observaciones, medidas y estimaciones, de tal forma de recopilar los datos de una manera apropiada, y ser capaz de decidir sobre el tipo específico de datos que deban ser recopilados.
- **Estructura de esta Guía**

Los temas examinados en esta Guía están agrupados como sigue:
I.- procedimientos antes de efectuar el levantamiento y,
II.- procedimientos durante el levantamiento

La Sección I tiene que ver con las recomendaciones para definir el equipo de trabajo, y coordinación antes del viaje, sobre el equipo básico y los documentos.

La Sección II tiene que ver con la logística en el campo, con el tipo de información a ser recopilada, y con la forma de hacerlo.

Los puntos de información a tratar son:
-Tipo de la fuente del tsunami
-Parámetros tectónicos y sísmicos
-Avalanchas submarinas y derrumbes terrestres
-Efectos de la deformación del campo
-Configuración de los lugares de llegada
-Parámetros de la aproximación y llegada del tsunami
-Efectos del tsunami, daños y víctimas
-Respuesta del público y las autoridades
-Observaciones adicionales, comentarios y recomendaciones.

Al final de esta Guía se anexa el formato para Formulario de Investigación de Campo para ser llenados durante el levantamiento.
- **Métodos**

Los métodos para obtener información pueden ser clasificados como:
-Recopilación de mapas, cartas y registros de marea existentes, etc.
-Mediciones reales de parámetros físicos
-Gráficos y registros audiovisuales
-Entrevistas a testigos
- **Tabla de Contenido**
 - Consejo
 - Propósito
 - Estructura de esta Guía
 - Métodos

- Tabla de Contenido
- Sección I. Antes del Levantamiento de Campo
- Sección II. Durante el Levantamiento de Campo
- ANEXO: Prototipo de Cuestionario de Entrevista a Testigos
- Formulario de levantamiento de campo

- **Sección I.- Antes de la Exploración de Campo**

Organizar y despachar el equipo de campo tan rápida y efectivamente como sea posible, esto es después de ocurrido el tsunami.

Conformación de los Equipos de Exploración:

Debe hacerse una selección de personas calificadas de acuerdo a las necesidades específicas de cada caso. Se recomienda una composición multidisciplinaria (especialistas en oceanografía, sismología, geología, suelos, sedimentología, sociología, planificación urbana, salud pública y líderes de la comunidad).

Es altamente deseable que a lo menos uno de los miembros del equipo represente al país afectado. La experiencia y el invaluable conocimiento de las autoridades y científicos locales deberá ser reconocida en su participación en el levantamiento. La información después del evento es muy importante, y los científicos locales tienen la oportunidad de efectuar levantamientos de respuesta rápida, antes que la información de campo se pierda. Deben hacerse todos los esfuerzos para involucrar al país invitante en cualquier levantamiento de campo posterior al desastre.

Elección del sitio:

Seleccionar la ubicación y tamaño del área a ser levantada y la duración del levantamiento, de acuerdo a:

- a) información científica preliminar, oficial o de prensa sobre la severidad y distribución espacial de los efectos del tsunami
- b) áreas sugeridas como más severamente inundadas de acuerdo a como se muestre en simulaciones numéricas por computador, anteriores al evento
- c) accesibilidad a las áreas afectadas
- d) disponibilidad de personal de campo, financiamiento y tiempo.

Patrocinio de la COI:

Para que un levantamiento posterior a un tsunami patrocinado por la COI, se efectúe bajo su auspicio y preste financiamiento parcial, es estrictamente necesario que se dirija una carta oficial de petición e invitación del representante del país afectado de la COI/UNESCO, al Secretario General de la COI/UNESCO, tan pronto como sea posible. El despacho de este documento debe ser coordinado a través del Contacto Nacional del país invitante ante el GIC/TISÚ. Si se proporciona financiamiento de la COI, debería en particular estar disponible para permitir la participación de los científicos sin acceso directo a financiamiento en sus propios países, así como también asegurar que los expertos necesarios estén representados en el levantamiento.

Entrenamiento:

Observadores no preparados puede que no reconozcan con facilidad las trazas dejadas por el tsunami. Pueden requerirse sesiones de entrenamiento para los miembros del equipo sin experiencia, antes de partir al campo.

Comunicación y Coordinación:

Una autoridad nacional de un país que vaya a ser visitado (por ejemplo, el Contacto Nacional del GIC/ITSU) debería ser nominada y estar disponible a través de una dirección accesible en tiempo real para la comunidad internacional con el objeto de coordinar los aspectos principales de la exploración. Establecer también los enlaces necesarios con la comunidad académica y operacional de las naciones afectadas,

las que estarán involucradas en las exploraciones, para ayudar a reclutar miembros para el equipo y ponerse de acuerdo sobre como será compartida la información a ser obtenida y eventualmente, el desarrollo de actividades de investigación conjuntas. El Boletín de Tsunami electrónico debe servir para este propósito.

Es necesario determinar también el apoyo logístico y de comunicación, tales como: fotocopiadoras, líneas de fax y de teléfono, accesibilidad a Internet, módems, teléfonos celulares, etc. Ubicar un lugar de reunión adyacente al área afectada.

Coordinar con otros grupos que estén efectuando exploraciones similares en el mismo lugar, de tal forma de minimizar los esfuerzos y compartir la información. Esta coordinación no debería estar dirigida a excluir ningún individuo de este esfuerzo, sino más bien a maximizar la efectividad de las exploraciones, al mismo tiempo que se permanezca sensible a las comunidades y culturas locales.

Procedimientos pre-viaje:

Considerar las formas de facilitar el acceso de los equipos al área de exploración. Los arreglos para visas, vacunas, cartas de presentación u otros documentos de identificación, los permisos para acceder al área afectada, el transporte, la acomodación y comida para el grupo, deben ser solucionados con anticipación con la ayuda de los Contactos Nacionales del GIC/ITSU en el lugar, para facilitar las exploraciones. Los seguros de vida, salud y contra accidentes deben ser arreglados por los mismos participantes. También es útil el contacto con instituciones académicas nacionales, con organizaciones internacionales, con cónsules, agencias de socorro, etc. Los acuerdos deben concretarse anticipadamente sobre la admisión de los equipos y las declaraciones de aduana de los instrumentos y de las muestras de sedimentos, así como otras materias logísticas.

Sensibilidad:

Las autoridades locales no deben ser sobrecargadas con solicitudes de visa, de invitaciones, o informes en un momento poco oportuno. Deben establecerse acuerdos internacionales ahora entre países diferentes para permitir la emisión rápida de visas y de cartas de invitación, en caso de la ocurrencia de un evento.

Instrumental existente:

Con anterioridad al levantamiento, identificar los tipos de instrumentos existentes en el lugar, específicamente mareógrafos y solicitar que su información sea recopilada.

Equipo del levantamiento:

Identificar y seleccionar los instrumentos más apropiados, portátiles y fácilmente accesibles para los parámetros que se medirán.

Equipo de exploración, Equipaje y Documentos:

El equipo de campo debe ser simple y efectivo para una rápida exploración. Este equipo debería estar listado y descrito en la Guía de Campo.

Pueden ser esenciales equipos ópticos de exploración, niveles de mano, miras parlantes; cronógrafos, inclinómetros, huinchas de medir, compás y una pequeña escalera. Saca-testigos de mano para tomar muestras y una picota para excavar. Puede ser necesario un ecosonda digital acoplado a un GPS. Considerar el uso de máquinas fotográficas, grabadoras de vídeo y llevar rollos fotográficos y cintas de audio y de video, baterías de repuesto. Para lugares remotos, sismógrafos portátiles pueden proporcionar datos de réplicas de alto valor. Incluir fuentes de energía portátiles de poco peso que se requieran para el equipo de exploración y para las necesidades del campamento. Linternas con baterías y lámparas, fósforos a prueba de agua. Debe llevarse una radio portátil, computadores portátiles, papel, lápices, teléfonos portátiles, cuchillo de bolsillo y carpetas a prueba de agua.

Información Preliminar y Documentos del Levantamiento:

Reunir información de los medios de prensa locales, nacionales e internacionales y los datos preliminares de los equipos de levantamiento local. Recopilar información sobre el ambiente tectónico, mecanismo de falla y características del sismo generador y su área de origen.

Deben reunirse y mantener archivos de mapas (batimétricos y topográficos a escala de 1:25.000 o mayores), fotos aéreas, ubicación de las estaciones de marea y tablas de marea para corregir las mediciones de runup en aquellas zonas de alta vulnerabilidad al ataque de tsunamis. Ampliar los mapas mediante fotocopiado antes de embarcarse, para ayudar a la toma de notas en campo.

Equipaje Misceláneo:

Diseñar una lista de chequeo pre-partida que incluya:

- a) efectos personales (artículos de baño, anteojos de sol, reloj despertador, etc.)
- b) raciones de emergencia no perecibles y agua para sobrevivir (carne en lata, vegetales, fruta, pescado; leche, cereales, café, té, crema, sal, azúcar), platos desechables, vasos, servilletas, abridor de latas y píldoras para purificar el agua,
- c) kit de primeros auxilios (tela adhesiva, algodón esterilizado, solución antiséptica, aspirina, vendas, antidiarreicos, laxantes, alcohol, termómetro, etc.)
- d) documentos personales: pasaporte, visa, pasajes aéreos, certificados de vacuna, de invitación, nombres de contactos con sus direcciones, teléfonos y Fax, tarjetas de crédito, moneda extranjera, diccionario, etc. y,
- e) ropa, sombrero y calzado de acuerdo al clima y estación del año.

• **Sección II. Durante la Exploración de Campo**

Logística y Generalidades:

Determinar procedimientos operacionales en el campo, tareas, roles, expectativas y asignaciones de responsabilidad a cada especialista de acuerdo a su especialidad.

El grupo debería disponer de un día de entrenamiento antes de dividirse en grupos. Cada equipo debería incluir al menos un representante de los científicos locales, así como también al menos una persona con experiencia en este tipo de exploraciones.

Para los tipos de mediciones, los exploradores deben evaluar e informar sobre la calidad de los datos recopilados. Todas las mediciones físicas deben ubicarse tan precisamente como sea posible en mapas y/o en fotografías aéreas. Debe usarse un libro logístico, con diagramas y bocetos de los procedimientos y técnicas básicas, listas de chequeo y ejemplos de los datos que deben ser recolectados, formas de registrar los datos en una forma que permitan ser archivados y extraídos en un modo estándar durante el post-proceso, y espacio libre para dibujos, notas adicionales y comentarios sobre observaciones poco usuales. Las instrucciones pueden ser proporcionadas a través de una lista o un cuestionario. Un glosario de términos es útil. Debe utilizarse un formato de entrevista prototipo traducido al idioma local para conducir entrevistas.

Elección del sitio:

Seleccionar lugares específicos, como pequeñas bahías, trazos de costa abierta, estuarios, playas, para documentar una completa historia de los efectos del tsunami, tratando de obtener conjuntos de datos coherentes de los parámetros a medir. Si es posible, debe capturarse una amplia visión del área mediante fotografías.

Parámetros:

Identificación de un conjunto de parámetros simples y rápidos de medir o estimar, de tal forma de hacerlos fácilmente comparables y válidos para exploraciones posteriores e investigación. Deben conjugarse varias mediciones para aumentar su utilidad.

Posicionamiento horizontal:

Determinación con precisión con GPS o ubicación en el mapa. Se prefieren ubicaciones absolutas en el mapa ya que las posiciones GPS puede que no queden ploteadas con precisión debido a errores de señal o irregularidades del datum.

Alcance vertical superior del agua:

Mediciones mediante procedimientos de nivelación estándares, GPS u otros métodos, si es posible con una precisión de 25 cm.

Definición del runup y Datum de referencia para el runup: ponerse de acuerdo en una definición simple y en un único nivel de referencia (Nivel Medio del Mar, Nivel Medio de la Bajamar si se refiere a un datum de la carta, o nivel local de la marea a la hora de la llegada o durante el tsunami). Las alturas de runup medidas en relación al nivel local de la marea (elevación de la línea de costa) en el lugar y hora de cada medición en particular deben ser corregidas al Datum seleccionado.

Para la corrección señalada más arriba, es importante que los relojes utilizados por el personal estén sincronizados y colocados a una señal de tiempo estándar y debe registrarse la hora de cada medición de runup. Averigüe si se usó la hora local estándar o el horario de verano local en el momento de la ocurrencia del tsunami, durante la exploración, en los registros mareográficos en las tablas de marea. Consiga los registros de marea más cercanos disponibles para el sitio.

Se debe estar conciente que una corrección apropiada a un Datum de Referencia y a una hora estándar es una materia crítica e importante para una interpretación posterior de los datos.

Donde y cuando sea posible, debe medirse y dibujarse una transecta entre la máxima marca de inundación horizontal y la línea de costa (o incluso hasta la línea de rompientes). Debe ser medido al menos, en cada sitio, el runup máximo y el nivel máximo del agua (que puede en algunos casos ser la misma medida) tal como se define más abajo. Las dos clases de datos deben ya sea ser ploteados en diagramas separados o distinguirse mediante símbolos diferentes. Las definiciones recomendadas para estas dos magnitudes son las siguientes:

- 1.- **Runup máximo**, es la diferencia entre la elevación de la máxima penetración del tsunami y la elevación de la línea de costa al momento del ataque del tsunami (i.e. corregida por la diferencia en la elevación de la línea de costa entre la hora de la medición y la hora del ataque del tsunami).
- 2.- **Nivel máximo del agua**, es la diferencia entre la elevación de la marca de agua local más alta y la elevación de la línea de costa a la hora del ataque del tsunami (i.e. corregida por la diferencia en la altura de la línea de costa entre la hora de la medición y la hora del ataque del tsunami).

Deben hacerse tantas mediciones del runup y del nivel del agua como sea posible, con ubicaciones precisas de las mediciones en mapas y fotografías y preferentemente con dibujos de las mediciones así como también fotos.

Deben ubicarse las cotas de marea existentes en el área y usarlas como referencia para chequear el datum y las mediciones. Se deben obtener posiciones verticales corregidas de GPS de las cotas de marea para detectar posibles elevaciones o hundimientos del campo debido al sismo.

Se debe ser capaz de identificar runups extremos localizados debido a "canalización" en valles estrechos, canales y caletas, o "seiches" en bahías semi-cerradas. Debe acordarse un criterio común cuando: a) se haga un promedio de los valores de runups en bahías de topografía compleja, donde se produce un proceso de inundación aleatorio, para obtener un sólo valor representativo; o b) se debe evitar promediar los valores de runup, informando los datos crudos observados.

Uso del GPS en comparación con técnicas tradicionales:

El uso de la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) ayuda en una recolección de datos de runup de tsunami más rápida y eficiente después de los eventos de tsunamis destructivos, y para identificar subsidencia o elevaciones del campo debido al sismo. Las técnicas de exploración tradicional utilizando huinchas, niveles de burbuja y distanciómetros ópticos producen resultados satisfactorios, sin embargo: no son necesariamente los más eficientes en tiempo y horas hombre.

Precisión

Las técnicas tradicionales utilizadas en las exploraciones de campo anteriores para tsunamis, presentaron precisiones en los planos horizontal y vertical del orden de un 5% en la distancia total o altura medidas.

El equipo GPS básicamente automatizado los aspectos de las mediciones y archivo de registros. Desafortunadamente, para obtener el mismo nivel de precisión, se requiere de equipo relativamente sofisticado.

Movilización

El equipo tradicional de exploración es fácilmente movilizado para el trabajo de campo. El transporte al lugar de la exploración no es generalmente un problema.

Marcas:

Ayudar a identificar el runup máximo horizontal y vertical, se debe hacer uso de marcas del nivel máximo del agua sobre paredes y estructuras y, otros indicadores como: líneas del límite hacia tierra de las algas, escombros, sedimentos, o la depósitos de basuras flotantes, límites horizontales entre la vegetación destruida o dañada por el agua de mar y la vegetación sobreviviente, cantidades de corteza extraída de los árboles y niveles de algas o restos atrapados en cortinas u otras estructuras. Se debe notar si las partes superiores, medias o inferiores de una casa se encuentran destruidas, semi-destruidas o intactas, e identificar si esto fue debido a las vibraciones del sismo o a la llegada del tsunami. Observar si hay ropas, peces, animales muertos y/o otros objetos o animales colgando de las ramas superiores de los árboles. Se debe ser capaz de distinguir marcas reales de runup de las salpicaduras y de las marcas del daño producido por objetos flotantes. Detectar si hay árboles quebrados, doblados, o arrancados, vegetación transportada, escombros transportados y depositados tierra adentro. Su tipo, tamaño y peso deben ser medidos si es posible. Otro indicador puede ser también el cubrimiento de estructuras costeras y la destrucción de estaciones de marea existentes.

Inundación horizontal:

Como una definición convencional, la inundación es la penetración horizontal máxima del tsunami desde la línea de costa. Debe determinarse su intrusión máxima tierra adentro desde la línea media de las bajas mareas u otra línea de referencia. Se debe dibujar en un mapa, y estimar las distancias por medio de huincha, láser, equipo de radiofrecuencia, por distanciómetros ópticos o, excepcionalmente con el odómetro del auto o contando pasos.

Corrientes:

Debe documentarse las evidencias de la dirección y/o fuerza del flujo. Estimación de las magnitudes a través de sus efectos sobre objetos y estructuras fijas de gran tamaño, y sobre los objetos flotantes (botes, buques) transportados tierra adentro. Medir el tamaño del grano y la densidad de los sedimentos que fueron transportados.

Información geológica:

Identificar, localizar y estimar la extensión de un posible solevantamiento o subsidencia costera y su influencia en el runup del tsunami. El posicionamiento

vertical GPS de las cotas de marea existentes, como se mencionó anteriormente, puede ser útil. Vegetación sumergida o la presencia de plantas de hojas verdes que crecen en la zona intermareal, o moluscos a la vista, pueden ser también un indicador de la subsidencia o solevantamiento, así como también de cambios en el nivel de las altas mareas alcanzadas después del tsunami.

Es necesario notar y documentar la presencia de grietas, licuefacción e inclinación del campo. Observar y detectar la presencia de arenas, limos o sábanas de barro eventualmente depositadas por el tsunami bajo pantanos de marea, sobre la altura de playas de barrera o en lagunas costeras. Tomar muestras verticales con tubos plásticos en líneas perpendiculares a la línea de costa, a través de las superficies de transporte y depósitos, hasta el alcance de la incursión máxima. Perforar trincheras y fotografiar los sedimentos. Medir el espesor y la extensión horizontal de las capas de depósitos de arena y su distribución vertical de tamaños de grano dentro de ellos; detectar la presencia de detritos de madera y plantas con raíces como evidencia del repentino recubrimiento con arena por el tsunami. Identificar las áreas de erosión, movimiento y asentamiento de los sedimentos por las ondas de tsunami, pero distinguir entre la erosión de playa causada por el tsunami mismo, de la erosión de largo período (recurra a testigos).

Información sismológica:

Durante la exploración en áreas remotas, obtener datos de réplicas obtenidas de sismógrafos portátiles.

Perfil:

Estimar la pendiente de playa con inclinómetros de mano, u otro equipo óptico de campo. Hacer los perfiles en conjunto con otras observaciones de campo.

Batimetría:

Con la ayuda de un ecosonda conectado a un GPS o a un enlace de UHF para posicionamiento, hacer un levantamiento del fondo costero de aquellas áreas no cubiertas con la resolución suficiente en las cartas disponibles, o donde pueden haber ocurrido cambios sustanciales debido al transporte de sedimentos por el tsunami. Un bote pequeño será necesario.

Determinación del tiempo y otras características a través de entrevistas a testigos:

Las entrevistas pueden ser invaluable en ayudar a distinguir los efectos reales de los eventos de las condiciones pre-existentes y de los cambios post-evento, tales como la limpieza de los daños.

Siempre que sea posible, las entrevistas deben ser conducidas por representantes locales, ya que los entrevistadores deberían estar sensibilizados a la condición emocional ya las prácticas culturales de los entrevistados. Obviamente, una persona de la lengua nativa facilitará el proceso. Debe utilizarse lenguaje no técnico y deben evitarse preguntas dirigidas (preguntas que sugieren una respuesta).

El Apéndice I contiene componentes para una entrevista de testigos post-tsunami, tal como fue recomendado por Y. Tsuji y V. Kaistrenko, durante el Taller Internacional de Mediciones de Tsunami de Estes Park en Junio de 1995.

Documentar a través de entrevistas de testigos, las mediciones de instrumentos, o informes de la prensa local, las horas de llegada y períodos de las ondas de tsunami, su número, hora de la llegada del tsunami después de las sacudidas del sismo y la duración total del tsunami. ¿Bajó el agua antes de la llegada de la primera onda o no? ¿Se escucharon "ruidos"? ¿Cuál fue la dirección de aproximación de las ondas que llegaban? Estar conciente de las entrevistas de testigos, que pueden variar significativamente en su confiabilidad.

Documentar la eventual propagación de las ondas de tsunami aguas arriba en un estuario. Detectar o identificar la influencia de cualquier resonancia de bahía local amplificando la respuesta del tsunami, y la influencia de islas existentes, formaciones rocosas costa afuera, u otros rasgos batimétricos locales presentes en la plataforma continental. Considerar el ancho de la plataforma continental.

Notar cualquier influencia de la geometría topográfica local en los patrones de runup y el amortiguamiento debido a la fricción de fondo.

Hacer un intento de describir cuantitativa o cualitativamente el comportamiento de las ondas de tsunami en las playas, bahías, etc. (i.e. por refracción, difracción, dispersión, u otros fenómenos físicos) y explicar los patrones de inundación, observados.

Métodos de exploración audio-visuales y no-tradicionales:

Deben considerarse fotos, videos y audio, pero sólo para aumentar y no para reemplazar la toma de notas de campo. Recolectar información adicional de periódicos, radio, televisión y otras fuentes. Si es necesario y se cuenta con el apoyo financiero, se debe considerar la fotogrametría, los videos aéreos, los perfiladores de sonares lateral y otros métodos para estimar las deformaciones del fondo del mar.

Estimación de daños:

Clasificación burda; estimación de la naturaleza y categoría del daño ya qué causa aparente se debe: a) agentes primarios: hidrostáticos (presión, flotabilidad) o hidrodinámicos (oleaje, arrastre) o b) secundarios: impacto por escombros o leños, incendios de cámaras eléctricas o ignición de petróleo, explosiones, contaminación por materiales peligrosos o escape de vapores tóxicos, falta de soporte del terreno por el arrastre de las aguas en retirada, etc. Recubrimiento del agua de las estructuras costeras, de los muelles, de los rompeolas. Erosión o depósitos de arenas en las playas. Distinguir los daños del sismo de los del tsunami.

Datos auxiliares e información de fondo:

Disponibilidad temprana de batimetría de buena resolución, topografía costera (escala 1:25.000 o mayor) incluyendo configuración costera, mapas geológicos e información sismotectónica (nombre, rumbo o manteo de las fallas principales y subsidiarias existentes, su ubicación, largo total y porción eventualmente rota) con el objeto de ayudar a definir la región fuente y los mecanismos para un temprano modelo de simulación que pueda identificar las áreas más probablemente afectadas y las ubicaciones que deban visitar los miembros del equipo de exploración.

Impacto Social:

Estimación aproximada, destinada a obtener un cuadro del impacto del tsunami sobre: comportamiento humano, los servicios públicos, las líneas de comunicación, la interrupción de las actividades diarias, los muertos y heridos, el comportamiento de las agencias de manejo de catástrofes y el grado de efectividad de los planes de respuesta en uso, las personas sin hogar desplazadas debido al tsunami.

Respuesta a las alarmas de los diferentes segmentos de la población (ancianos, incapacitados, niños). Razones para la pérdida de vidas: ¿alarmas inadecuadas? ¿evacuación inadecuada? ¿preparación inadecuada? Hacer recomendaciones.

Llevar consigo panfletos de tsunamis, involucrarse en seminarios o charlas cortas con los líderes de la comunidad, oficiales de gobierno, y público en general, para tratar el tema del riesgo de tsunamis y entrenar a científicos, estudiantes para que adopten medidas simples de mitigación y los tópicos de preparación y respuesta.

Modelación por computador:

Propósito y escala de tiempo de la simulación: a) para ayudar a determinar el runup y las áreas inundadas en tiempo casi real, con el objeto de mejorar las alertas tempranas, o b) para un mejor entendimiento futuro del fenómeno en general o de cualquier evento particular o c) para hacer un mapeo de riesgo para la planificación de la preparación.

Por último, ¿para qué será utilizado?: investigación, alarmas, estimaciones tempranas de inundación, para una mejor determinación del mecanismo de la fuente por métodos inversos o para propósitos de diseño ingenieril.

Reconocimiento:

El equipo debe ser capaz de estimar e informar la necesidad de una investigación posterior y recomendar áreas específicas que ameriten la atención de exploraciones posteriores. Debe informarse también, cualquier nueva técnica de recopilación de datos que pueda surgir y ayudar a mejorar futuras exploraciones.

• **Sección III. Después de la Exploración de Campo**

Informe:

Escribir la información básica general, con suficientes detalles como sea necesario, e informarlos a la agencia auspiciadora (COI) y al International Tsunami Information Center (ITIC). Se espera que los participantes en las exploraciones en forma voluntaria, a pedido, contribuyan con informes breves al Tsunami Newsletter editado por el ITIC. Puede que se requiera informes completos de parte de las instituciones patrocinantes o para presentación en reuniones internacionales y simposios. Puede ser de gran ayuda para otros miembros de la comunidad de tsunamis proporcionar unos reportes entregados a través del Boletín y se recomienda colocarlos tan pronto como sea práctico después del regreso de los equipos de exploración.

Recopilación, proceso, compartición y distribución de los datos post-Tsunami:

Adoptar una política de compartir la información para el beneficio de todos. Establecer procedimientos uniformes y guías para normalizar la recolección, los formatos, el proceso, el archivo, la distribución, la diseminación y disponibilidad de los datos a través de los Centros existentes (ITIC, NGDC, JMA) u otros nuevos. Solicitar fondos para establecer o expandir los actuales bancos de datos de tsunami.

Ejemplos de los datos a manejar: a) bibliográficos, b) mareogramas, c) tablas, d) cartas y gráficos, e) fotos y videos, f) audios. Opciones de medios para guardarla: publicación, informes, cassettes, diskettes, CD-ROM, etc.

Tecnología clásica (fotocopias, correo, FAX) así como la más avanzada tecnología de supercarreteras electrónicas para distribuir y dar acceso a la comunidad a la información, como el desarrollo de documentación interactiva multimedia, y boletines en línea vía Internet para textos y tablas, etc.

Las fotografías, cartas y otras formas de datos visuales deben ser específicamente colocadas en el World Wide Web (www). También puede ser utilizado efectivamente el www para apuntar a depositarios de datos. Los sitios de www deben ser desarrollados posteriormente, con atención a los niveles de interés y de acceso, desde el público en general a los planificadores de la comunidad y a los científicos.

Ya que algunos países potencialmente afectados no tienen amplio acceso a estas nuevas tecnologías de supercarreteras electrónicas, deben disponerse también de informes escritos.

APENDICE I

Componentes recomendados de una entrevista post-tsunami a testigos

Como se señaló anteriormente, las entrevistas deben ser conducidas por delegados locales, ya que los entrevistadores estarán sensibilizados por la condición emocional y las prácticas culturales de los entrevistados. Obviamente, también, una persona que hable la lengua local facilitará el proceso. Los entrevistadores deben estar concientes también de ciertas trampas en la recolección de datos de testigos. Por ejemplo, a los entrevistados debe pedírseles que indiquen la ubicación física de los niveles de agua, en vez de que indiquen elevaciones numéricas de las elevaciones del agua. Debe utilizarse un lenguaje no técnico y evitar preguntas dirigidas (que sugieran el contenido de una respuesta). En general, las preguntas que le pidan al testigo que describa las observaciones en sus propias palabras permitirán una información más confiable que las preguntas de sí/no, o preguntas donde se sugieren ciertas palabras al entrevistado.

I. INFORMACION BASICA

- a. Nombre del entrevistador, fecha y hora de la entrevista.
- b. Nombre del entrevistado, dirección, profesión, sexo, edad.
- c. Recolectar varios nombres posibles del lugar (pueblo, aldea, colonia), ya que estos pueden variar de persona a persona, y pueden diferir en los mapas; ubicar la información en los mapas o fotos aéreas.
- d. Dónde estaba el entrevistado: 1) antes, 2) durante y 3) después del (los) evento(s). Distinguir terremoto, ondas de tsunami, etc.

II. INFORMACION DEL SISMO

- a.Cuál fue la magnitud del sismo, determinada de la Escala Mercalli incluir la Escala de Mercalli traducida al lenguaje nativo.
- b. Si el sismo ocurrió durante la noche, ¿cuánta gente estaba despierta o despertó?
- c. Distinguir el sismo principal de posibles réplicas o sismos premonitores.
- d. Identificar los heridos y los daños por el(los) sismo(s) (¿incluye un formulario de reporte de daños?).
- e. ¿Informe de los testigos sobre licuefacción de suelos o volcanes de arena? ¿Grietas en el terreno? ¿Derrumbes, caídas de rocas, etc. ?
- f. ¿Se puso barrosa el agua de pozos? ¿Cambió el nivel?

III. TSUNAMI

- a. ¿Cuál era la situación antes del tsunami? -condiciones meteorológicas, nivel del mar, condiciones de luminosidad, sonidos(ruido).
- b. ¿Hora de llegada de la(s) onda(s)? tiempo absoluto de relojes, programas de TV, etc.; tiempo relativo-tiempo entre el sismo principal y la llegada de la onda (una réplica puede estar entre el sismo principal y el momento de la llegada de la onda)
- c. ¿Naturaleza de la llegada de la primera onda? (el entrevistador puede preguntar si primero se retiró el agua; pero esta puede ser una pregunta dirigida --tratar de conseguir que el testigo describa el comportamiento del agua sin conducirlo).
- d. ¿Cuántas veces se elevó el agua? ¿cuántas ondas hubo? ¿Cuánto tiempo transcurrió entre las ondas? ¿se retiró el agua completamente y regresó nuevamente? ¿regresó la gente a sus casas en el intervalo?, etc.
- e. ¿Qué comportamiento tenían las ondas? Ej.: calmadas, inundación lenta como un río, como una marejada, como una ola rompiente, como una muralla.
- f. ¿De qué dirección vino el agua, en qué dirección se fue?
- g. Describa cualquier sonido o ruido asociado con las ondas de tsunami ¿antes del tsunami? ¿al momento del arribo? por ejemplo como un tambor, como truenos, como un avión, como la lluvia, como un automóvil, como un río, sin sonido...

- h. ¿Qué cambios en la superficie del terreno produjo el tsunami? ¿Lugares donde hubo erosión? ¿cómo era antes?, ¿lugares donde dejó sedimento (depósitos)? ¿cómo era antes? --identifique rocas, escombros, casa, buques, etc. movidos por el tsunami ¿dónde estaban antes?
- i. ¿Daños debido al tsunami? Daños: número de muertos, número de desaparecidos, número de heridos graves, número de heridos leves. Daño a las viviendas (debido al tsunami): número de casas arrastradas, número de casas totalmente destruidas, parcialmente destruidas, número de inundadas. Daños a los automóviles, buques, instalaciones portuarias, caminos, campos agrícolas, etc. Efectos sobre la salud desde el evento --enfermedades, cambios en la calidad/disponibilidad del agua, etc.
- j. ¿Area inundada por el tsunami? Indique puntos físicos (por ejemplo en casas, árboles, en murallas) hasta donde se elevó el agua; distancia máxima alcanzada tierra adentro (ubique físicamente).
- k. Estimaciones de hasta dónde bajó/subió el agua antes o entre las ondas (la confiabilidad de estas respuestas puede ser incierta).
- l. Precaución y evacuación. ¿Tenían ellos conocimiento/expectativas de que podría llegar un tsunami, antes del evento? ¿Habían ellos recibido alguna educación al respecto? ¿Experiencia o conocimiento de eventos previos? ¿Cómo escaparon?

IV. REPLICAS Y TSUNAMIS REPLICAS

Si estos ocurrieron, se requiere hacer las mismas preguntas básicas ya señaladas, acerca del (los) sismo(s) y del tsunami.

V. MOVIMIENTOS DE LA CORTEZA

Estos indicadores puede que no sean obvios o fáciles de distinguir en el tiempo, inmediatamente después del evento --las semanas o meses ayudarán a clarificar los cambios temporales (por ej.: la inundación) de la deformación de la corteza real.

- a. ¿Ha cambiado el nivel del mar desde el (los) evento(s)?
- b. ¿Emergieron rocas o arrecifes de coral? ¿Cuánto? (sea cuidadoso en distinguir rocas o corales movidos por el tsunami desde el fondo).
- c. ¿Areas sumergidas ahora? ¿Cuánto? (sea cuidadoso en distinguir cambios debido a la erosión o inundación temporalmente no drenada de indicaciones de cambios permanentes del nivel del terreno).

VI. OTRA INFORMACIÓN / INFORMANTES

- a. ¿Nombres de otros testigos? En particular, nombres de otros que pueden haber visto eventos desde diferentes perspectivas (ej. desde un cerro, desde un bote, etc.)
- b. ¿Conocimiento de gente que tomó fotografías, videos, etc. ?
- c. ¿Conocimiento de otros que hayan recolectado entrevistas, datos?

VII. PARA AQUELLOS QUE ESTABAN EN EMBARCACIONES

- a. Determine ¿dónde estaban, antes, durante y después, donde está la embarcación?
- b. ¿Qué aspecto tenía la superficie del mar? (ej. hirviendo, sacudiéndose, con ondas)
- c. ¿Cómo se comportó la embarcación? ¿Hubo daño a la embarcación?
- d. ¿Notó cualquier otro fenómeno? (ej. comportamiento de peces, luz, etc.)

VIII. PARA PERSONAS ANCIANAS

- a. ¿Ha experimentado Ud. cualquier otro evento como éste durante su vida? (¿cuándo? describa tales eventos)
- b. ¿Experimentaron sus padres / abuelos tales eventos?
- c. ¿Sabe Ud. de cuentos o historias de leyendas de tales eventos que hayan sido contados de generación en generación?

FORMULARIO DE LEVANTAMIENTO DE TERRENO

Nombre del especialista:..... Fecha:.....

A.- Información sobre la fuente tectónica

Nombre de la falla:.....

Ubicación: Lat.: Long.:..... Nombre geográfico:.....

Tipo de mecanismo de falla (rumbo) (deslizamiento):.....

Buzamiento:.....

Dirección del movimiento:

Presencia de fallamiento subsidiario:

Ruptura: Largo..... Ancho

Información adicional y/o dibujos:

B.- Efectos de la Deformación Sísmica

Levantamiento costero..... (m) y/o Subsistencia(m)

Describa los indicadores observados o medidos de la evidencia de los cambios del nivel del mar o del nivel del terreno atribuibles al evento sísmico (por ej. registros mareográficos, renivelación de cotas fijas de marea, vegetación sumergida o expuesta, árboles o estructuras, arrecifes de coral emergidos, etc.)

.....
.....
.....
.....

Deformación del suelo (geometría)

InclinaciónPlegamiento

Licuefacción del suelo

Volcanes de arena con material eyectado

Tipo de suelo: barro..... grava..... arena..... limo..... suelto.....
Firme..... consolidado sin consolidar.....

Agrietamiento del terreno: ubicación..... geometría.....
Largo..... ancho..... profundidad..... pendiente.....
(determinela con un inclinómetro y/o un equipo óptico)

Información adicional y/o dibujos:

C.- Parámetros Sísmicos

FECHA	HORA (local UTC)	UBICACION HIPOCENTRAL			Ms	mb	Mw
		LAT	LONG	PROF			
SISMO PRINCIPAL							
PRIMERA REPLICA IMPORTANTE							
SEGUNDA REPLICA IMPORTANTE							
TERCERA REPLICA IMPORTANTE							
CUARTA REPLICA IMPORTANTE							

Intensidad Mercalli del sismo principal en cada sitio visitado:

Nombre del lugar/ubicación		Intensidad	
Nombre del lugar/ubicación		Intensidad	
Nombre del lugar/ubicación		Intensidad	
Nombre del lugar/ubicación		Intensidad	
Nombre del lugar/ubicación		Intensidad	
Nombre del lugar/ubicación		Intensidad	
Nombre del lugar/ubicación		Intensidad	
Nombre del lugar/ubicación		Intensidad	

D.- Derrumbes en tierra firme y/o deslizamientos submarinos

Ubicación: Lat.:	Long.:	Nombre geográfico:
Area involucrada (m2)		Volumen involucrado (m3)
Movimiento: Dirección,		Velocidad:

Tiempo aproximado de la ruptura respecto al comienzo del movimiento del terreno:.....

Material:

Natural	
Hecho por el hombre	
Tamaños	
Naturaleza	

	INICIAL	FINAL
Orientación de la pendiente		
Orientación de la cordillera		

Información adicional y/o dibujos:

E.- Tipos de orígenes de Tsunami

Identifique todo lo aplicable con:

P = Origen primario, y/o

S = Origen secundario (por ej. derrumbe provocado por el sismo primario)

Sismo..... Erupción volcánica/colapso..... Meteorito.....

Derrumbe terrestre sobre un cuerpo de agua..... Explosión nuclear.....

Deslizamiento de sedimentos submarinos.....

Otras:
Describe:

F.- Mareas y Datum

Cotas fijas de marea en o más próximas a los lugares de observación:

ID N°	UBICACION		ELEVACIÓN MARCADA	ELEVACIÓN EN LA OBSERVACIÓN (GPS)
	Lat.	Long.		

Estaciones de marea en o más cercanas a los lugares de observación:

NOMBRE	UBICACION		ELEVACIÓN DEL TOPE DE LA ESCALA ANTES DEL TSUNAMI	TOPE DE ESCALA RENIVELADO CON GPS DURANTE LA OBSERVACION
	Lat.	Long.		

(ubique las cotas fijas de marea y las estaciones mareográficas en los mapas y fotografías aéreas)

Elevación de la marea (con respecto a: NMM....., u otras) al momento de la llegada de las ondas del tsunami:

Primera onda..... Segunda onda..... Tercera onda.....

Otra onda Otra onda..... Otra onda.....

Indique si las alturas anteriores fueron obtenidas o estimadas a partir de:

El registro del mareógrafo más cercano....., o predicciones armónicas de marea.....

G.- Configuración del lugar y llegada del tsunami (*llene un formulario para cada sitio visitado, copie y re-enumere las páginas*)

Nombre del lugar.....

Ubicación del lugar (con GPS si es posible) Lat. Long.
(indíquelo en el mapa)

Tipo: Puerto..... Playa..... Acantilado..... Estuario..... Costa abierta.....
Bahía..... Otra..... describa.....

Dirección de aproximación de las ondas de tsunami.....

Datos documentados (medidos o estimados) de los tiempos de llegada del tsunami, los periodos y altura de las ondas en la línea costera:

	Tiempo de llegada local (UTC)	Periodo (min.)	Altura en la costa (m.)
Primera onda			
Segunda onda			
Tercera onda			
Cuarta onda			
Otra onda			
Otra onda			
Hora de referencia: Hora local es + o - con respecto a 00:00 UTC			

Mapa Esquemático Auxiliar de Bolsillo

En una hoja en blanco, dibuje en forma esquemática la configuración de la línea costera, las curvas batimétricas y topográficas, los rasgos prominentes en tierra, firme y mar adentro (islas, cerros) e indique: a)dimensiones horizontales o escala, b)Orientación del norte, c)ubicación de las cotas fijas de marea y de los mareógrafos operativos, si es que hay, d)dirección de aproximación de las ondas de tsunami, e)ubicación de las transectas efectuadas (por ej. AA " BB', etc.) y lugares a lo largo de los cuales se hicieron mediciones (por ej. 1,2,3,4, etc.), y f)contorno de la inundación horizontal máxima alcanzada de acuerdo a las marcas de agua, la vegetación, restos acumulados, etc.

H.- Altura de inundación / Perfiles de inundación (*llene un formulario para cada sitio visitado, copie y re-enumere las páginas*)

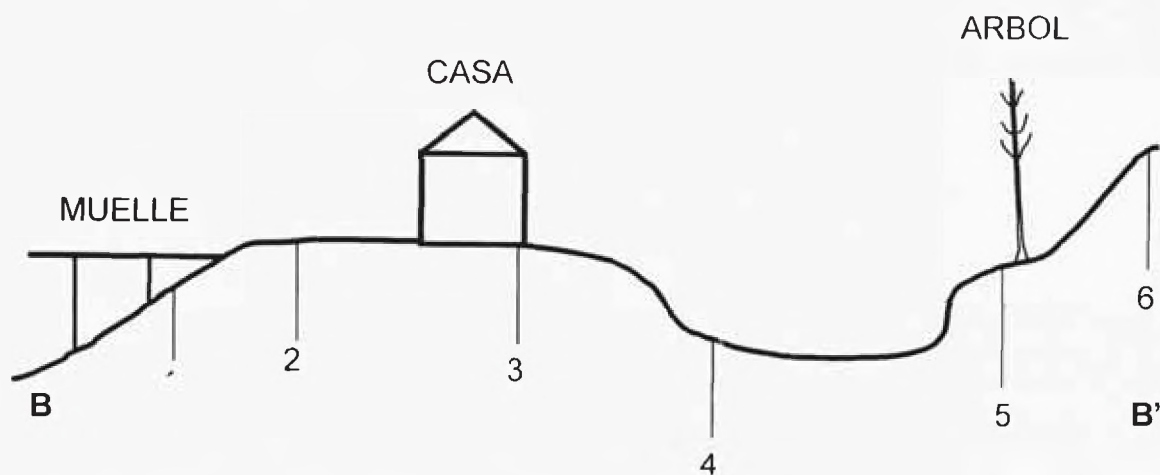
Nombre del lugar.....Tiempo atmosférico.....

Ubicación del lugar (si es posible con GPS) Lat. Long.
(ubíquelo en el mapa)

	Hora (local/UTC)	Elevación de la marea respecto a(datum)
Comienzo del trabajo		
Fin del trabajo		

En una página en blanco, dibuje un perfil vertical de cada transecta levantada entre la línea de costa y la marca máxima de inundación horizontal, indicando los lugares numerados donde fueron tomadas las mediciones, los testigos de sedimentos extraídos y la presencia de árboles, casas, estructuras, escombros, etc.

Ejemplo: perfil BB', mediciones de los testigos en 1, 2, 3, 4, 5, y 6.



H.- Altura de inundación / Perfiles de inundación (continuación)

(llene un formulario para cada sitio visitado, copie y re-enumere las páginas)

Mediciones de los perfiles:

Perfil (por ej. AA', BB', CC', etc.)

Datum vertical (elevación cero) seleccionado para las mediciones de altura del agua: por ej. Nivel medio del mar en la costa durante la visita, referenciado con la cota fija de mareas en, elevación vertical con GPS con respecto al NMM....., u otra.....

LUGAR N°	Distancia Horizontal a la línea de costa	Elevación del agua	Tipo de marca Indicador/evidencia
1			
2			
3			

Máximo nivel del agua Altura vertical máxima de inundación.....
(lo anterior después de corrección por marea)

Pendiente de la playa..... Alcance máximo de inundación horizontal.....

I.- Sedimento transportado por el tsunami (llene un formulario para cada sitio visitado, copie y re-enumere las páginas)

Nombre del lugar.....

Ubicación del lugar (si es posible con GPS) Lat. Long.
(indíquelo en el mapa)

Largo..... Ancho..... Altura.....
De la Erosión o Deposition.....

Tipo de material: Arena..... Limo..... Grava..... Otro.....

Rango del grano: Tamaño..... Volumen..... Densidad.....

Ubicación estimada o medida:
Antes del tsunami

Después del tsunami.....

Muestras de testigos verticales de sedimentos obtenidos:

UBICACIÓN N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PROFUNDIDAD										

(indique los números de ubicación en el mapa esquemático o **Acápite G** y/o los perfiles del **Acápite H**)

Información adicional y/o dibujos:

J.- Registros Audio – Visuales

J.1 Fotografías (haga tantas fotocopias como sea necesario de este formulario, copie y re-enumere las páginas)

Para cada foto importante proporcione: lugar, fecha, hora, quién la tomó, muestra Rollo N°..... Marca..... ASA..... Exp. 24/36, diapositivas o negativos

1	
2	
3	
4	

J.2 Fotografías Aéreas (haga tantas fotocopias como sea necesario de este formulario, copie y re-enumere las páginas)

Para cada foto importante proporcione: lugar, fecha, hora, quién la tomó, muestra Altura de vuelo.....m. Velocidad del avión..... Angulo oblicuo Ubicación del sol Rollo N°..... Marca..... ASA..... Exp. 24/36, diapositivas o negativos Blanco & Negro Color..... Infrarrojo.....

1	
2	
3	
4	

J.3 Vídeos (haga tantas fotocopias como sea necesario de este formulario, copie y re-enumere las páginas)

Para cada escena filmada proporcione: lugar, fecha, hora, quién la tomó, muestra y duración aproximada

Rollo N°..... Marca..... Tipo..... Extensión.....

Escenas:

1	
2	
3	

J.4 Cassettes de audio (haga tantas fotocopias como sea necesario de este formulario, copie y re-enumere las páginas)

Para cada grabación proporcione: lugar, fecha, hora, quién la grabó, contenido y duración aproximada

Cassette N° Marca Tipo Extensión

Lado: A o B

1	
2	
3	
4	
5	

K.- Daños y víctimas por el tsunami (llene un formulario para cada lugar visitado, copie y re-enumere las páginas)

Nombre del lugar

Ubicación del lugar (si es posible con GPS) Lat. Long.
(indíquelo en el mapa)

Nota: Indique los daños y víctimas debidas solo al tsunami

Víctimas:

	Muertas	Perdidas	Gravemente Heridas	Levemente Heridas
N° de Personas				

Daños:

	N° de casas o edificios	Tipo prevaeciente de material de construcción
Barridas		
Totalmente destruidas		
Parcialmente destruidas		
Inundadas		
Sin daños		

Naturaleza del daño:

Primaria (inducida por onda / agua): Inundación..... Flotación

Presión Cubrimiento total.....

Fuerzas de arrastre / inercia.....

Secundaria (efectos gatillados): Incendio..... Explosión Impacto

Arrastre del terreno..... Contaminación Otro.....

K.- Daños y víctimas por el tsunami Describa los efectos del tsunami y los daños sobre:

a) La Naturaleza (vegetación arrancada, sedimentos transportados, arrecifes de coral expuestos, etc.)

b) Infraestructura hecha por el hombre: (destrucción y/o daño a las viviendas, caminos, facilidades portuarias, plantas generadoras de electricidad, servicios básicos, líneas de comunicación, tanques de abastecimiento, etc.)

L.- Respuesta del Público y de las Autoridades

¿Se establecieron alertas o alarmas de tsunami y fueron oportunamente recibidas?

¿Cuán efectivas fueron la planificación, las operaciones y las evacuaciones?

Respuesta de los diferentes segmentos de la población (ancianos, discapacitados, menores, etc.)

Motivos de las pérdidas de vidas:

Comentarios adicionales:

