



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES



Banco Mundial

***ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
Y ZONIFICACIÓN DE PELIGRO DE TSUNAMI
EN LAS CIUDADES DE CHINCHA BAJA
Y TAMBO DE MORA***

INFORME FINAL

Lima – Agosto, 2008

ÍNDICE

1. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN POST-DESASTRE

1.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	1
1.1.1 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	1
1.1.2 SECTORIZACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE DATOS DE CAMPO.....	5
1.1.3 PROCEDIMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DE DATOS DE CAMPO.....	5
1.1.4 COORDINACIÓN CON OTRAS ENTIDADES.....	6
1.1.5 GEOREFERENCIACIÓN Y COMPATIBILIZACIÓN DE PLANOS ..	6
1.2 ANÁLISIS TEMÁTICO Y SITUACIONAL ACTUAL DE LA CIUDAD DE TAMBO DE MORA.....	7
1.2.1 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE DAÑOS	7
1.2.2 TIPIFICACIÓN DE DAÑOS	7
1.2.3 EVALUACIÓN DE DAÑOS MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE.....	11
1.2.4 ELABORACIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES.....	12
1.2.5 EVALUACIÓN DE DAÑOS COMPATIBILIZADA.....	14
1.3 ANÁLISIS TEMÁTICO Y SITUACIONAL ACTUAL DE LA CIUDAD DE CHINCHA BAJA	15
1.3.1 TIPIFICACIÓN DE DAÑOS	15
1.3.2 EVALUACIÓN DE DAÑOS COMPATIBILIZADA.....	18
1.4 CONCLUSIONES.....	19

2. ANÁLISIS DEL PELIGRO DE TSUNAMIS

2.1 EL TSUNAMI DEL 15 DE AGOSTO DEL 2007	24
2.2 EFECTOS DEL TSUNAMI EN TAMBO DE MORA Y CHINCHA BAJA..	27
2.3 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN DE TSUNAMI EN TAMBO DE MORA Y CHINCHA BAJA.....	29
2.3.1 ANÁLISIS DE REFRACCIÓN DEL TSUNAMI DEL 15 DE AGOSTO DEL 2008	31
2.3.2 DETERMINACIÓN DE LA INUNDACIÓN MÁXIMA PARA TAMBO DE MORA	33
2.4 CONCLUSIONES.....	36
2.5 RECOMENDACIONES.....	37

2.6 REFERENCIAS	39
3. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	
3.1 ANTECEDENTES	41
3.2 CONDICIONES TOPOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS	41
3.2.1 TOPOGRAFÍA	41
3.2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	42
3.3 SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO	49
3.3.1 EL TERREMOTO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007	49
3.3.2 EVALUACIÓN DE PELIGRO SÍSMICO PROBABILÍSTICO	54
3.4 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS.....	56
3.4.1 INTRODUCCIÓN	56
3.4.2 EXPLORACIÓN DE CAMPO – MECÁNICA DE SUELOS.....	57
3.4.3 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	59
3.4.4 MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE TAMBO DE MORA .	59
3.4.5 MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE CHINCHA BAJA.....	64
3.5 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LOS SUELOS.....	67
3.5.1 INTRODUCCIÓN	67
3.5.2 ENSAYOS DE MEDICIÓN DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO MASW.....	67
3.5.3 MEDICIÓN DE MICROTREPIDACIONES	79
3.5.4 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN	85
3.6 ÁREA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI	87
3.6.1 ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI EN TAMBO DE MORA.....	88
3.7 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	88
3.7.1 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE TAMBO DE MORA	88
3.7.2 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE CHINCHA BAJA.....	90
3.8 REFERENCIAS	92
4. ÁREAS DE EXPANSIÓN Y DESARROLLO URBANO	
4.1 HISTORIA DEL TERRITORIO.....	94

4.2 SITUACIÓN ACTUAL	102
4.3 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO	102
4.3.1 POBLACIÓN	102
4.3.2 VIVIENDA	104
4.4 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS	104
4.4.1 AGRICULTURA	104
4.4.2 TURISMO	105
4.4.3 EMPLEO EN LA CIUDAD DE CHINCHA.....	105
4.5 VIALIDAD REGIONAL URBANA.....	106
4.6 PATRONES DE CRECIMIENTO URBANO DE LAS CIUDADES DE CHINCHA BAJA Y TAMBO DE MORA.....	106
4.7 PROPUESTA DE CRECIMIENTO URBANO PARA LAS CIUDADES DE CHINCHA BAJA Y TAMBO DE MORA.....	107
5. PROPUESTA DE VIVIENDA SISMORRESISTENTE	
5.1 EVALUACIÓN DE MODELOS EXISTENTES DESARROLLADOS EN CISMID-FIC-UNI.....	109
5.1.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO SERVIVIENDA – HOGAR DE CRISTO	109
5.1.2 SISTEMA SUPERBOARD - ETERNIT	111
5.1.3 SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	113
5.1.4 SISTEMA DE CONSTRUCTIVO CS	114
5.2 DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA POSIBLE DE ACUERDO AL NIVEL SOCIOECONOMICO	117
5.3 ENSAYOS SUSTENTATORIOS DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA..	117
5.4 CONCLUSIONES.....	120

ANEXOS

ANEXO I. LEVANTAMIENTO DE DAÑOS

MAPAS DE LA CIUDAD DE CHINCHA BAJA
MAPAS DE LA CIUDAD DE TAMBO DE MORA



ANEXO II. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

TABLAS

- TABLA A-1: Resumen de los Ensayos de Clasificación de Suelos – Muestras de Suelos de los Ensayos SPT en la Ciudad de Tambo de Mora.
- TABLA A-2: Resumen de los Ensayos de Clasificación de Suelos – Muestras de Suelos de las Calicatas en la Ciudad de Tambo de Mora.
- TABLA A-3: Resumen de los Ensayos de Clasificación de Suelos – Muestras de Suelos de las Calicatas en la Ciudad de Chincha Baja.
- TABLA B-1: Relación de Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW.
- TABLA B-2: Resumen de los Sondajes de Velocidades de Ondas S.

SECCIÓN A: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA DIRECTA

- ANEXO A-1 : Registros de Sondajes Ejecutados.
- ANEXO A-2 : Certificado de Ensayos de Laboratorio
- ANEXO A-3 : Panel Fotográfico de la Exploración de Campo

SECCIÓN B: ENSAYOS GEOFÍSICOS

- ANEXO B-1 : Sondajes Sísmicos de Ondas S
- ANEXO B-2 : Registros de Microtrepidaciones
- ANEXO B-3 : Panel Fotográfico de los Ensayos Geofísicos

SECCIÓN C: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

- ANEXO C-1 : Resultados de la Evaluación del Potencial de Licuación

PLANOS

- PLANO P-01: Ubicación del Área de Estudio.
- PLANO P-02: Mapa Geológico Regional del Área de Estudio.
- PLANO P-03: Ubicación de Sondajes y Ensayos MASW - Tambo de Mora.
- PLANO P-04: Ubicación de Sondajes y Ensayos MASW - Chincha Baja.
- PLANO P-05: Tipos de Suelos a 1.0 m de Profundidad – Tambo de Mora.
- PLANO P-06: Tipos de Suelos a 1.5 m de Profundidad – Tambo de Mora.
- PLANO P-07: Tipos de Suelos a 2.5 m de Profundidad – Tambo de Mora.
- PLANO P-08: Mapa de Microzonificación Geotécnica de Tambo de Mora.
- PLANO P-09: Tipos de Suelos a 1.0 m de Profundidad – Chincha Baja.
- PLANO P-10: Tipos de Suelos a 2.0 m de Profundidad – Chincha Baja.
- PLANO P-11: Mapa de Microzonificación Geotécnica de Chincha Baja.
- PLANO P-12: Ubicación de Puntos de Microtrepidaciones – Tambo de Mora.



- PLANO P-13: Ubicación de Puntos de Microtrepidaciones – Chincha Baja.
PLANO P-14: Zonas de Isoperiodos de Tambo de Mora
PLANO P-15: Zonas de Isoperiodos de Chincha Baja.
PLANO P-16: Potencial de Licuación de Suelos de Tambo de Mora.
PLANO P-17: Mapa de Inundación por Tsunami – Tambo de Mora.
PLANO P-18: Mapa de Microzonificación Sísmica de Tambo de Mora.
PLANO P-19: Mapa de Microzonificación Sísmica de Chincha Baja.

ANEXO III. ÁREAS DE EXPANSIÓN Y DESARROLLO URBANO

MAPAS

- MAPA N°1: Ubicación de los principales centros arqueológicos del Valle de Chíncha
MAPA N°2: Referencia “Plan Director de Chíncha”
MAPA N°3: Propuesta de usos del suelo al 2015

GRÁFICOS

- GRÁFICO N°1: Población por distritos
GRÁFICO N°2: Pirámides de edades Chíncha Baja
GRÁFICO N°3: Pirámides de edades Tambo de Mora
GRÁFICO N°4: Abastecimiento de agua Chíncha Baja
GRÁFICO N°5: Abastecimiento de agua Tambo de Mora
GRÁFICO N°6: Índices de empleo

CUADROS

- CUADRO N°1: Incrementos intercensales
CUADRO N°2: Tasas de crecimiento
CUADRO N°3: Centros poblados Chíncha Baja
CUADRO N°4: Centros poblados Tambo de Mora

ANEXO IV. PROPUESTA DE VIVIENDA SISMORRESISTENTE

- SECCIÓN A : FORMATOS DE ENSAYOS
SECCIÓN B : PLANOS



1. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN POST DESASTRE

1.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

1.1.1 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

a) Preparación de Actividades, coordinación y personal

Se organizaron 5 grupos de trabajo, seleccionándose 2 personas por cada grupo para el levantamiento de información de campo, contando con un total de 10 personas para el levantamiento de la información. El personal seleccionado estuvo formado por un grupo de jóvenes Ingenieros, Estudiantes de Post grado y Estudiantes del último año de ingeniería, y recibió un entrenamiento basado en el procedimiento de evaluación de daños utilizado por expertos Japoneses de JICA en el sismo de Turquía (17/8/1999) donde miles de edificaciones de adobe colapsaron producto del sismo. Este procedimiento ha sido adaptado a la realidad peruana para poder ser utilizado en los sistemas constructivos predominantes en la zona afectada por el terremoto del 15/8/2007.

b) Metodología de toma de datos

Este procedimiento se basa en la toma de información rápida post evento sísmico en viviendas de adobe, albañilería, quincha y concreto. Estos cuatro materiales son los predominantes en la zona del desastre.

La metodología consiste en una inspección rápida del edificio dañado identificando aquellos elementos estructurales (muros, vigas, columnas, sistema de techos) que hayan sufrido daño, así como su nivel de afectación debido al sismo. De acuerdo al porcentaje de elementos visualmente evaluados, se determina el grado de daño de la estructura, concluyéndose si la estructura no posee daño, posee un daño leve, un daño moderado, un daño severo o presenta colapso.

c) Plantilla para la encuesta

Para tal efecto se utilizaron fichas de evaluación de daños utilizadas en la evaluación rápida de estructuras, las cuales se presentan en las Figuras 1.1. La ficha está dividida en cinco áreas:

- Área de identificación de la estructura incluyendo su uso
- Croquis de ayuda.
- Área de información de sus habitantes.
- Área de identificación geométrica aproximada

- Información del daño por material.

Esta información es complementada con la toma de una fotografía por lote o por cuadra, donde se pueda identificar a la estructura. Asimismo, si por razones de seguridad no se pudiera tomar la foto, se utilizará la imagen satelital para mostrar en el sistema de información la ubicación y estado de la estructura.

FICHA DE EVALUACION PRELIMINAR POST-EVENTO SISMICO PARA EDIFICACIONES DE ADOBE*		
1.0.DOMICILIO		
1.1.DIRECCION		
1.2.DEPARTAMENTO :	1.3.PROVINCIA :	P
1.4.DISTRITO :	1.5.ZONA Y MANZANA :	
2.0.DESCRIPCION		
2.1.AREA CONSTRUIDA (APROXIMADA) :		m2
2.2.NUMERO DE SOTANOS :	2.3.NUMERO DE PISOS :	
2.4.USO :	2.5.LARGO DE FACHADA :	
3.0. ESTADO ESTRUCTURAL		
3.1. Derrumbe parcial :	SI (70)	NO (0)
3.2. Inclinación de muros	SI (70)	NO (0)
3.3. Daños en muros		
3.3.1. UNIDADES DE ADOBE	SI (70)	NO (0)
3.3.2. TARRAJEO	SI (50)	NO (0)
4.0. Estado de los Alrededores		
4.1. Agrietamiento en el suelo	SI (0)	NO (0)
4.2. Hundimiento en el Suelo	SI (0)	NO (0)
PUNTAJE TOTAL		
5.0. Observaciones y Comentarios		
5.1. NOMBRE DEL EVALUADOR :		
5.2. FECHA DE EVALUACION :		
5.3. HORA DE INICIO :	5.4. HORA FINAL :	
6.0. Condición Final del Establecimiento		
FIRMA	Intervalo del Puntaje	Calificativo
	Mayor 65	GRAVE
	35 -65	MODERADO
	Menor a 35	LEVE

Figura 1.1-a. Ficha de Evaluación de daños. Estructuras de adobe.

FICHA DE EVALUACION PRELIMINAR POST-EVENTO SISMICO PARA EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA *					
1.0. DOMICILIO					
1.1. DIRECCION					
1.2. DEPARTAMENTO :		I	1.3. PROVINCIA :		PIS
1.4. DISTRITO :			1.5. ZONA Y MANZANA :		
2.0. DESCRIPCION					
2.1. AREA CONSTRUIDA (APROXIMADA) :				m ²	
2.2. NUMERO DE SOTANOS :		2.3. NUMERO DE PISOS :			
2.4. USO :		2.5. LARGO DE FACHADA :			
3.0. ESTADO ESTRUCTURAL					
3.1. Derrumbe parcial ó total :				SI (70)	NO (0)
3.2. Inclínación notoria de la edificación o algún entrepiso				SI (70)	NO (0)
Sí 3.1 ó 3.2 existen trasladarse a 3.7, 3.8 y 3.9					
3.3. Daños en elementos estructurales (daños locales)					
ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO		EXPOSICIÓN DE ACERO DE REFUERZO		GRIETAS DEL CONCRETO	
COLUMNAS		SI (40)	NO (0)	SI (20)	NO (0)
VIGAS		SI (40)	NO (0)	SI (20)	NO (0)
MUROS DE ALBAÑILERIA	ESPESOR DE GRIETAS				
GRIETAS	ANCHO DE LAPICERO		ANCHO DE UÑA		ANCHO DE PAPEL
DIAGONAL	SI (50)	NO (0)	SI (40)	NO (0)	SI (30)
HORIZONTAL Y/O VERTICAL	SI (0)	NO (0)	SI (0)	NO (0)	SI (0)
3.4. Las grietas observadas permiten ver a través del muro				SI (10)	NO (0)
3.5. Líneas vitales ó tuberías rotas en uno o más pisos				SI (0)	NO (0)
3.6. Caída de mobiliario y/o equipos, etc.				SI (0)	NO (0)
3.7. Asimetría (planta o elevación)				SI (0)	NO (0)
3.8. Agrietamiento del suelo				SI (0)	NO (0)
3.9. Hundimiento del suelo				SI (0)	NO (0)
PUNTAJE TOTAL					
4.0. Observaciones y Comentarios					
4.1. NOMBRE DEL EVALUADOR :					
4.2. FECHA DE EVALUACION :					
4.3. HORA DE INICIO :			4.4. HORA FINAL :		
5.0. Condición Final					
FIRMA	Intervalo del Puntaje		Calificativo		
	Mayor 65		GRAVE		
	35 -65		MODERADO		
Menor a 35		LEVE			

Figura 1.1-b. Ficha de Evaluación de daños. Estructuras de albañilería.

FICHA DE EVALUACION PRELIMINAR POST-EVENTO SISMICO PARA EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO*				
1.0. DOMICILIO				
1.1. DIRECCION				
1.2. DEPARTAMENTO :		ICA	1.3. PROVINCIA : PISCO	
1.4. DISTRITO :			1.5. ZONA Y MANZANA :	
2.0. DESCRIPCION				
2.1. AREA CONSTRUIDA (APROXIMADA) :				m ²
2.2. NUMERO DE SOTANOS :		2.3. NUMERO DE PISOS :		
2.4. USO :		2.5. LARGO DE FACHADA :		
3.0. ESTADO ESTRUCTURAL				
3.1. Derrumbe parcial ó total :			SI (70)	NO (0)
3.2. Inclinación notoria de la edificación o algún entrepiso			SI (70)	NO (0)
Sí 3.1 ó 3.2 existen trasladarse a 3.7, 3.8 y 3.9				
3.3. Daños en elementos estructurales (daños locales)				
ELEMENTOS	EXPOSICIÓN DE ACERO DE REFUERZO		AGRIETAMIENTO DEL CONCRETO	
PLACAS	SI (40)	NO (0)	SI (20)	NO (0)
COLUMNAS	SI (40)	NO (0)	SI (20)	NO (0)
VIGAS	SI (40)	NO (0)	SI (20)	NO (0)
LOZAS	SI (40)	NO (0)	SI (20)	NO (0)
3.4. Agrietamientos en muro (tabiquería)			SI (10)	NO (0)
3.5. Líneas vitales ó tuberías rotas en uno o más pisos			SI (0)	NO (0)
3.6. Caída y/o Desplazamiento de mobiliario, equipos, etc.			SI (0)	NO (0)
3.7. Asimetría (planta o elevación)			SI (0)	NO (0)
3.8. Agrietamiento del suelo			SI (0)	NO (0)
3.9. Hundimiento del suelo			SI (0)	NO (0)
PUNTAJE TOTAL				
4.0. Observaciones y Comentarios				
4.1. NOMBRE DEL EVALUADOR :				
4.2. FECHA DE EVALUACION :				
4.3. HORA DE INICIO :			4.4. HORA FINAL :	
5.0. Condición Final				
FIRMA	Intervalo del Puntaje		Calificativo	
	Mayor 65		GRAVE	
	35 -65		MODERADO	
	Menor a 35		LEVE	

Figura 1.1-c. Ficha de Evaluación de daños. Estructuras de concreto.

1.1.2 SECTORIZACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

a) Preparación de planos para la toma de datos.

Para el desarrollo del trabajo de campo se utilizó la información de planos georeferenciados facilitados por COFOPRI, obteniéndose planos para la preparación de los trabajos de campo en las zonas comprometidas.

b) Preparación de imágenes de satélite para la localización de puntos de interés.

Se adquirieron las imágenes de satélite de alta resolución pre-evento y post-evento para las ciudades de Tambo de Mora y Chincha Baja. Con estas imágenes se localizaron las áreas con daño severo y colapso, seleccionándose aquellos lugares con mayor incidencia de daño aparente, deducido a partir de la ubicación de los escombros, utilizando los espectros de las bandas multiespectrales.

c) Distribución de coordinadores responsables de los equipos de evaluadores.

Con los cinco equipos, de dos evaluadores cada uno, realizó un trabajo de campo por un espacio dos semanas. Los coordinadores de grupo, sectorizaron las ciudades a desarrollar para que cada grupo trabajase en las zonas involucradas, reportando la información levantada a los coordinadores, quienes con sus asistentes, transfirieron la información generada en las fichas a una base de datos utilizando una hoja de cálculo con campos similares al de la ficha. Esta información fue introducida a un sistema de información geográfica (SIG) para su georeferenciación espacial.

1.1.3 PROCEDIMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DE DATOS DE CAMPO

a) Digitalización de datos de campo en una plataforma de sistemas de información geográfica.

La información recabada en campo fue vertida en una base de datos en formato SHAPE, la cual fue procesada por el programa ArcGis versión 9.2. La digitalización fue desarrollada por cuatro asistentes y un supervisor, quienes procesaron la información de campo.

b) Clasificación de datos.

Se clasificó la base de datos según las características físicas de los predios levantados como: material predominante, número de pisos, uso y los diferentes niveles de daño.

c) Verificación de los datos recogidos.

Se llevaron a cabo dos niveles de control de calidad:

c1 - Control de calidad en campo, mediante el cual los coordinadores realizaron visitas de campo para verificar la información recolectada por los diferentes equipos, tomándose al azar manzanas y lotes que fueron verificados en el campo.

c2 – Un control de calidad en gabinete. Las imágenes de satélite pre y post evento, sumado al reconocimiento de campo, dieron como resultado la verificación del levantamiento de información de campo de las estructuras dañadas durante el sismo del 15/8/2007.

d) Corrección de datos errados.

Gracias al cuidado tomado en el proceso de capacitación de los grupos de evaluación y en la calidad del trabajo, no se reportaron errores en el proceso de levantamiento de información.

1.1.4 COORDINACIÓN CON OTRAS ENTIDADES

A través de las sedes en Lima y Chíncha de FORSUR, se solicitó a las diversas entidades gubernamentales, municipales y privadas, la información relevante para la ejecución del presente informe. Se recibió información de importancia de parte de COFOPRI, así como de los Municipios de Tambo de Mora y Chíncha Baja.

1.1.5 GEOREFERENCIACIÓN Y COMPATIBILIZACIÓN DE PLANOS

a) Definición del sistema de georeferenciación.

Según la normatividad actual, todos los planos producidos deben estar georeferenciados al sistema de coordenadas plano UTM que tiene como base el DATUM WGS84.

b) Compatibilización de planos provenientes de diferentes fuentes sobre la misma base cartográfica.

Los planos que estuvieron en otro sistema de coordenadas fueron convertidos al sistema en mención mediante los parámetros por defecto que otorga el programa ArcGis.

1.2 ANÁLISIS TEMÁTICO Y SITUACIONAL ACTUAL DE LA CIUDAD DE TAMBO DE MORA

1.2.1 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE DAÑOS

De la información recabada en el campo, se verificó que el material más usado en las edificaciones en la ciudad de Tambo de Mora es adobe (43.0 %), siguiéndole en importancia la albañilería (37.1%). De la totalidad de las edificaciones, el 45.5% colapsó, el 12.2 % presenta un daño severo, el 11.8% presenta daño moderado, el 12.6% presenta daño leve y el 17.0% no presenta daño. En más del 66.0 % de los casos, las viviendas de adobe colapsaron y 12% presentaron daño severo, debido a las condiciones desfavorables del suelo. De las viviendas de albañilería, el 21.0% de los casos colapsaron, mientras que el 16.0% presentaron daño severo, un 13.0% presentaron daño moderado, un 23.0% presentaron daño leve y un 27.0% se encontraron sin daño.

1.2.2 TIPIFICACIÓN DE DAÑOS

El daño sobre las estructuras está ligado con la demanda sísmica producida en la zona donde se encuentra la vivienda. De acuerdo a la norma de diseño sismorresistente NTE-030, a la norma de adobe NTE-080 y a la norma de albañilería NTE-070 del Reglamento Nacional de Edificaciones vigente, las estructuras deben resistir un sismo severo sin colapsar y deben resistir sismos moderados que puedan ocurrir durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables. Un sismo severo demandaría aceleraciones superiores a 0.40g. Es decir, la demanda sísmica está asociada al tipo de suelo y a la aceleración del subsuelo. A mayor competencia del suelo, menor aceleración de demanda y a menor competencia del suelo mayor aceleración de demanda. En consecuencia una estructura sujeta a mayor demanda tendrá mayor probabilidad de ser dañada que la misma estructura bajo menor demanda.

Ha sido evidente que gran parte de los daños ocurridos en la ciudad de Tambo de Mora se han debido a la poca competencia de los suelos y al potencial de licuación existente en las zonas cercanas a la playa. Se observó la existencia de

daños leves y fisuramiento ligero en los revestimientos, así como caídas de pequeños trozos de revoque. También se observaron **daños moderados** y grietas pequeñas en los muros, caída de grandes trozos de revoque, así como caída de cercos. Se observó que en los vanos de las ventanas a partir de las esquinas inferiores, aparecieron grietas diagonales hacia abajo. Los **daños severos** se manifestaron a través de grietas grandes y profundas en los muros, así como de destrucción parcial de los mismos, agrietamiento entre distintas partes o secciones de la edificación; el colapso de muros y techos con derrumbes parciales y totales de las viviendas. Finalmente, los daños graves son definidos por el colapso total de la edificación o corte vertical de la edificación por hundimiento del suelo.

Sobre suelos poco competentes, las viviendas de adobe colapsaron debido al colapso del suelo, por incremento de la demanda sísmica y por la ausencia de refuerzo en los muros de adobe, originándose aberturas de las esquinas y desalineamiento en cada uno de los planos de los muros, volteo de los muros (Fotos 1.1 al 1.4) y como consecuencia el desplome de los techos.



Foto 1.1: Volteo en muro de adobe



Foto 1.2: Colapso de casa de adobe



Foto 1.3: Colapso de muros y techo



Foto 1.4: Colapso de techo

Otra característica observada en los muros de adobe es la ausencia de dinteles o el hecho que el dintel no penetra suficientemente en el muro, lo que ocasionó

que un gran número de construcciones colapsaran, al no haber la suficiente ligazón entre los dinteles y los adobes sobre los mismos, lo que causó grietas horizontales severas (Foto 1.6). Esto se agudizó por la ausencia de una viga collar en la gran mayoría de los casos (Foto 1.5 y Foto 1.7), ocasionando también la aparición de grandes grietas verticales en los encuentros de muros, y el posterior colapso y volteo de los mismos, ocasionando la caída abrupta de los techos en una gran cantidad de viviendas y locales públicos construidos con este material. Un gran número de cercos y parapetos colapsaron al no existir refuerzo, como se muestra en la Foto 1.8.



Foto 1.5. Ausencia de viga collar



Foto 1.6. Ausencia de dintel

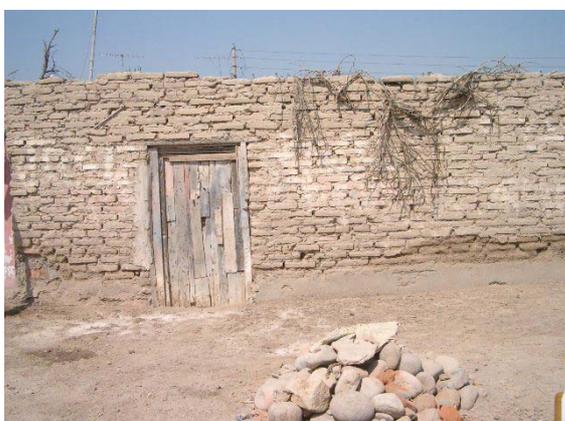


Foto 1.7. Ausencia de dintel y collar



Foto 1.8. Parapeto sin refuerzo

En las zonas cercanas a la costa, las estructuras de mampostería bien construidas sobre suelos poco competentes presentaron daños severos debido al hundimiento del suelo, que en muchos casos partió a la estructura (Fotos 1.9 y 1.10).



Foto 1.9. Hundimiento de vivienda



Foto 1.10. Colapso por hundimiento

En zonas con suelos de competencia intermedia, las viviendas de mampostería no sufrieron daños cuando su configuración fue regular o existía suficiente cantidad de muros (mayor al 4% del área), vigas collar y confinamientos (Fotos 1.11 y 1.12).



Foto 1.11. Viviendas sin daño



Foto 1.12. Viviendas sin daño

En algunos lotes correspondientes a fábricas (Foto 1.13), no se pudo identificar el nivel de daño debido a la imposibilidad de acceso.



Foto 1.13. Fábricas cerradas cerca de la zona costera.

1.2.3 EVALUACIÓN DE DAÑOS MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE

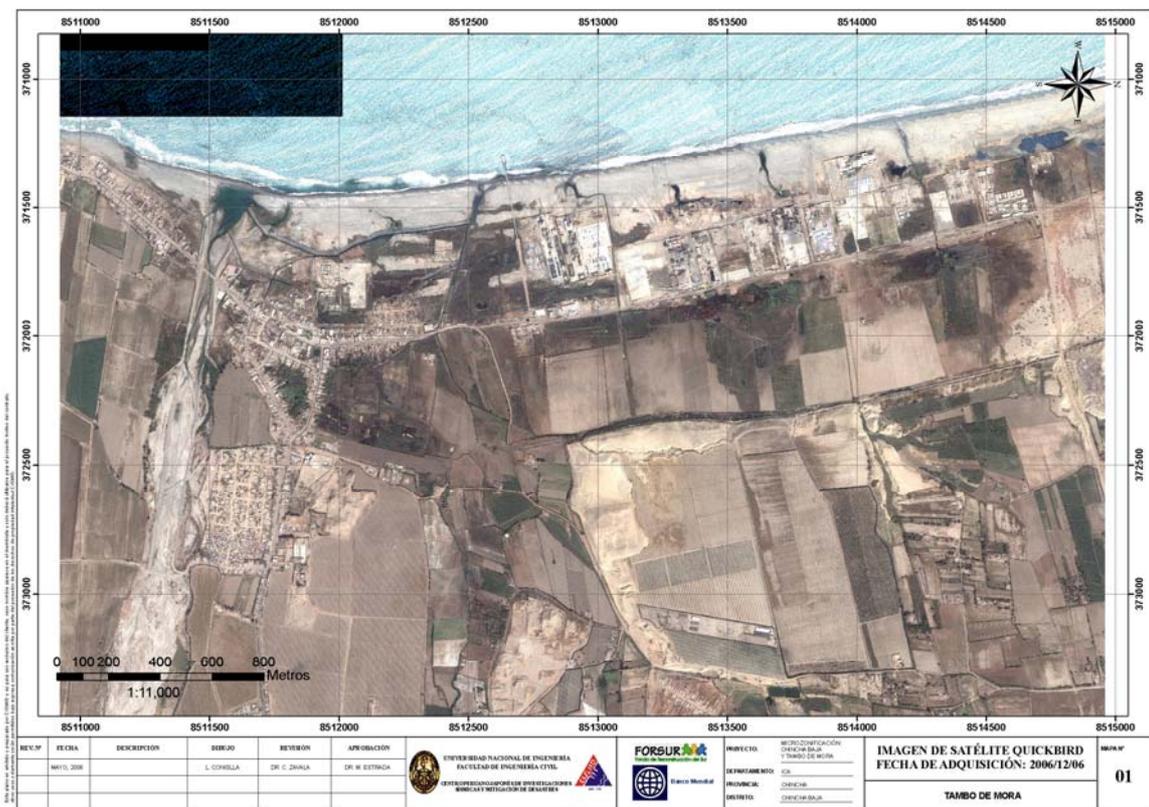
Para la evaluación de daños mediante el uso de imágenes de satélite se utilizaron imágenes de dos diferentes satélites de alta resolución. La imagen pre-evento fue adquirida el 6 de Diciembre del 2006, mientras que la imagen post-evento fue adquirida el 28 de Agosto del 2007, es decir 13 días después de la ocurrencia del sismo.

En el caso de la imagen pre-evento, proveniente del satélite Quickbird, se compone de cuatro bandas multiespectrales de 2.4 m. de resolución espacial y una banda pancromática de 0.60 m. de resolución. Las bandas multiespectrales se fusionaron con la banda pancromática para obtener imágenes de alta resolución a color, de manera que se favorezca el análisis visual.

En el caso de la imagen post-evento, se tuvo que adquirir una imagen de menor resolución, proveniente del satélite Ikonos, debido a las condiciones climáticas desfavorables que no permitieron al satélite Quickbird obtener una buena imagen de la zona de estudio. La imagen del satélite Ikonos también posee la misma cantidad de bandas pero a una menor resolución espacial. En este caso, las bandas multiespectrales tienen una resolución espacial de 4 m. y la banda pancromática una resolución espacial de 1 m.

Para la georeferenciación de las imágenes se realizó una campaña de toma de puntos GPS de alta precisión, distribuidos a través de toda la imagen. Estos puntos de alta precisión sirvieron tanto para la imagen pre-evento y post-evento, tomando como referencia el sistema de coordenadas UTM basado en el Datum WGS84.

Para la identificación individual de lotes, se sobrepuso el mapa georeferenciado de las ciudades en estudio sobre el resultado del análisis visual y de texturas, obteniéndose así un mapa de distribución de daños a nivel de lote en el área urbana de las ciudades de Tambo de Mora y Chincha Baja.

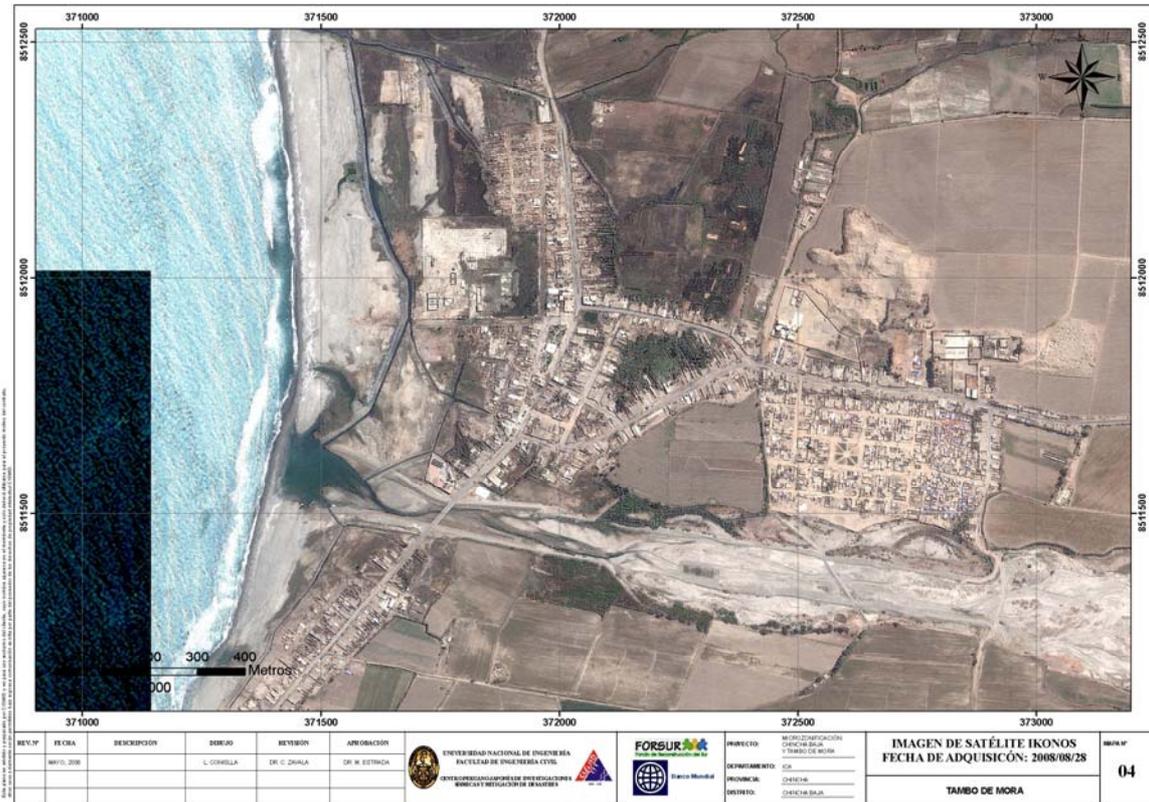


Mapa 1.1. Imagen de Tambo de Mora Pre-Evento

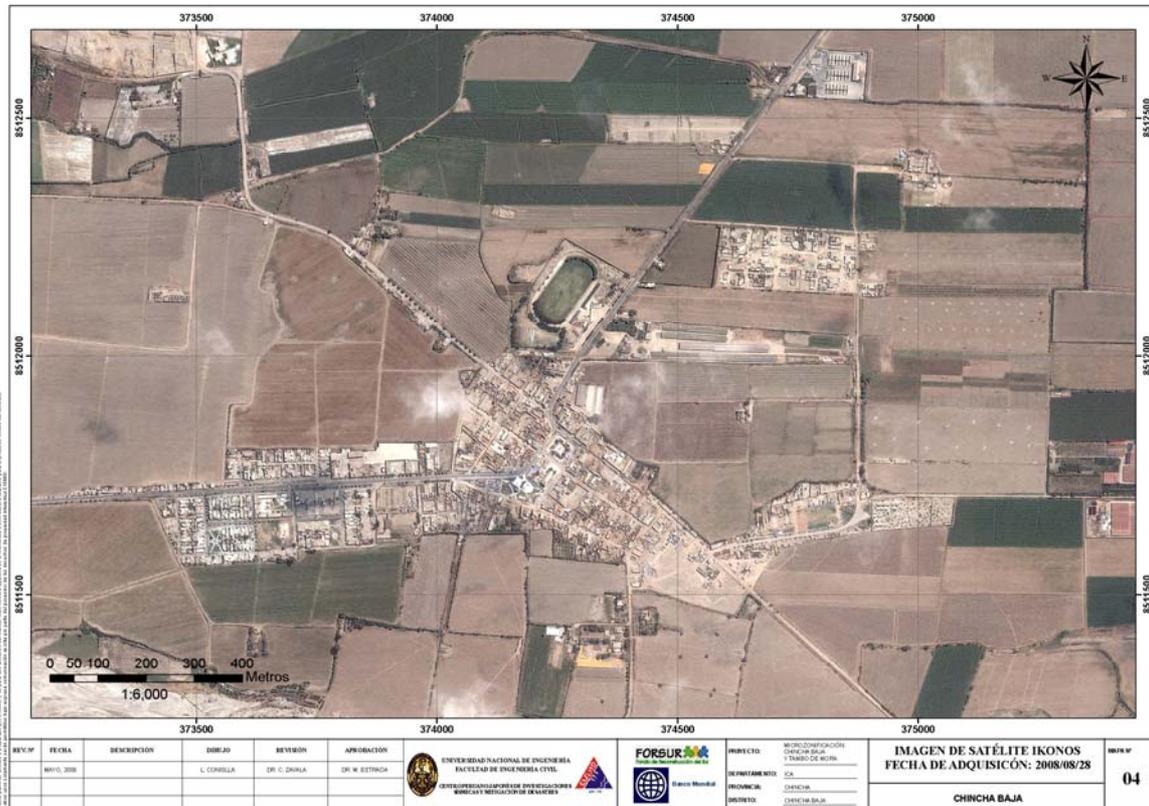
1.2.4 ELABORACIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES

Basados en la información de campo recolectada por CISMID/FIC/UNI, donde se levantó la información física de los predios, que se integró en un sistema de información geográfica (SIG), con la información referente al número de pisos de cada una de las edificaciones, lo cual permitió la creación de un modelo tridimensional de las zonas urbanas de Tambo de Mora y Chincha Baja.





Mapa 1.2. Imagen de Tambo de Mora. Post Evento.

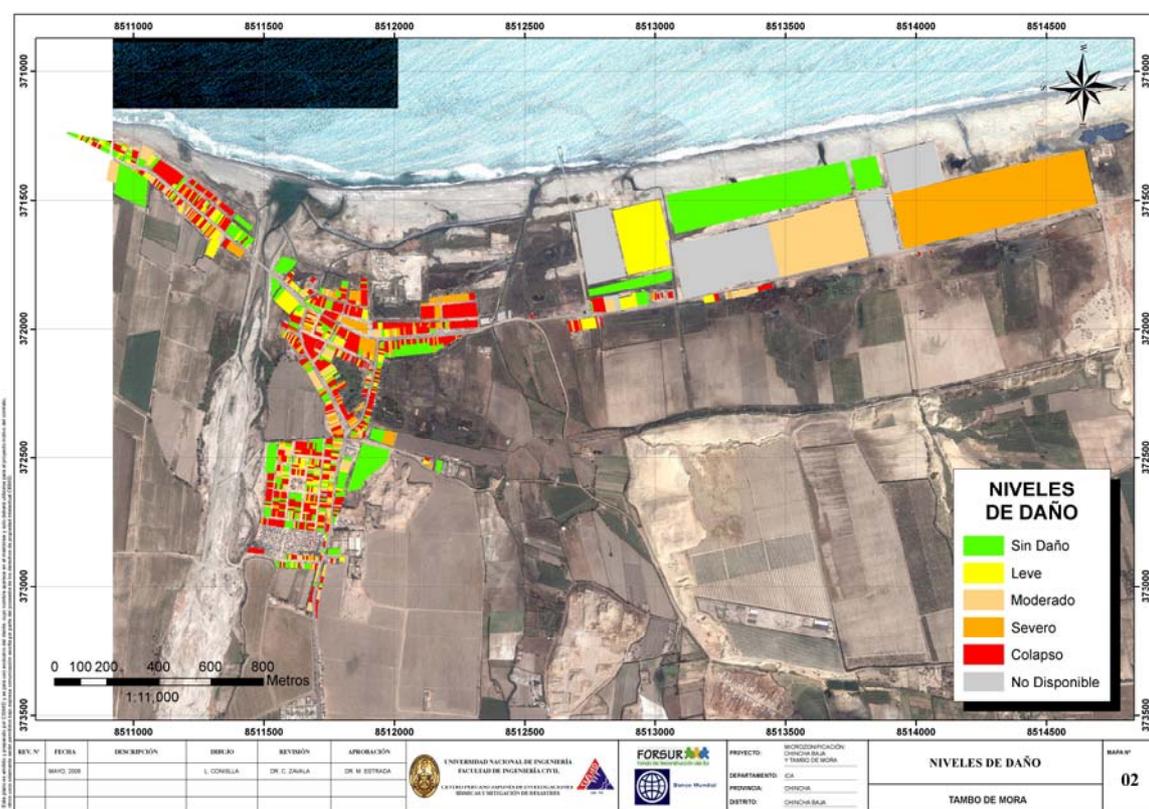


Mapa 1.3. Imagen de Chincha Baja. Post-evento



1.2.5 EVALUACIÓN DE DAÑOS COMPATIBILIZADA

Producto de la compatibilización de campo y gabinete se produjo el plano de levantamiento de daños de la ciudad de Tambo de Mora, el mismo que se presenta en el Mapa 1.4. Los suelos blandos coinciden con concentración de daño en estas zonas, donde viviendas de adobe y mampostería han sufrido daños irreparables producto del efecto de la licuación. Esto se manifiesta en la mayor concentración de daños que se presentó en la zona costera. Se observa una gran concentración de daño severo y colapso en la zona céntrica de la ciudad.



Mapa 1.4. Levantamiento de Daños, Ciudad de Tambo de Mora. Sismo 15/8/2007

1.3 ANÁLISIS TEMÁTICO Y SITUACIONAL ACTUAL DE LA CIUDAD DE CHINCHA BAJA

La ciudad de Chincha Baja ha evolucionado en el tiempo, teniendo viviendas de adobe en su zona céntrica y viviendas de albañilería en las urbanizaciones circundantes. De la información de campo recopilada, se encontró que el 50.6% de sus edificaciones son de adobe, mientras que la albañilería representa un 41.4% del total de las viviendas, con una mínima cantidad de edificaciones de concreto, que solo representan el 0.6% en la ciudad.

Considerando el total de las edificaciones de la ciudad, se encontró que el 32.1% colapsó durante el sismo, mientras que el 6% experimentó daño severo, un 7.9 % tuvo daño moderado, un 15.6% obtuvo daño leve y un 38.3% permaneció sin daño luego del sismo del 15/8/2007.

Del total de edificaciones de adobe el 57% colapsó, mientras que el 10% presentó un daño severo y un 12% un daño moderado. El 14% de las viviendas de adobe mostró un daño leve y el 7% de estas viviendas permaneció sin daño luego del sismo. Estas estadísticas demuestran lo vulnerable que es el adobe como material ante un sismo severo, si no cuenta con elementos de refuerzo.

Considerando el total de las edificaciones de albañilería, se encontró que el 71% no experimentó daño, mientras que el 20% tuvo daño leve y 4% un daño moderado. En este material sólo el 2% experimentó daño severo y el 3% colapsó. Se debe destacar que en la mayoría de colapsos ocurrieron por falta de refuerzo o porque la edificación era antigua. El alto porcentaje de viviendas sin daño muestra que la albañilería se ha usado primordialmente en las construcciones de las nuevas urbanizaciones.

1.3.1 TIPIFICACIÓN DE DAÑOS

La ciudad de Chincha Baja presenta una mayor concentración de daños en su zona céntrica, alrededor de su plaza principal. Edificaciones muy antiguas construidas con adobe fueron seriamente afectadas por el sismo.

En la zona céntrica que se encuentra en torno a la Plaza de Armas, en las direcciones Noroeste y Sureste, existe una mayor concentración de daño en las viviendas, en su mayoría edificaciones antiguas de adobe que han sufrido desplomes de techos, como el mostrado en la Foto 1.14. Asimismo, existen edificios importantes como la Catedral de Chincha Baja que ha sufrido fuertes daños en sus torres construidas en quincha y con desplomes del acabado exterior, que demandan una intervención en la misma a fin de conservar este patrimonio del pueblo, como se observa en la Foto 1.15.



Foto 1.14. Desplome de techo



Foto 1.15. Iglesia de adobe+ quincha dañada



Foto 1.16. Muros de adobe sin solera



Foto 1.17. Edificio con desplomes parciales

Las viviendas de adobe colapsaron en más del 57%, encontrándose los patrones de falla típicos en este tipo de estructura, tales como las aberturas de las esquinas por falta de refuerzo y el posterior colapso parcial de muros seguido de un desplome de techos por ausencia de confinamientos y solera, como se puede apreciar en la Foto 1.16. En otros casos, como el mostrado en la Foto 1.17, los muros se han fisurado y parcialmente se han desplomado, originando caída parcial de los techos, falla muy peligrosa pues ocasiona pérdidas materiales y humanas.

Las edificaciones de adobe y de mampostería que poseían elementos de refuerzo esquineros ó poseían vigas soleras en la parte superior de los muros (Fotos 1.20 y 1.21), han soportado la demanda del sismo con daños moderados (Fotos 1.18 y 1.19) y en algunos casos leves.



Foto 1.18. Vivienda con daño moderado



Foto 1.19. Vivienda con daño moderado



Foto 1.20. Vivienda de Adobe con solera



Foto 1.21. Albañilería confinada y solera



Foto 1.22. Albañilería confinada



Foto 1.23. Albañilería confinada y solera



Fotos 1.24. Viviendas de albañilería confinada sin daño en la Urb. Juan XXIII

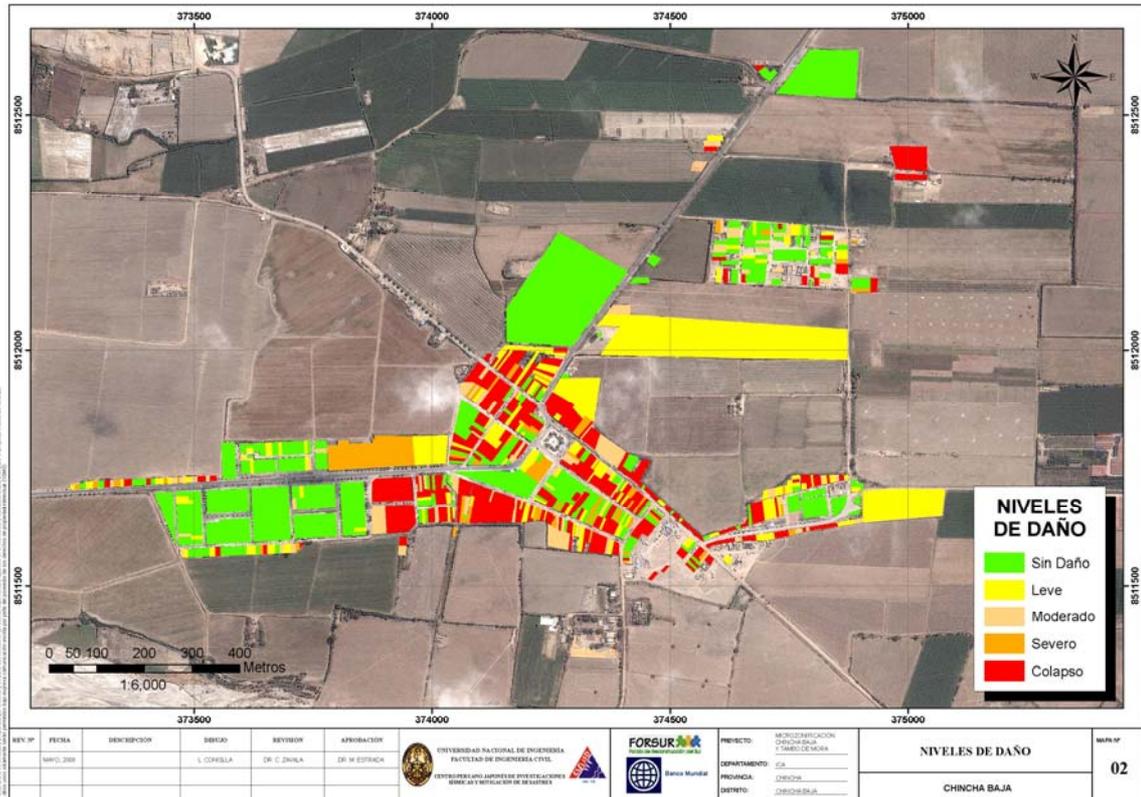
Las Fotos 1.22 y 1.23 muestran edificaciones de albañilería confinada construidas con soleras ubicadas en la zona céntrica de Chincha Baja. Puede observarse que no muestran signos de daño.

Una de las zonas que no sufrió daño fue la Urb. Juan XXIII, donde la Foto 1.24 muestra las viviendas de albañilería confinada, con una antigüedad menor a 15 años en donde se aprecia que en su mayoría no sufrió daño y solo unas pocas viviendas tuvieron daño leve.

1.3.2 EVALUACIÓN DE DAÑOS COMPATIBILIZADA

Producto de la compatibilización de campo y gabinete se produjo el plano de levantamiento de daños de la ciudad de Chincha Baja, el mismo que se presenta en el Mapa 1.5. Los suelos poco competentes con concentración de daño se ubican alrededor de la plaza central, donde viviendas de adobe y mampostería antiguas han sufrido daños severos. Otras zonas con viviendas modernas presentan una concentración de daño despreciable como es el caso de la Urb. Juan XXIII.

En el Anexo I se presentan los mapas en tamaño A-3 para su mejor visualización.



Mapa 1.5. Levantamiento de Daños Ciudad de Chinchá Baja Sismo 15/8/2007

1.4 CONCLUSIONES

- Se desarrolló el levantamiento de información post-desastre, ejecutándose una campaña de 10 días en campo, trabajando bajo dos frentes de trabajo y un grupo supervisor del control de calidad de la información.
- Las tareas desarrolladas fueron las siguientes:
 - Identificación del nivel de daño, describiendo el tipo de edificación afectada, tipo de material, sistema estructural, etc.
 - Georeferenciación de la información a través de una base de datos, basada en la recolección de la información de campo.
 - Evaluación y compatibilización de la información usando imágenes de satélite de alta resolución.
 - Identificación de las zonas con viviendas vulnerables basados en el comportamiento expuesto durante el sismo.
 - Presentación de la información a través de planos identificando las zonas que sufrieron mayor daño y las zonas que fueron menos afectadas.
- El daño en la ciudad de Tambo de Mora se produjo principalmente en edificaciones antiguas y no ingenieriles, construidas con material adobe y en

edificaciones de mampostería con y sin refuerzo que estuvieron construidas sobre suelos con alto potencial de licuación, en la zona central frente a la costa.

- En la Figura 1.2 presenta la distribución de vivienda por tipo de material para la ciudad de Tambo de Mora. Del total de viviendas, las edificaciones de adobe representan el 82%, seguido por las viviendas de albañilería que representan el 37.1%.

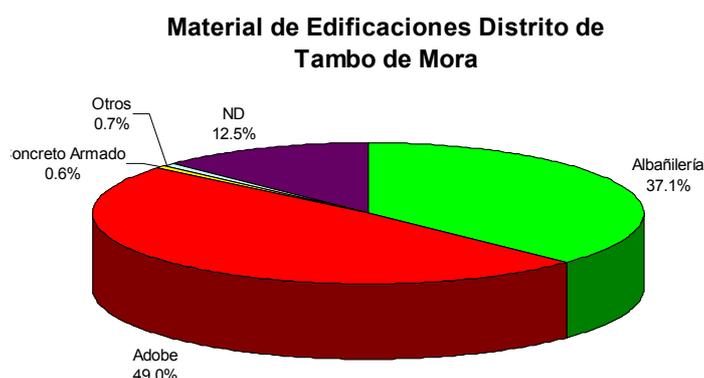


Figura 1.2. Distribución de edificaciones por tipo de material. Tambo de Mora.

- En la Figura 1.3 presenta la distribución daño del total de viviendas para la ciudad de Tambo de Mora. El 45% experimentó colapso, mientras que el 12.2 % tuvo daño severo y 11.8% daño moderado. El 12.6 % experimentó daño leve y el 17% no sufrió daño.

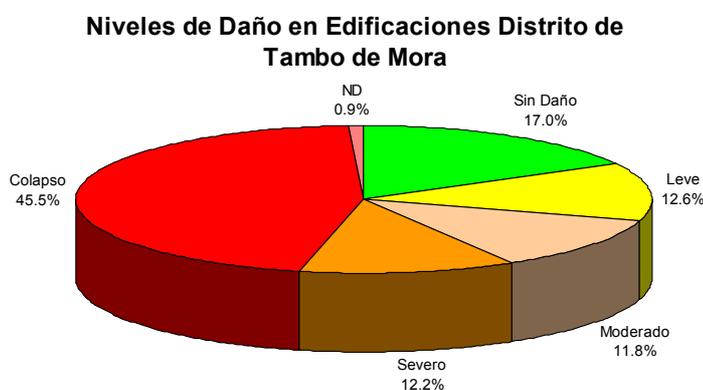


Figura 1.3. Distribución general de daños en edificaciones. Tambo de Mora.

- Considerando las edificaciones de adobe, se encontró que el 66% de éstas colapsó, mientras que el 12% tuvieron daño severo y 14% moderado. Un 7% tuvieron daño leve y un 1% no tuvo daño. La Figura 1.4 presenta los porcentajes de daño para este material.

**Niveles de Daño en Edificaciones de Adobe
Distrito de Tambo de Mora**

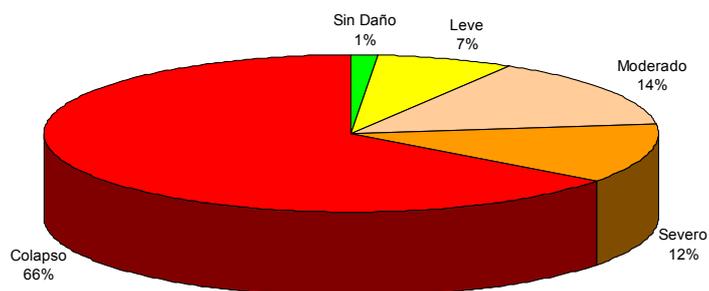


Figura 1.4. Daños en edificaciones de adobe. Tambo de Mora.

- Las edificaciones de albañilería colapsaron en un 21% y entre daño severo y moderado se tuvo un 29%. Un 27% no sufrió daños y el 23% experimentó daño leve. Puede leerse que el 50% de las viviendas fue afectada con daño de severo a grave, y el 50% no fueron afectadas o presentaron daño leve. Los porcentajes son presentados en la Figura 1.5.

**Niveles de Daño en Edificaciones de Albañilería
Distrito de Tambo de Mora**

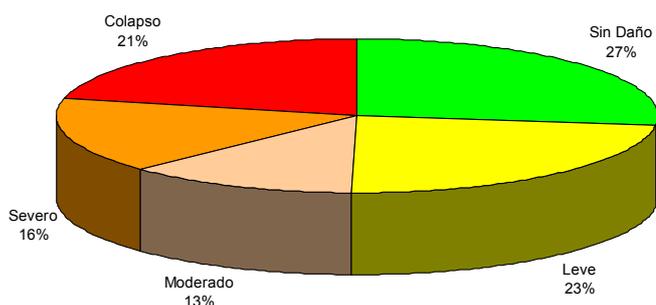


Figura 1.5. Daños en edificaciones de albañilería. Tambo de Mora.

- En la Figura 1.6 presenta la distribución de vivienda por tipo de material para la ciudad de Chincha Baja. Del total de viviendas, las edificaciones de adobe representan el 50.6%, seguido por las viviendas de albañilería que representan el 41.4%.

**Material de Edificaciones Distrito de
Chincha Baja**

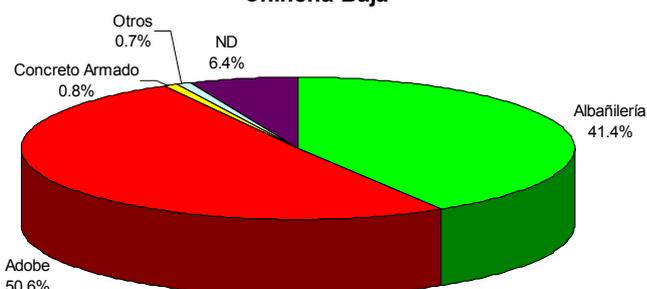


Figura 1.6. Distribución de edificaciones por tipo de material. Chincha Baja.

- En la Figura 1.7 presenta la distribución de daño del total de viviendas para la ciudad de Chinchá Baja. El 32.1% experimentó colapso, mientras que el 6.0% tuvo daño severo y 7.9% daño moderado. El 15.6% experimentó daño leve y el 38.3% no sufrió daño.

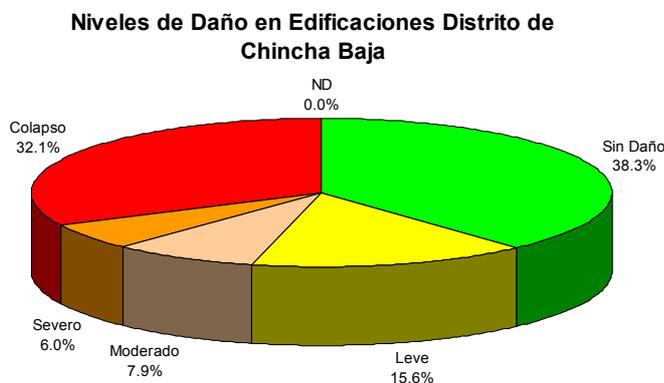


Figura 1.7. Distribución general de daños en edificaciones. Chinchá Baja.

- La Figura 1.8 muestra el daño ocurrido en las edificaciones de adobe en Chinchá Baja. Se observa que el 57% de las viviendas colapsó, mientras que el 10% experimentó un daño severo y el 12% un daño moderado. Las viviendas construidas con adobe solamente experimentaron daño leve en un 14% y el 7% no tuvo daño. El alto porcentaje de viviendas con daño entre moderado a colapso (79%) muestran lo vulnerable que es el adobe sin refuerzo.

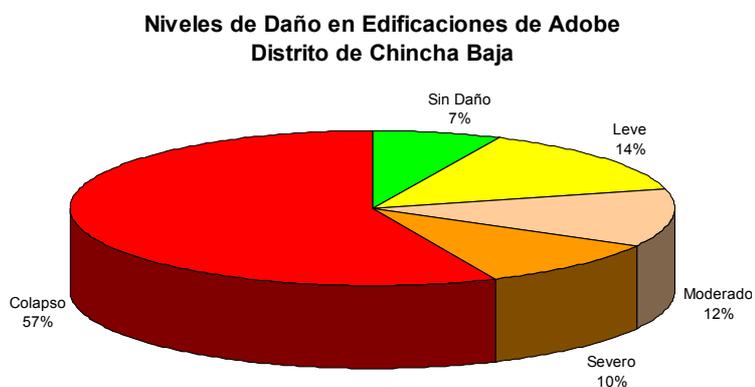


Figura 1.8. Daños en edificaciones de adobe. Chinchá Baja

- La Figura 9 muestra los daños en edificaciones de albañilería en la ciudad de Chinchá Baja. Se observa que el 71% de las edificaciones de este material no experimentaron daño y que el 20% experimentó daño leve. Ello implica que cerca del 91% de las viviendas de albañilería no tuvieron problemas durante el sismo. Solamente el 3% de edificaciones construidas con este material colapsó y el 2% experimentó daño severo, mientras que el 4% tuvo daño moderado. Es decir, el 9% de las viviendas de albañilería tuvo

problemas estructurales, lo que muestra que usando este material apropiadamente se asegura tener una buena capacidad para resistir la demanda sísmica en forma segura.

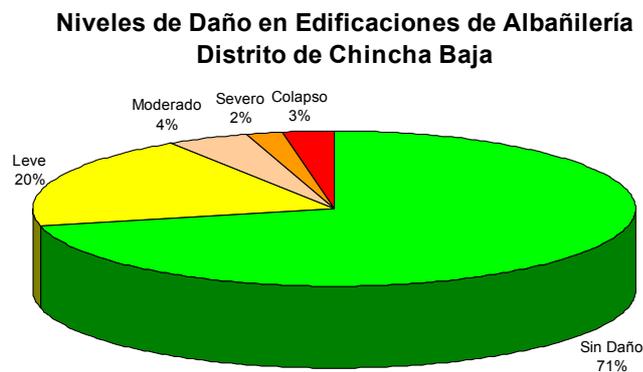


Figura 1.9. Daños en edificaciones de albañilería. Chinchá Baja

- Existen zonas de la ciudad de Chinchá Baja donde se registró solamente daños leves o no se registraron daños, como es el caso de la Urb. Juan XXIII; estas locaciones y sus vecindades deben ser consideradas en el tratamiento del crecimiento de la ciudad y la reubicación de las zonas con problemas de licuación de suelos. De esa forma se asegurará que en el próximo sismo se disminuya el daño por la demanda del sismo y asimismo se mejoren las condiciones de seguridad de los pobladores de Tambo de Mora y Chinchá Baja.

2. ANÁLISIS DEL PELIGRO DE TSUNAMIS

2.1 EL TSUNAMI DEL 15 DE AGOSTO DEL 2007

El 15 de Agosto de 2007, luego de ocurrido el sismo de Pisco a las 18:40:53 hora local, con epicentro a 74 km al Oeste de la ciudad de Pisco (13.49°S, 76.85°O) y con magnitud $M_w=7.9$, se generó un tsunami que produjo fuertes daños en las costas de Chincha, Pisco y Paracas, llegando en menor proporción a las playas de Lima (La Punta, Miraflores, Villa, Conchán y Lurín). De acuerdo a la información proporcionada por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), la velocidad promedio a la que se desplazó la onda del tsunami fue de 135 Km/h, con periodos de 15 a 20 minutos y una longitud de onda de 35 Km. En la Figura 2.1 se muestra el mareograma obtenido en la estación Callao, observándose el registro de la variación normal del mar seguido de un oleaje anómalo. Según el registro, el arribo de la primera ola al Callao fue a las 19 horas y 34 minutos; es decir, 54 minutos después de ocurrido el evento sísmico.

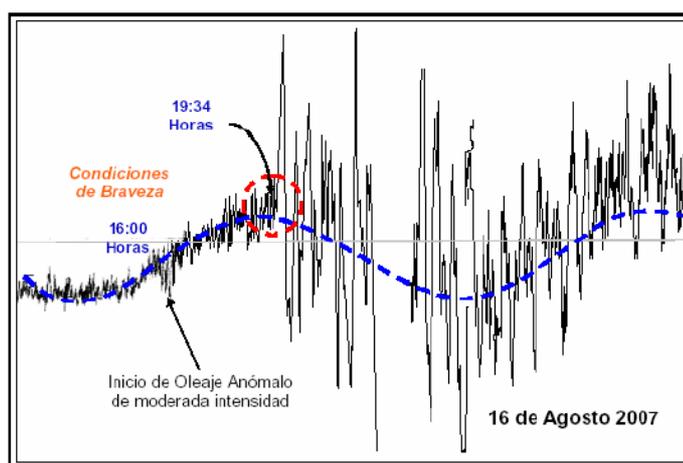
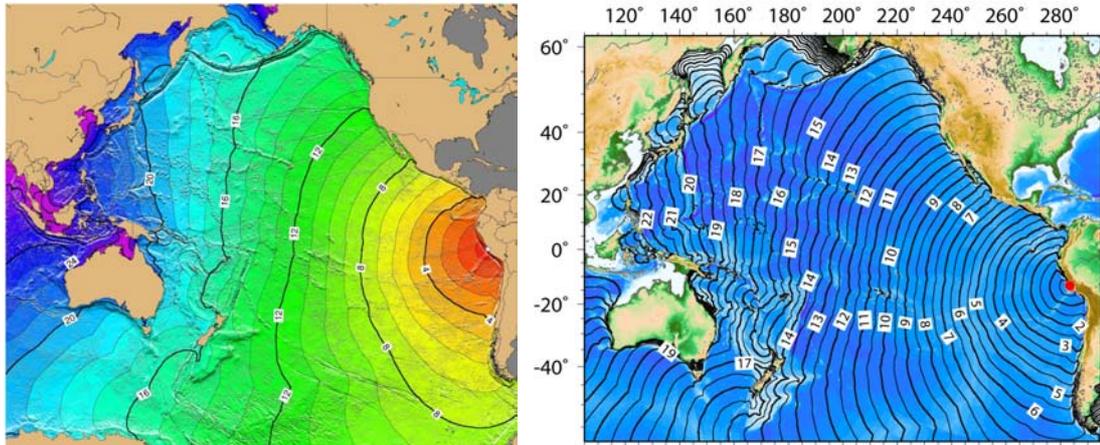


Figura 2.1. Mareograma registrado en La Punta (Callao). Tsunami del 15/8/2007(DHN).

La Figura 2.2, presenta una comparación de los modelos desarrollados para el cálculo del tiempo de arribo de las olas a otras locaciones a partir de la fuente, presentados por las referencias [1] y [3]. De acuerdo a Fujii, en la Figura 2.3, se presentan en puntos rojos las réplicas reportadas por el United States Geological Survey (USGS) durante el primer día luego del evento principal. A partir de estos puntos Fujii plantea un modelo de refracción en base a la dirección seguida por las réplicas que se presentaron en las siguientes 24 horas de ocurrido el evento. Las líneas de contorno rojo indican los levantamientos en

un intervalo de 0.2 m, mientras que el contorno azul indica la subsidencia en intervalos de 0.1 m.



GEER

IISSE-BRI

Figura 2.2. Tiempo de arribo de la ola del tsunami del 15/8/2007.

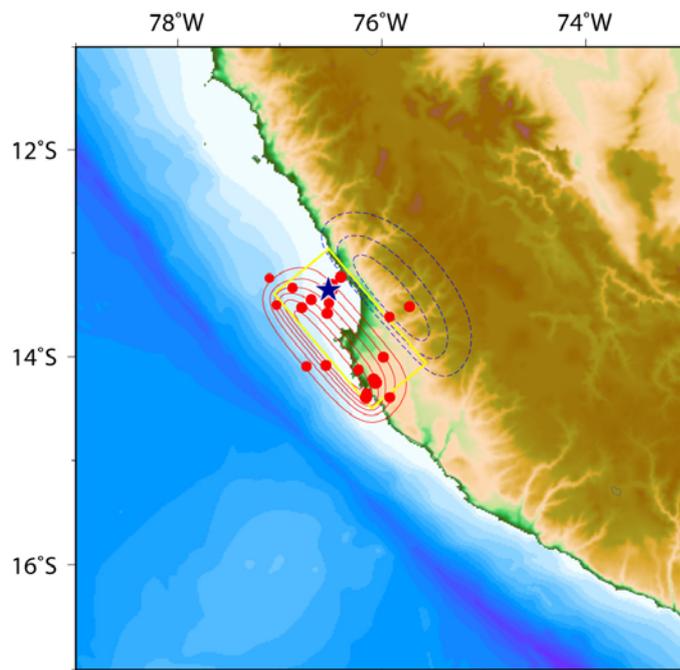


Figura 2.3. Modelo de Fuentes del Tsunami [3]

De acuerdo al informe de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) de la Marina de Guerra del Perú, se realizó un levantamiento de campo para determinar los lugares de inundación máxima que alcanzó el evento y las alturas

máximas de la inundación (run-up), los cuales son presentados en la Figura 2.4 y referido a las secciones indicadas en la Figura 2.5.

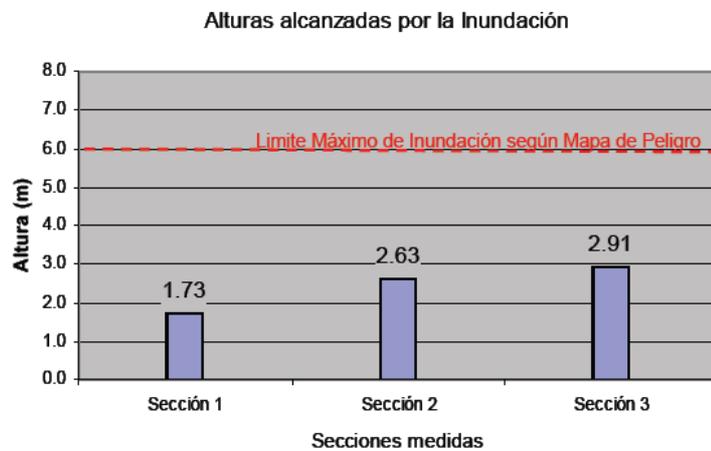


Figura 2.4. Altura de inundación. Run-up del tsunami del 15/8/2007 (DHN)



Figura 2.5. Mapa de niveles de inundación y Run-up del tsunami del 15/8/2007 (DHN)

De acuerdo a la Misión de reconocimiento en Ingeniería Geotécnica-Sísmica del EERI (GEER-EERI) de la Universidad de Berkeley, EE.UU., en la Figura 2.6 se presenta un mapa general de la acción del tsunami del 15/8/2007, indicando la ruta de la misión de exploración con los puntos referenciales de GPS, así como los niveles de inundación y Run-up del tsunami.



Figura 2.6. Mapa de niveles de inundación y Run-up del tsunami del 15/8/2007 (GEER)

De la información obtenida del run-up de la DHN y del run-up de la misión de GEER, las zonas inundables se ubicaron entre los 100 m a 480 m tierra adentro, alcanzando alturas de inundación de hasta 2.91 m.

2.2 EFECTOS DEL TSUNAMI EN TAMBO DE MORA Y CHINCHA BAJA

Se entrevistó a los pobladores en las cercanías a las zonas costeras, quienes manifestaron que después de ocurrido el sismo, el mar embraveció y después de 20 minutos de ocurrido el sismo, arribaron a la costa una serie de olas que inundaron sus viviendas. Según el reporte de DHN, las olas alcanzaron alturas máximas de inundación (run-up) de hasta 2.91 metros para una distancia de 102.7 m. (ver Figuras 2.4 y 2.5)

En la Foto 2.1, se muestra a una pobladora indicando el nivel de inundación que sufrió su vivienda (aproximadamente 1.0 m) La vivienda se encuentra ubicada aproximadamente a 100 m. en dirección Norte de la sección 3 (Figura 2.5). Igualmente en las Fotos 2.2 a 2.4 se aprecia la marca de inundación.



Foto 2.1. Pobladora señala el nivel de inundación que hubo en su vivienda



Foto 2.2. Marca de la inundación en muro (DHN)



Foto 2.3. Marca dejada por la inundación zona agrícola (DHN)

La Foto 2.2 fue reportada por la DHN, donde se puede apreciar la marca dejada por la inundación en una vivienda, de la foto se distingue una altura de inundación cercana a 0.90 m. Por otro lado, la Foto 2.3 reportada por DHN

muestra que algunas de las zonas agrícolas de la zona sur del distrito de Tambo de Mora fueron afectadas por la inundación.



Foto 2.4. Marca de Inundación (GEER)

Según testimonios reportados en [2], después de 25 minutos de ocurrido el sismo en las calles Miramar y el Muelle llegaron dos olas que alcanzaron una altura máxima de inundación (Run-up) de 3 m y una distancia máxima de inundación de 520 m a la altura de la plaza Grau. De acuerdo a lo reportado en [2], los daños fueron de poca magnitud en las viviendas, dado que éstas se encuentran a una distancia promedio de 380 m de la playa.

En el Distrito de Chincha Baja, no se reportaron inundaciones ni daños atribuibles al tsunami.

2.3 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN DE TSUNAMI EN TAMBO DE MORA Y CHINCHA BAJA

El distrito de Tambo de Mora ha sido afectado por tsunamis generados frente a las bahías de Pisco y Paracas. De acuerdo a la información existente, la ciudad de Pisco fue destruida totalmente por los Tsunamis generados por los terremotos de 1687, 1746 y 1868 (Silgado, 1992). Históricamente, se reporta que se han generado olas con alturas de hasta 8 m, de acuerdo a la base de datos de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration-USA), para sismos generados en la zona sur del Perú entre 1647 al 2007.

Tabla 2.1. Tsunamis registrados en zona sur del Perú - NOAA

Date							Tsunami Cause				Addl Tsu Info	Tsunami Source Location				Max Water Height
							Val	Code	Earth-quake Mag	Vol-cano		Country	Name	Latitude	Longitude	
Year	Mo	Dy	Hr	Mn	Sec											
1647	5	7				3	1	*		*	PERU	S. PERU	-14.2	-75.7	2.8	
1687	10	20	10	30		4	1	8.5		*	PERU	S. PERU	-13.5	-76.5	8	
1871	8	21				2	1			*	PERU	S. PERU	-13	-77	2	
1908	12	12	12	8		2	1	8.2		*	PERU	S. PERU	-14	-78	2	
1942	8	24	22	50	57	3	3	8.2		*	PERU	S. PERU	-15	-76	2	
1946	9	30				2	1	7		*	PERU	S. PERU	-13	-76		
1950	12	9				2	1	7		*	PERU	S. PERU	-14.6	-76.3	0.7	
1996	11	12	16	59	44	4	1	7.7		*	PERU	S. PERU	-14.993	-75.675	0.4	
2007	8	15	23	40	57.8	4	1	8		*	PERU	S. PERU	-13.386	-76.603	0.37	

Un análisis de la ocurrencia de tsunamis en las costas peruanas presentado en [7] indica que, entre 1500 hasta 2001, aquellas habrían sido afectadas por un total de 123 tsunamis, de los cuales 117 tendrían su origen asociado a sismos (Figura 2.7). Gráficamente los epicentros de los sismos generadores de tsunamis se pueden apreciar en la Figura 2.8.

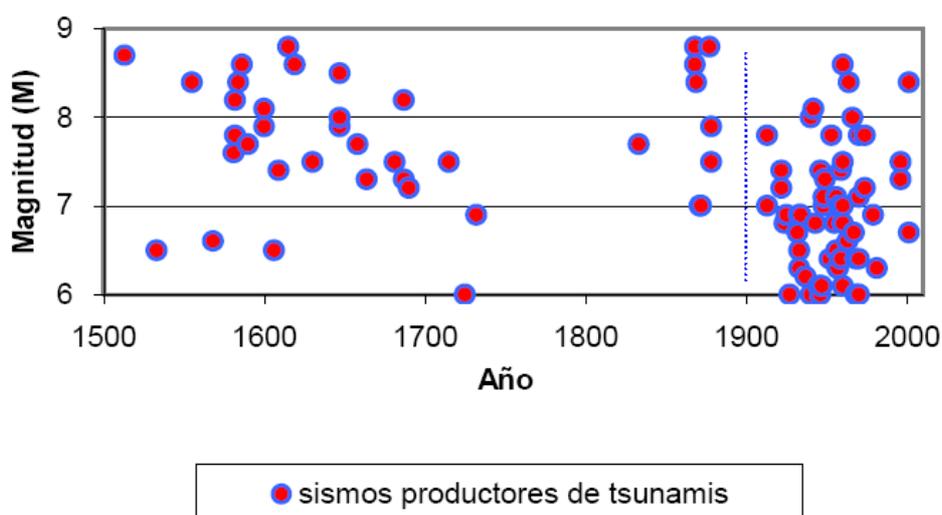


Figura 2.7. Cronología de Tsunamis y su Magnitud – IGP [2].



Figura 2.8. Distribución espacial de sismos que generaron tsunamis a lo largo de la costa Peruana desde 1500 al 2001 – IGP [2].

De acuerdo a los reportes de Tavera [7] y [2], en la Figura 2.7 se muestra la cronología de los tsunamis ocurridos en el Perú y su magnitud; se observa que el Perú ha venido soportando los efectos de tsunamis con mayor frecuencia en los últimos 100 años. Por ejemplo, los tres últimos tsunamis registrados en el Perú tuvieron lugar el 21 de Febrero y 12 de Noviembre de 1996 (Chimbote y Nazca, respectivamente) y 23 de Junio del 2001 (Arequipa), generando este último muerte y destrucción en la localidad de Camaná (Arequipa y sur del Perú), con olas de hasta 8 metros de altura y niveles de inundación de 1300 metros en el “Chiflón” cerca del río Camaná.

2.3.1 ANÁLISIS DE REFRACCIÓN DEL TSUNAMI DEL 15 DE AGOSTO DEL 2008

Considerando el catálogo de tsunamis de NOAA e IGP [7], se ha determinado estadísticamente que un probable sismo de magnitud entre 7.7 Mw a 8.0 Mw podría presentarse en las costas de Tambo de Mora. Este valor se utilizó para realizar un análisis de refracción del tiempo de llegada teórico del sismo del 15 de Agosto del 2007, sobre las costas de Tambo de Mora. La magnitud del evento del 15/8/2007 fue de $M=7.9$ Mw.

La estimación del tiempo de llegada a las costas del tsunami se realiza a través de un modelo de propagación, consistente en el trazado de curvas de propagación [10], conocidas como curvas de refracción, las mismas que basan su estimación en la magnitud del sismo generador (M) y su ubicación. A partir de estas curvas se determina el área perturbada por el sismo, la misma que se supone de forma elíptica, las longitudes de los ejes mayor (S) y menor (b) se calculan en base a la magnitud:

$$\log (S) = (2/3) M - 2.93$$

$$b = (3.77 - 0.42 M) S$$

Para el sismo de Pisco del 15/8/2007, se estimó una longitud del eje mayor $S=217.1$ km, y del eje menor $b=98.1$ km. En esta simulación se ha considerado que la dirección del eje mayor es paralela a la dirección de la tendencia mostrada por las replicas del evento principal.

Para la propagación de esta elipse, es necesario conocer la batimetría del área en estudio. En este caso se han utilizado dos fuentes: la batimetría proporcionada por DHN y la batimetría de GEBCO (General Bathymetric Charts of the Ocean), entidad perteneciente a la International Hydrographic Organization (IHO) y la Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) de UNESCO.

Basados en la batimetría se determina la profundidad (h), con la cual se calcula la velocidad de propagación (v) usando la ecuación:

$$v = (g h)^{1/2}$$

Donde g es la aceleración de la gravedad. Así, la distancia recorrida (e) se estima para un tiempo patrón (t) como:

$$e = v t.$$

La Figura 2.9 muestra los resultados del análisis de propagación de la elipse generada con las velocidades y el recorrido a partir de la fuente. De la Figura 2.9, puede leerse que el tiempo estimado de llegada teórico es de 23 minutos. Este valor coincide con los reportados por IGP y DHN.

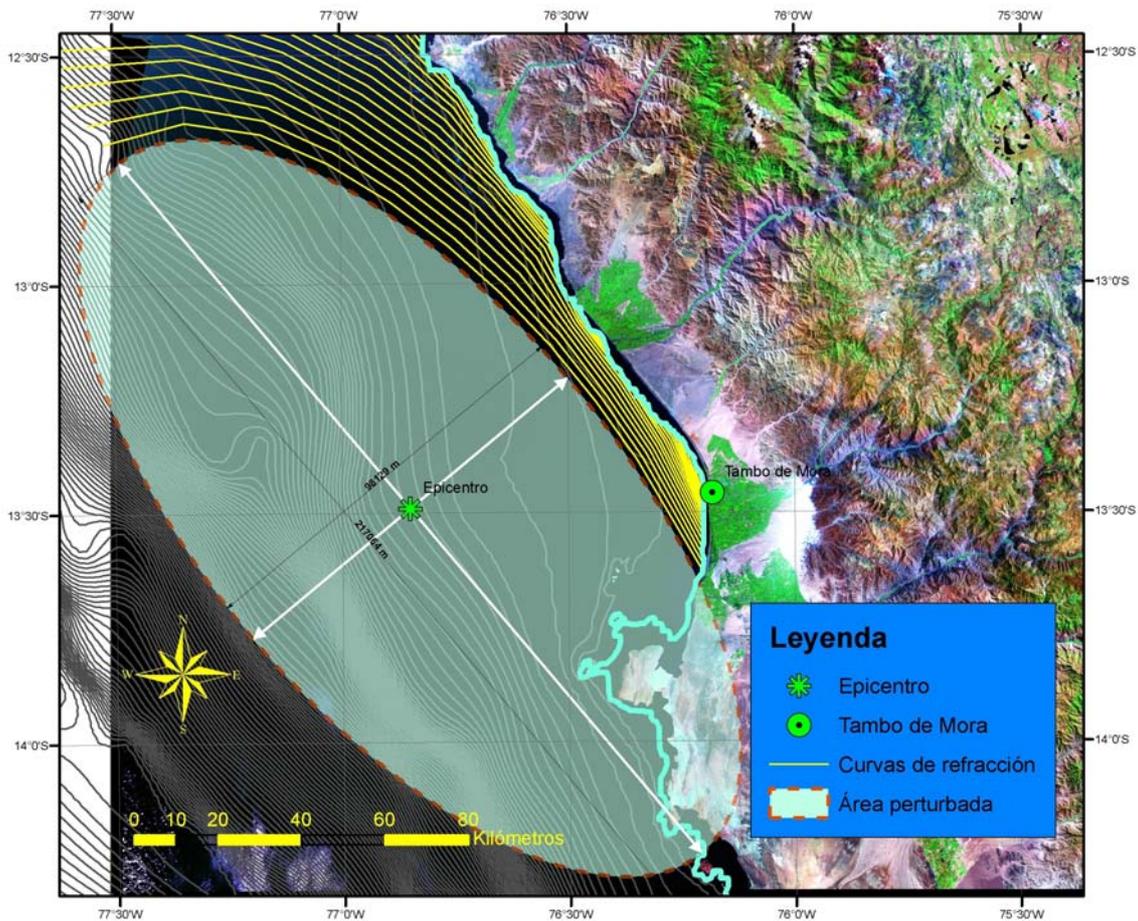


Figura 2.9. Curvas de Refracción calculadas.

2.3.2 DETERMINACIÓN DE LA INUNDACIÓN MÁXIMA PARA TAMBO DE MORA

Para la determinación de la zona inundable es necesario conocer la altura de la ola en la costa. Para esta finalidad se aplicó la fórmula de Yamaguchi [11], quien observó que las olas al ingresar sobre aguas pocas profundas presentan una pérdida de energía por fricción del fondo, lo que origina un decremento de la altura de la ola a medida que se incrementa la distancia recorrida en la costa. La elevación del mar sobre el nivel medio (H), se determina por la fórmula de Yamaguchi [11] propuesta para la bahía de Sanriku (bahía cerrada en forma de V):

$$H=12.3 e^{-0.067D}$$

Donde “D” representa la distancia en kilómetros, desde la entrada de la bahía hasta la línea batimétrica de los 100 m. Una generalización de la fórmula de Yamaguchi es propuesta por Kuroiwa [11], donde en el caso de franjas costeras, “D” representa la distancia en kilómetros, desde la línea batimétrica

de los 100 m a orilla de la franja costera, caso de las costas de Tambo de Mora.

Considerando una muestra de 6 líneas sobre la costa medidas desde la curva batimétrica de los 100 m (3 líneas en la dirección de los cortes de DHN) se encontró un valor promedio para “D” de 25.4 km. Considerando este valor, se estimó la altura a la entrada de la bahía en una condición extrema como $H_o=2.24$ m. A partir de la isobata de los 100 m. se producirá un incremento de la altura de la ola al ingresar a la costa, basado en la teoría de Green, definiéndose la altura de la ola en la costa como:

$$(H/H_o) = (b_o/b)^{1/2} \times (h_o/h)^{1/4}$$

Donde H y H_o representan la elevación del mar sobre el nivel medio dentro de la bahía y a la entrada de la bahía, respectivamente, h y h_o la profundidad del mar desde el nivel medio dentro de la bahía y a la entrada, respectivamente, y finalmente b y b_o el ancho de la bahía a la entrada y al fondo de la bahía, respectivamente.

Dado que la costa de Tambo de Mora es una franja costera, entonces (b_o/b) es la unidad. Por lo tanto la elevación del mar (Figura 2.10) dentro de la bahía se define, en este caso, como:

$$H = H_o \times (h_o/h)^{1/4}$$

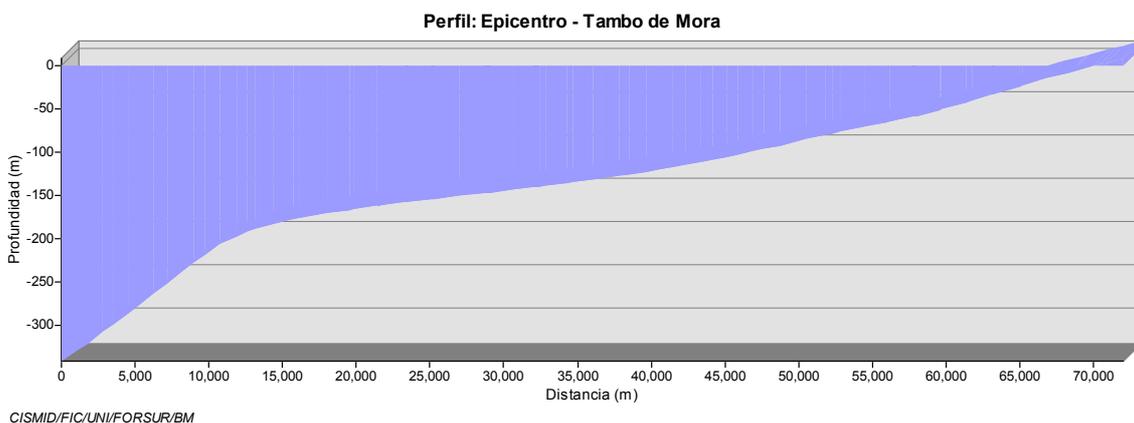


Figura 2.10. Perfil longitudinal desde el epicentro hasta Tambo de Mora.

Basado en esta aproximación, se pudo estimar con la fórmula anterior que el valor máximo que alcanza H en la bahía de Tambo de Mora es de 6 m. Un estimado de la zona inundable por el tsunami abarca hasta la cota del terreno cuya altura es igual altura de la ola en la costa ($H=6m$).

La Figura 2.11 presenta la superficie inundable calculada para Tambo de Mora, con las aproximaciones planteadas.

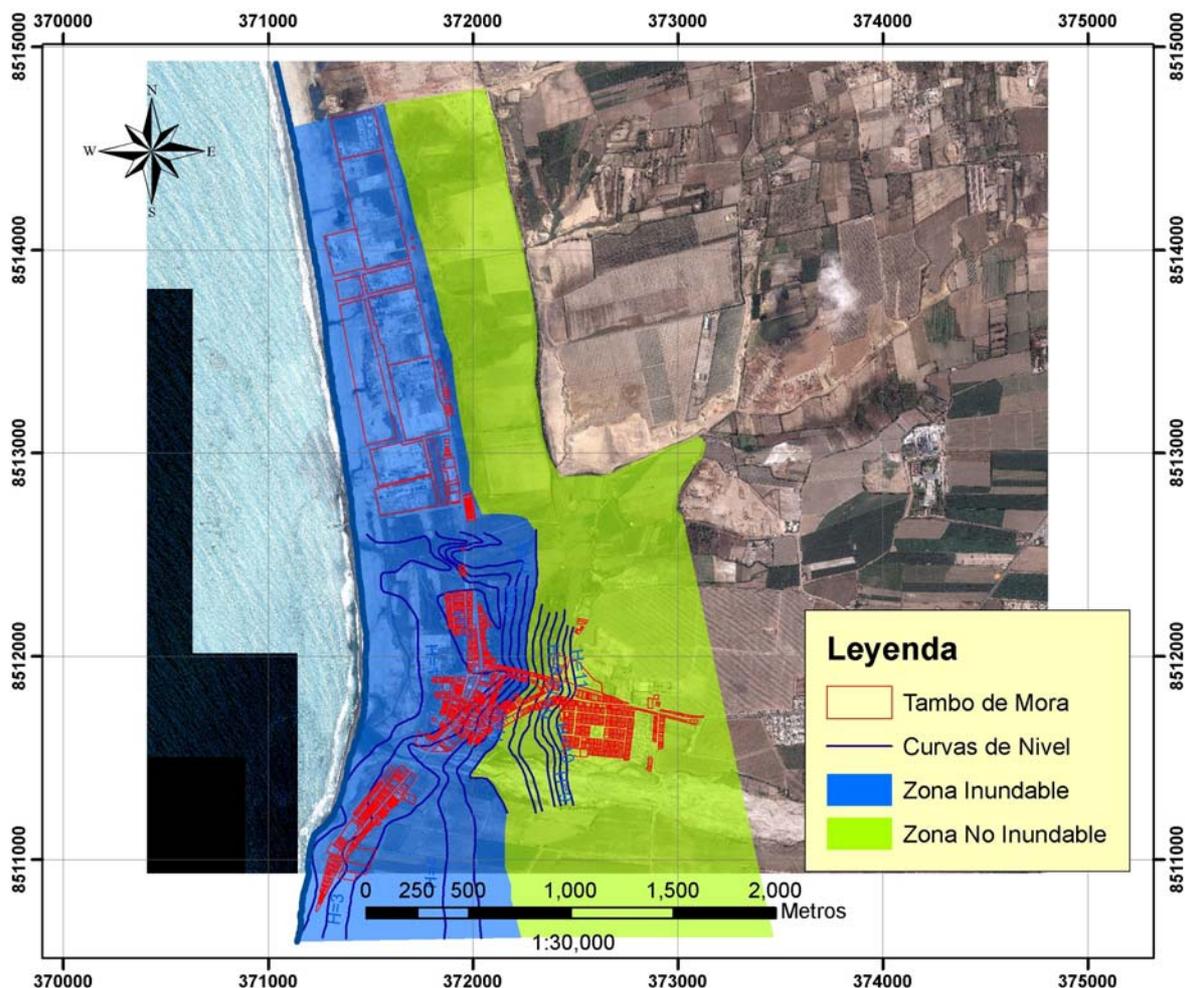


Figura 2.11: Zona inundable para Tambo de Mora.

El distrito de Chincha Baja se encuentra en una cota +28.0 m, valor por encima de la cota de inundación calculada en este estudio. El valor estimado de la cota de inundación por la DHN en 1998 fue de 6 m (Figura 2.12). Ambos valores son coincidentes y muestran que el distrito de Tambo de Mora podría inundarse ante un sismo de magnitud entre 7.5 ~ 8.0 Mw. Por otro lado el distrito de Chincha Baja por su locación y cotas muy superiores a la cota de inundación de los 6.0 m, no experimentaría peligro frente a tsunamis.

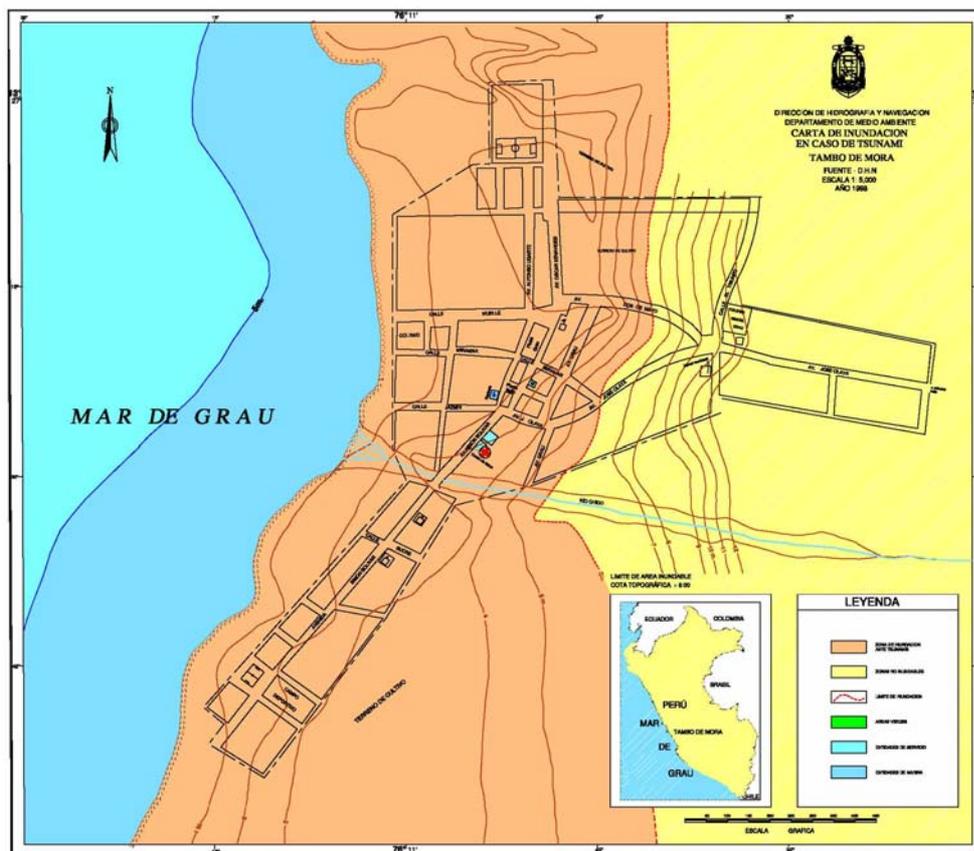


Figura 2.12. Mapa de Inundación DHN-1998.

2.4 CONCLUSIONES

- El 15 de Agosto del 2007 a las 18:40 hrs se produjo el sismo de Pisco con epicentro en el Océano Pacífico a una profundidad de 26 km, con epicentro localizado en una Latitud: 13.49°S, Longitud: 76.85°W, aproximadamente a 45 km de Chincha Alta, con una magnitud de 7.9 Mw.
- Como producto del sismo, un tsunami se originó 23 minutos luego de ocurrido el terremoto, el mismo que afecta a la localidad de Tambo de Mora.
- Sobre las costas de Tambo de Mora, el tsunami inunda las viviendas hasta una altura aproximada de 1.0 m., reportándose una inundación hasta la cota 2.91 de acuerdo a DHN.
- Se reportaron inundaciones en zonas agrícolas al Sur de Tambo de Mora, así como inundaciones en el Penal de Tambo de Mora y la zona industrial actualmente en abandono.
- Se realizó una simulación de la propagación del tsunami hacia las costas de Tambo de Mora, estimándose el tiempo de llegada de las olas en 23 minutos.

- Considerando la información histórica de los tsunamis en las costas peruanas y la formulación de Yamaguchi, se ha estimado el nivel de inundación máximo sobre el distrito de Tambo de Mora, encontrándose que la cota máxima de inundación es de 6 m, valor que coincide con el diagnóstico presentado por DHN en 1998.
- Es recomendable no construir en terrenos con cotas topográficas menores a los 6.0 m, a fin de evitar pérdidas materiales y/o humanas en caso de un evento sísmico extremo sobre la costa de Tambo de Mora.
- Por su nivel topográfico y su posición, el distrito de Chíncha Baja no experimentaría peligro de inundación frente a tsunamis.

2.5 RECOMENDACIONES

- Es recomendable colocar un cerco vivo entre el muelle viejo y el muelle nuevo, a fin de aminorar el ataque del tsunami sobre la zona central de Tambo de Mora, ya que la cota del terreno coincide con la cota de inundación. Estas zonas podrían ser usadas como áreas recreativas con instalaciones mínimas.
- Una de las formas de mitigar el ataque de los tsunamis es el uso de cercos de vegetación a lo largo de la costa, lo que constituye una forma tradicional de prevención. De acuerdo a estudios presentados en [5], el tsunami de Indonesia del 26/12/2004, originó la erosión de la zona costera en una profundidad de 2.5 m. como se muestra en la Foto 2.5, afectando un faja costera entre 50 m. y 100 m.

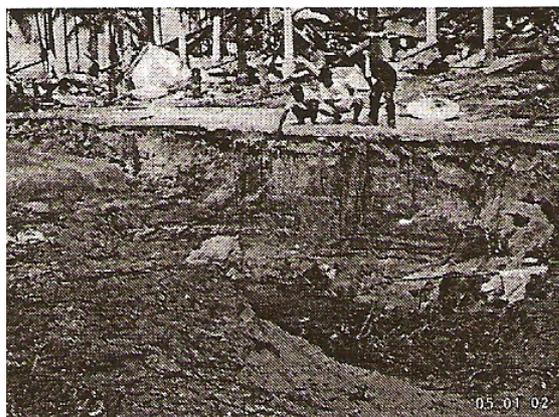


Foto 2.5. Erosión en Indonesia. Sismo del 26/12/2004.

- Otro ejemplo es el de la Isla Phuket, en donde en la playa Kammala, se realizaron mediciones de los perfiles del terreno luego del tsunami del

26/12/2004 sobre la línea costera en una franja entre 20 m. y 60 m. de ancho. La vegetación existente en esta playa son palmeras y pinos, como se muestra en la Foto 2.6.

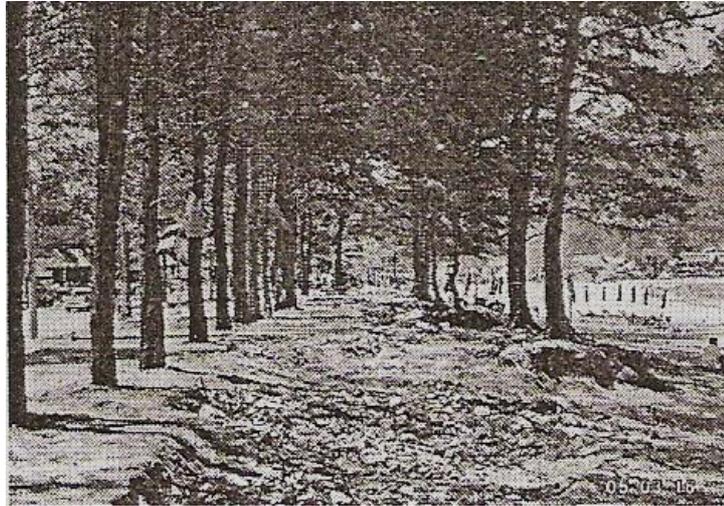


Foto 2.6. Palmeras y pinos en Playa Kammla. Sismo del 26/12/2004.

- Otros ejemplos de plantaciones costeras de protección exitosa son los encontrados en Muaradua, Lhokseumawe, Indonesia, donde las viviendas de madera quedaron en pie luego del tsunami del 26/12/2004 (Foto 2.7).



Foto 2.7. Vegetación en las costas de Muaradua, Indonesia.

- Las teorías de aplicación de manglares a lo largo de la costa para protección contra tsunamis se encuentran actualmente en desarrollo e investigación [6]. Se han identificado dos métodos :

- a) Método de arreglo pilares de bambú y manglares. Utiliza un arreglo de pilares de bambú clavados en la playa y combinados con una plantación de manglares (Ver Figura 2.13).

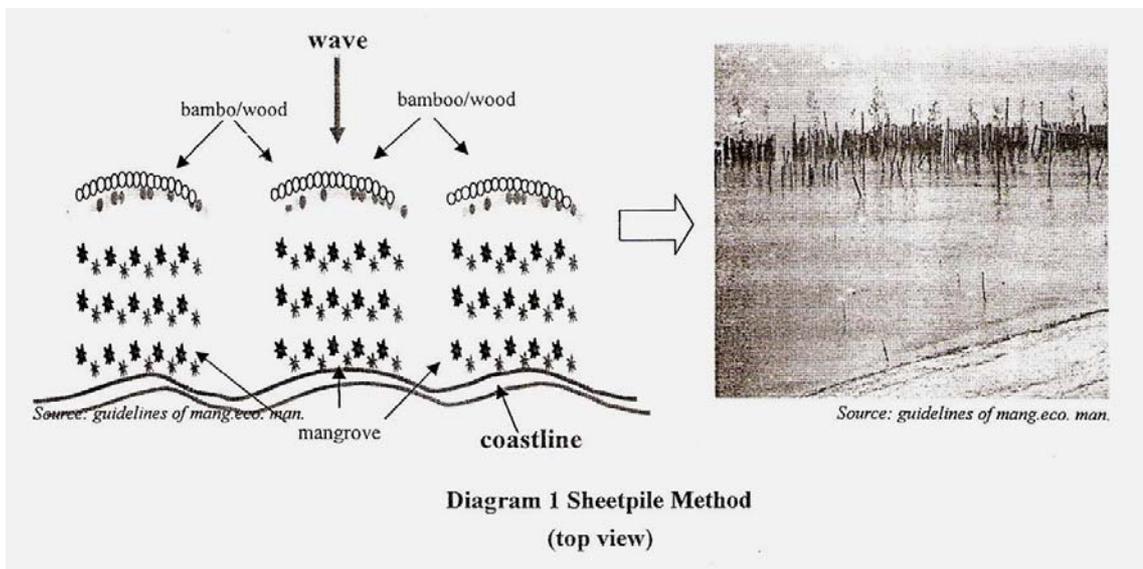


Figura 2.13. Método del arreglo de pilares de bambú y manglares [6].

- b) Método de la trampa de arena y manglares: Utiliza una trampa de bambú que en el tiempo crea un cambio en el perfil de la playa (Figura 2.14).

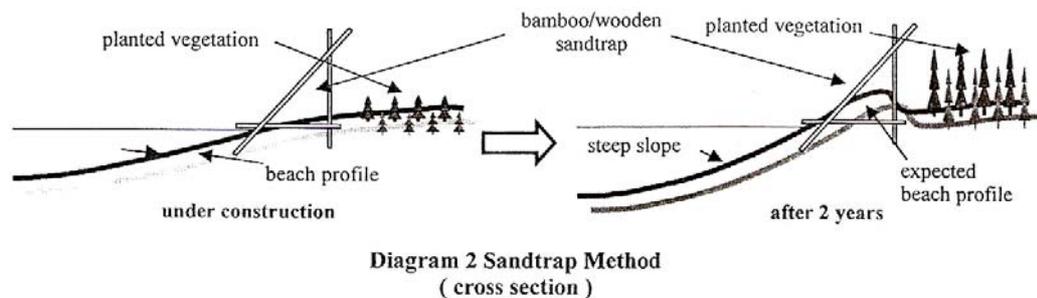


Figura 2.14. Método de la trampa de arena y manglares [6].

2.6 REFERENCIAS

- 1) 15 August 2007 Peru tsunami runup and inundation; Hermann M. Fritz¹, Nikos Kalligeris², Erick Ortega, and Pablo Broncano, GEER team Report USA.

- 2) Características Generales del Tsunami del 15 de Agosto de 2007; Sheyla Yauri, Hernando Tavera, Geremias Moncca y Bilha Herrera, IGP
- 3) Peru Tsunami on August 15, 2007; Yushiro Fujii (IISEE, BRI) and Kenji Satake (GSJ, AIST), Japan.
- 4) Tsunami, Geological Hazards, Natural Disaster Management, United Nation, Brenard E. 1999.
- 5) Greenbelt technique for tsunami disaster reduction, Tetsuya Hiraishi, Tsunami APEC-EqTAP Seminar on Earthquake and Tsunami Disaster Reduction Jakarta Indonesia, 2005.
- 6) Mangrove as a Tsunami Reduction and its Application, Widjo Kongko, Tsunami APEC-EqTAP Seminar on Earthquake and Tsunami Disaster Reduction Jakarta Indonesia, 2005.
- 7) Estructura de un Catálogo de Tsunamis para el Perú, basado en el catálogo de Gusiakov; Julia Carpio y Hernando Tavera, IGP, 2002.
- 8) Informe Post Tsunami, Direccion de Hidrografia y Navegacion (DHN) Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, 2007.
- 9) Reliability of Tsunami Source model derived from Parameters; Isamu Aida, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Japan, 1978.
- 10) Numerical Experiments for the Tsunami Propagation – The 1964 Nigata Tsunami and the 1968 Tokachi Oki Tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute Vol.47, Tokyo Japan.
- 11) Efectos sobre las costas de Lima Metropolitana; Julio Kuroiwa, Oficina del Coordinador para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO). Lima, Perú, 1983.



3. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

3.1 ANTECEDENTES

En el presente informe se detallan las condiciones geológicas, geomorfológicas y sismológicas del área de estudio, los trabajos de exploración geotécnica, los ensayos de campo y laboratorio, la caracterización mecánica y dinámica de los suelos de cimentación, que constituyen la información básica para la identificación de las microzonas en función a los grados de peligros existentes.

Los mapas de microzonificación sísmica presentados en este informe han sido delimitados luego de una evaluación detallada del área de estudio, en la cual se han tomado como base los resultados del informe preliminar y una segunda campaña de exploración de campo, que ha servido para complementar la información generada en la primera fase del estudio. Se presentan los resultados de los ensayos de campo y laboratorio, así como el análisis de la información generada para definir las características mecánicas y dinámicas del suelo en las diferentes zonas del área de estudio, cuya ubicación se muestra en el Plano P-01 del Anexo II.

3.2 CONDICIONES TOPOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

3.2.1 TOPOGRAFÍA

La ciudad de Tambo de Mora se encuentra localizada en una planicie costera, con pequeñas ondulaciones y deformaciones pegadas al pie del escarpe de los cerros alargados y paralelos al litoral que conforman la formación Cañete. Por su parte, la ciudad de Chincha Baja se localiza sobre las terrazas intermedias de suave pendiente, conformadas por depósitos aluviales y fluviales, depositados por el Río Chico y depósitos aluvionales que descendieron de las estribaciones del batolito andino al Noreste de Tambo Mora.

La formación Cañete es la zona más elevada y extensa con dirección al norte, con pequeñas cárcavas de fuerte pendiente. En esta zona se localizan las huacas como el Centinela (Foto 3.1).



Foto 3.1. Vista de la terraza de Chinchá Baja, donde se observan montículos de la formación Cañete a la derecha y al lado izquierdo se observa la huaca el Centinela.

3.2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

a) Geología Regional

En el mapa geológico de la carta nacional que se muestra en el Plano P-02 del Anexo II, se puede deducir que sólo existen formaciones del cuaternario antiguo y reciente en la zona de estudio e interés contractual, y al Nor-Este las estribaciones del Batolito de los Andes con afloramientos de rocas ígneas de granodioritas, como referencias regionales.

b) La Geomorfología Regional:

Hay poco sobre la Planicie de Costa que es de interés al estudio, por lo que esta información nos sirve de apoyo para la interpretación local.

c) Geología Local

c.1) El Cuaternario Holoceno o Reciente, (Qr-h): Según el mapa geológico del Plano P-02, en Tambo de Mora predominan las formaciones del cuaternario reciente con unidades estratigráficas de depósitos de sedimentos marinos de arenas finas, (Qr-m), como se aprecia en la Foto 3.2.



Foto 3.2. Tambo de Mora, planicie de la costa del cuaternario reciente marino (holoceno), zona crítica por licuación de arenas que destruyó la ciudad en el sismo de 15 de Agosto del 2007.

c-2) Depósitos eólicos de arenas finas (Qr-e), y depósitos aluviales de origen de huaycos (Qr-aluv): Que descienden de la torrentera que cubre las pampas del Ñoco, los cuales se aprecian en los cortes de la cantera del distrito de Pueblo Nuevo. (Fotos 3.3 a y b).



Foto 3.3 a) Explotación de la grava **b)** Perfil del suelo limoso arcilloso y gravas

El perfil del suelo superficial está conformado por un lente de arcillas limosas de 1.00m de espesor, por debajo del cual se encuentran gravas angulosas, que aumentan en profundidad. Este tipo de gravas tienen una marcada diferencia con las gravas fluviales por su forma sub redondeadas, como se observa en el talud generado por la erosión de la margen derecha del Río Chico, frente al

terreno seleccionado para la reubicación de los damnificados (Foto 3.3 c), y en la margen derecha de un canal sin revestimiento en Chinchá Alta (Foto 3.3 d). El depósito de gravas fluviales se encuentra en estado suelto y son fácilmente erosionadas por socavación lateral del río por lo que se considera que esta zona presenta un alto nivel de peligro, en caso de ocurrir una avenida extraordinaria. En este sector, las riberas sin defensas adecuadas limitan la seguridad de las zonas de expansión futura, pues como se observa en las Fotos 3.4 y 3.5, existen evidencias de fuertes erosiones de los ríos Chico y Matagente, tanto en zonas sin defensas, como con defensas de gaviones y enrocado que han colapsado.



Foto 3.3 c) Margen derecha del Río Chico colindante con el área de reubicación

b) Canal de regadío en Chinchá Alta, gravas en la margen derecha



Foto 3.4. Socavación lateral y vertical generada por un ramal del río Matagente, arrasando áreas cultivadas de algodón. Las riberas no tenían defensas.



Foto 3.5. Defensas ribereñas que han fallado por socavación lateral. **a)** Con gaviones en el río Matagente y **b)** Con defensas de enrocado en el Río Chico.

c-3) Cuaternario del Pleistoceno o antiguo, (Qp-c): Su unidad estratigráfica es de la formación Cañete (la parte oscura en la Figura 3.1 y Foto 3.6). Es la formación más antigua, con una longitud de 3.5Km por 5.5Km de ancho dentro de la zona interés, donde no existe problema de licuación y los efectos son reducidos por el impacto sísmico. Entre todos los suelos existentes en Tambo de Mora y la terraza del delta del Río Chico, los suelos del pleistoceno son los de mejor estabilidad. No existe el nivel freático por lo menos dentro de los 30m de la altura del escarpe, que está formado por estratos de sedimentos de limos arenoso, limoso y de arcilla de alta plasticidad con lentes de arenas; que por ser una formación antigua del cuaternario del pleistoceno, de cerca de 2 millones de años, se encuentra sobre consolidada históricamente y sus suelos presentan mejor estabilidad que cualquier tipo de suelo del cuaternario reciente del holoceno de 10,000 años de antigüedad, por lo que en planificación son las zonas y áreas preferidas para la ubicación de pueblos, ciudades etc. seleccionadas por su mayor estabilidad y resistencia a los sismos.

Una evidencia de su estabilidad son las ruinas de las huacas pre-incas que se localizan sobre estas terrazas, las cuales han sido destruidas por factores antrópicos y fenómenos de crisis climáticas con lluvias torrenciales por efecto del Niño y que todavía quedan como ruinas a pesar que todas fueron construidas principalmente de tapiales, adobones y adobes del suelo de las canteras cerca a sus obras, y aun se mantiene hasta la fecha.



Foto 3.6. En el límite Norte del área de estudio, la vía que va hacia el distrito de Sunampe cruza a través de una cárcava la formación Cañete, de cerros alargados de rocas sedimentarias.

El Sector Sur de Tambo de Mora y el distrito de Chincha Baja se encuentran ubicados en el cuaternario aluvial reciente (Qr-f), a ambos márgenes del Río Chico, formadas por depósitos de gravas sub redondeadas, que se diferencian del cuaternario aluvial (Qr-aluv) por tener gravas angulosas. Los depósitos fluviales han erosionado y cubierto los depósitos aluviales de los huaycos con suelos finos arcillosos y limosos.

Estos depósitos terminan al Este, en las estribaciones del Batolito de rocas ígneas tipo granitos y granodioritas, cuyas faldas se encuentran cubiertas con arenas eólicas transportadas desde el mar.

Estructuras geológicas importantes no son visibles en la superficie del área de estudio ni se muestran en el mapa de geología que se presenta en el Plano P-02. La Neotectónica del Cuaternario permite inferir algunos rasgos geomorfológicos en la estratificación de los cerros del pleistoceno por la discontinuidad de sus estratos, así como la presencia de fallas secundarias en las cárcavas más profundas, como en el caso del abra del cruce de la carretera (Foto 3.7).



Foto 3.7. Corte en la formación Cañete, donde se observa una discontinuidad de la estratificación de una falla geológica, que esta relacionada con los 6m de arena licuable encontrado en la perforación dinámica del cono Peck (Foto 3.8).



Foto 3.8. Prueba de Cono Peck cerca al pozo de agua en reparación, el rechazo indica la presencia de grava a 6m de profundidad cubierto de arenas licuables. Este estrato varía de 2 a 6m de espesor en toda la planicie de la costa de Tambo de Mora (Figura 3.3b).

La presencia de afloramientos extensos del cuaternario más antiguo que sobresalen al reciente es una evidencia que en el pasado el cuaternario holoceno ha sufrido levantamientos y hundimientos en la Costa del Perú, siendo las más importantes entre Chíncha y Pisco, y en particular en el sector donde se ubican los ríos Chico y Mata gente, cuyos cauces siguen la dirección de fallas secundarias perpendiculares a la Costa y paralelo al borde de la placa tectónica, que se encuentra seccionada en bloques hundidos en forma escalonada (Figuras 3.1 a y 3.1 b).

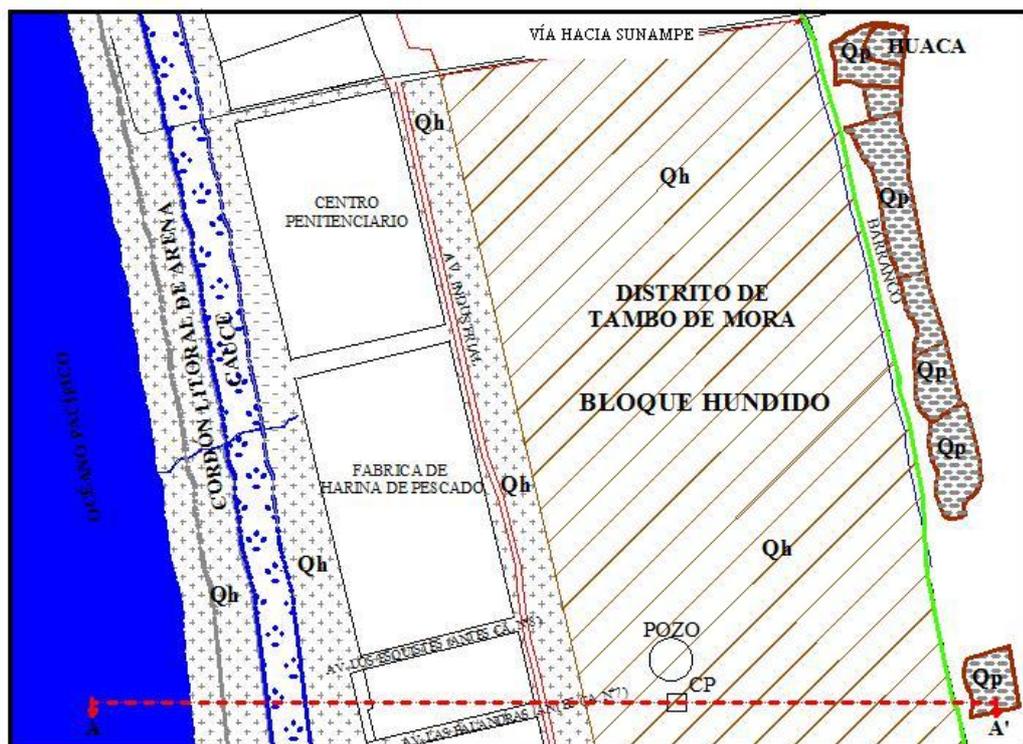


Figura 3.1. Croquis Geológico -Geomorfológico Local. (a) Planta

Existen evidencias que las fallas secundarias perpendiculares a la Costa en la formación Cañete ocurrieron durante el holoceno, como se puede observar por lo menos en dos lugares, en los que se presentan rupturas de la estratificación en el escarpe, una en el corte de la vía hacia Sunampe, que parte del extremo de la cárcel y otro un poco más al Sur, frente a una fábrica de harina de pescado (Figura 3.1 b). Estas observaciones de fallas geológicas secundarias deberán ser estudiadas con mayor detalle local.

Con el análisis de los perfiles de los suelos y registros geotécnicos finales de las calicatas, trincheras y perforaciones del Cono Peck y ensayos SPT, se tiene una información completa acerca de sus características y su aplicación para el conocimiento de las áreas más críticas así como las más estables, que complementan las condiciones de las zonas de peligro sísmico-geotécnico.

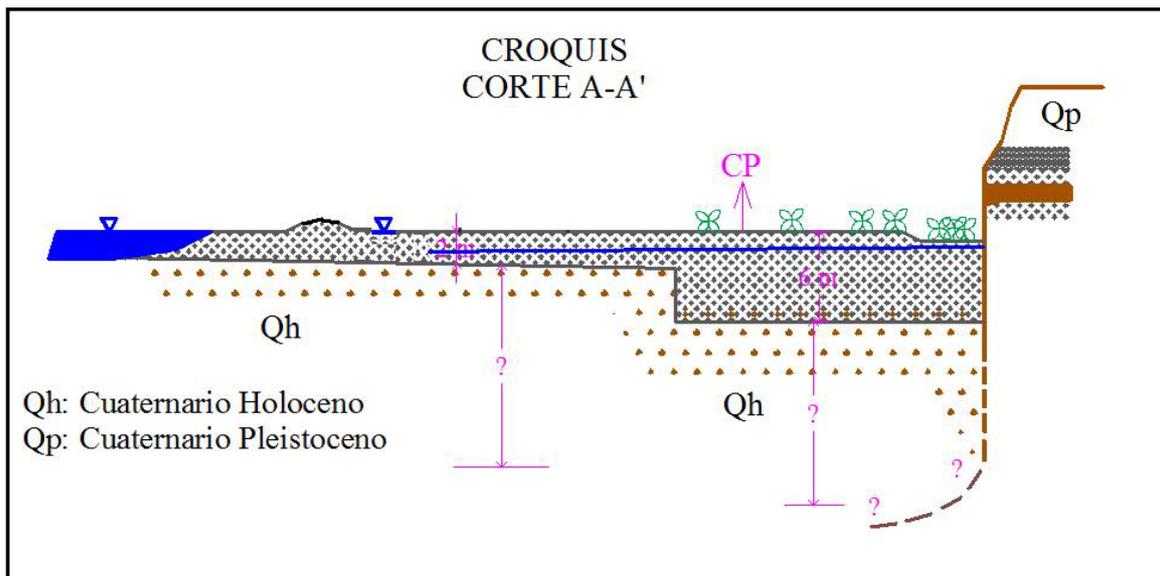


Figura 3.1. Croquis Geológico -Geomorfológico Local. **(b)** Corte Transversal

3.3 SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.3.1 EL TERREMOTO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) reportó los siguientes parámetros del sismo (Tavera et al, 2007):

Hora de Origen : 23 horas, 40 minutos, 53.6 segundos (GMT)
18 horas, 40 minutos, 53.6 segundo (hora local)

Ubicación : Latitud: -13.49° Longitud: -76.85°

Profundidad : 26 km

Magnitud : 7.0 ML (Richter), 7.9Mw (magnitud momento)

La Figura 3.2 muestra la ubicación del epicentro (Tavera et al, 2007).

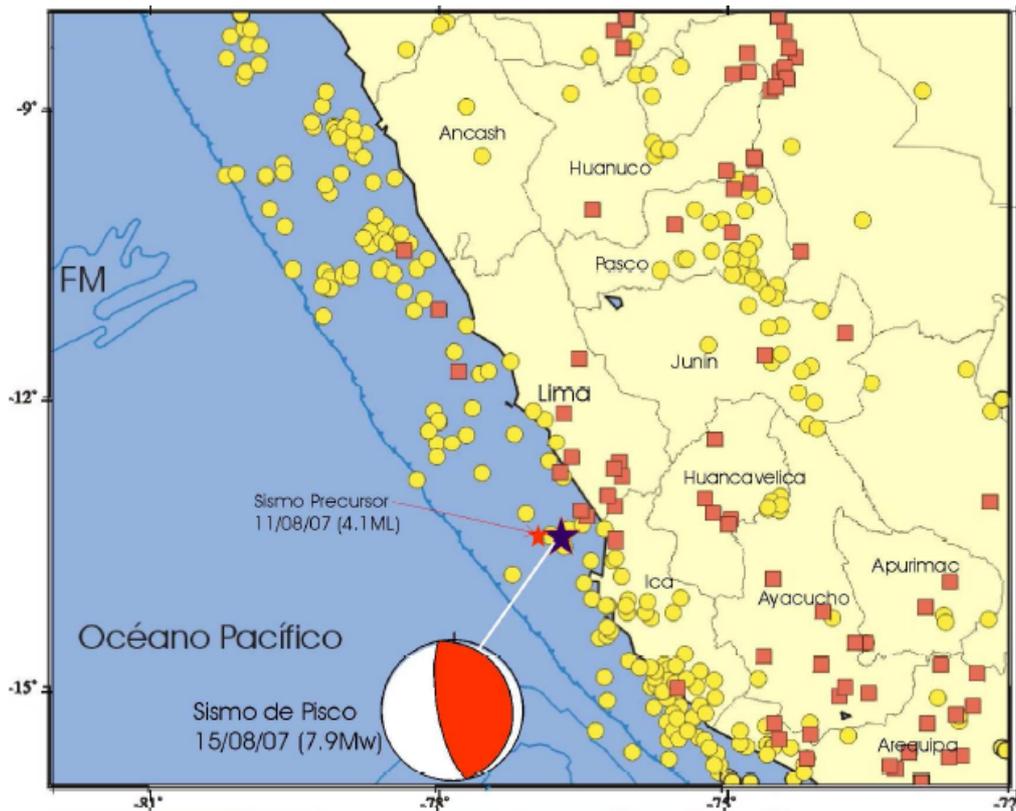


Figura 3.2. Epicentro del sismo del 15/08/07, a 74 km en dirección Oeste de la ciudad de Pisco. La esfera representa el mecanismo focal de tipo inverso, que corresponde a un sismo interfase (Tavera et al, 2007).

Es importante mencionar que el 20 de Octubre del 2006, ocurrió un sismo con los siguientes parámetros epicentrales (Tavera et al, 2006).

Hora de Origen : 10h 48m 52 seg. (Hora Universal)

05h 48m 52 seg. (Hora Local)

Ubicación : Latitud Sur: -13.55° Longitud Oeste: -77.02°

Profundidad : 43 km

Magnitud : 6.4 Mw

La Figura 3.3 muestra la ubicación del epicentro (Tavera et al, 2007).

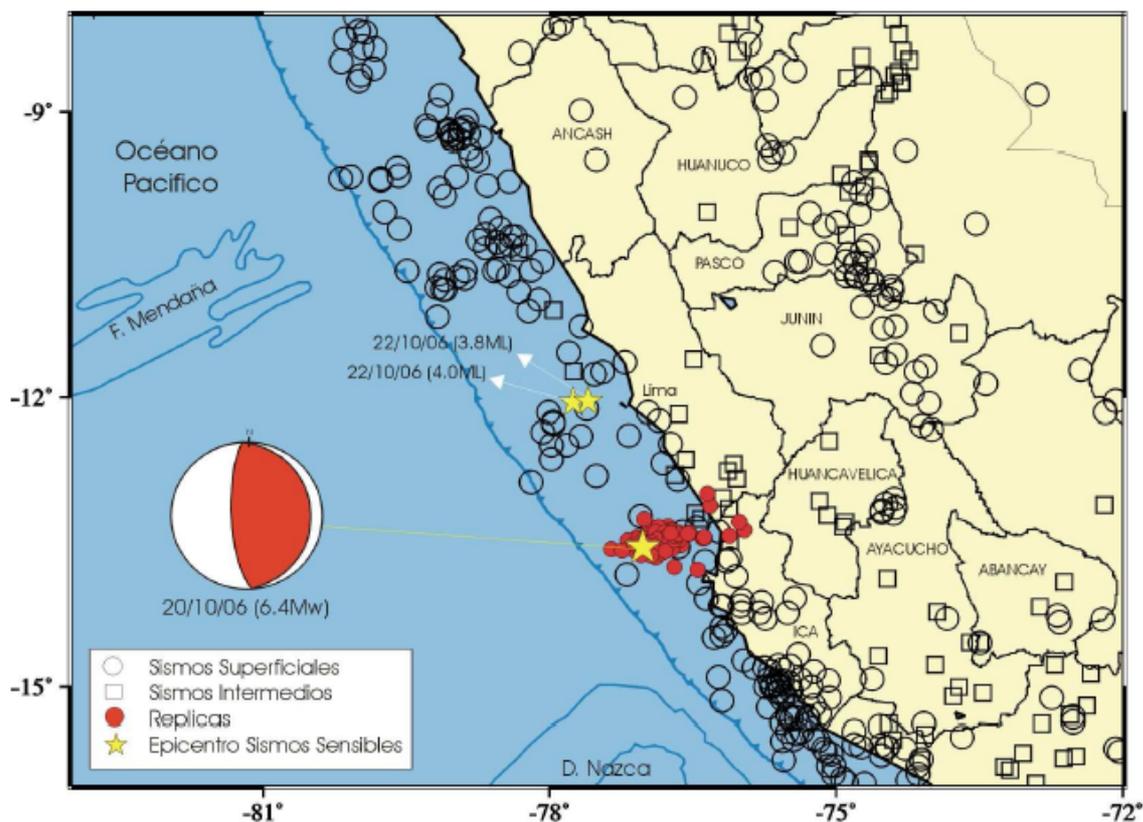


Figura 3.3 Epicentro del sismo del 20/10/06, a 90 Km al Oeste de la ciudad de Pisco. La esfera representa el mecanismo focal (Tavera et al, 2006).

El epicentro del sismo del 20/10/06 se ubica dentro del área de ruptura correspondiente al sismo del 15/08/2007. En la ciudad de Lima este sismo fue sentido provocando alarma a la población; en las ciudades de Pisco e Ica también hubo alarma y ocurrieron daños en algunas edificaciones. Esta coincidencia indica que esta fuente sísmica ingresó a una fase activa desde Octubre del 2006 y desencadenó en el sismo el 15 de Agosto del 2007.

El sismo tuvo origen en la zona de contacto de la placa de Nazca con la Sudamericana, La Figura 5 muestra en color naranja el área de ruptura del sismo del 15 de Agosto del 2007 (Tavera et al, 2007) que abarcó la brecha sísmica que existía entre el área de ruptura del sismo de Lima del 03/10/1974 y del sismo de Nazca del 12/11/1996.

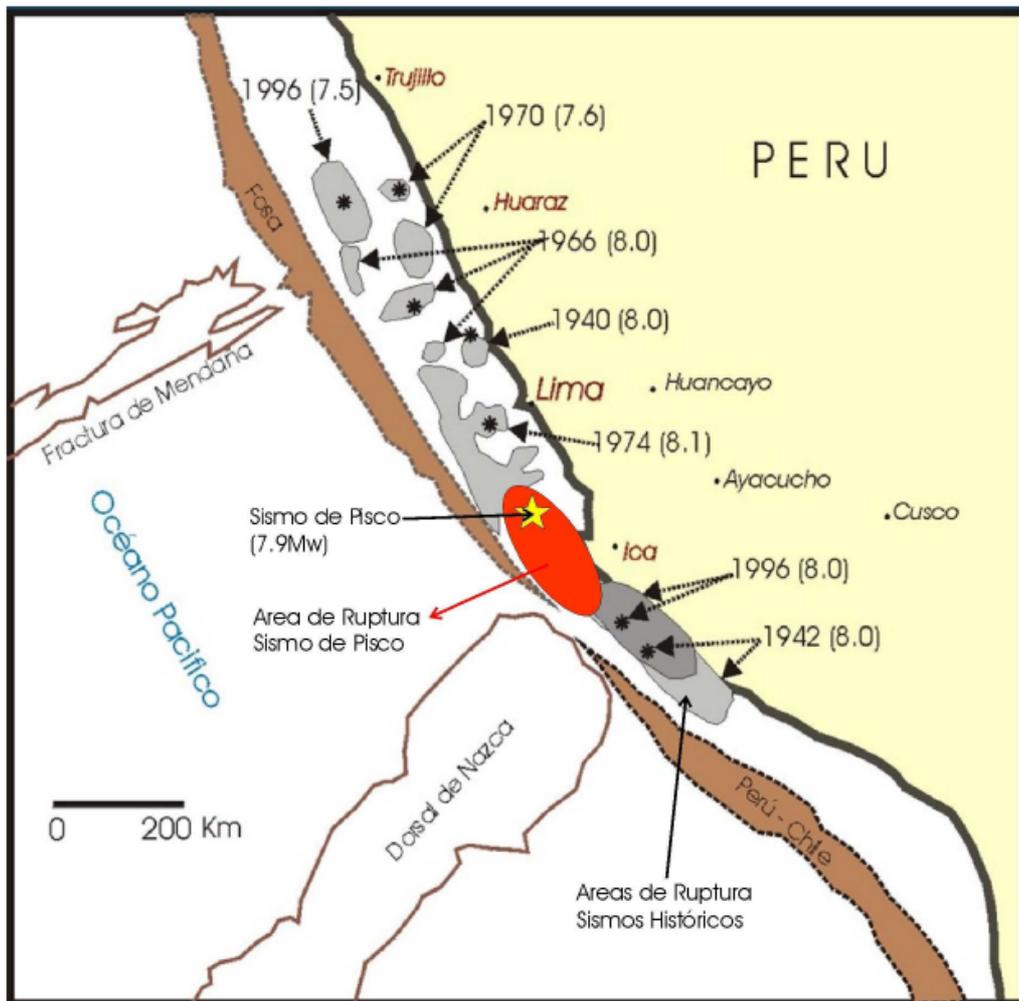


Figura 3.4. Área de ruptura del sismo de Pisco del 15 de Agosto del 2007 (Tavera, et al 2007).

El proceso de ruptura de este sismo ha sido estudiado por diversos investigadores, Perfettini (2007) compara tres modelos cinemáticos preliminares (Figuras 5, 6 y 7) que han sido calculados usando datos telesísmicos propuestos por Ozgun Konca de Caltech (USA), Martín Vallee de Geosciences Azur (Francia) y el Dr. Yagi de la Universidad de Tsukuba (Japón); concluye que de los tres modelos el propuesto por el Dr. Yagi es más consistente con las observaciones de campo. En este modelo el plano de ruptura propuesto tiene un azimuth de 320° , un buzamiento de 18° y ángulo de deslizamiento variable. El momento sísmico es de $2.0E+21$ N.m y corresponde a una magnitud $M_w = 8.1$. La velocidad de ruptura máxima es de 1.75 km/s. con una duración de casi 180 s. Las dos rupturas o zonas de desplazamiento máximo están separadas 60 s. El primer desplazamiento se encuentra cerca del epicentro del sismo y frente a la ciudad de Chincha. El segundo desplazamiento se ubica más al sur de la península de Paracas y cerca de la fosa. La segunda ruptura es más fuerte que la primera, la primera

ruptura es más profunda que la segunda que es más superficial y cercana a la fosa.

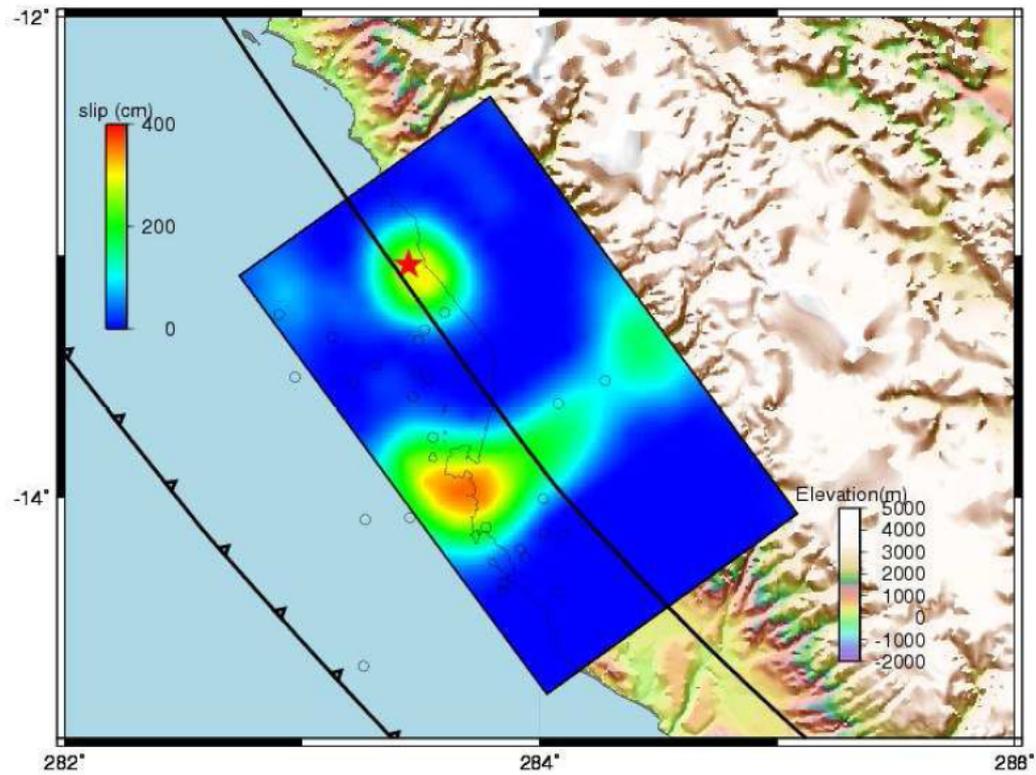


Figura 3.5. Modelo cinemático de O. Ronca (Caltech)

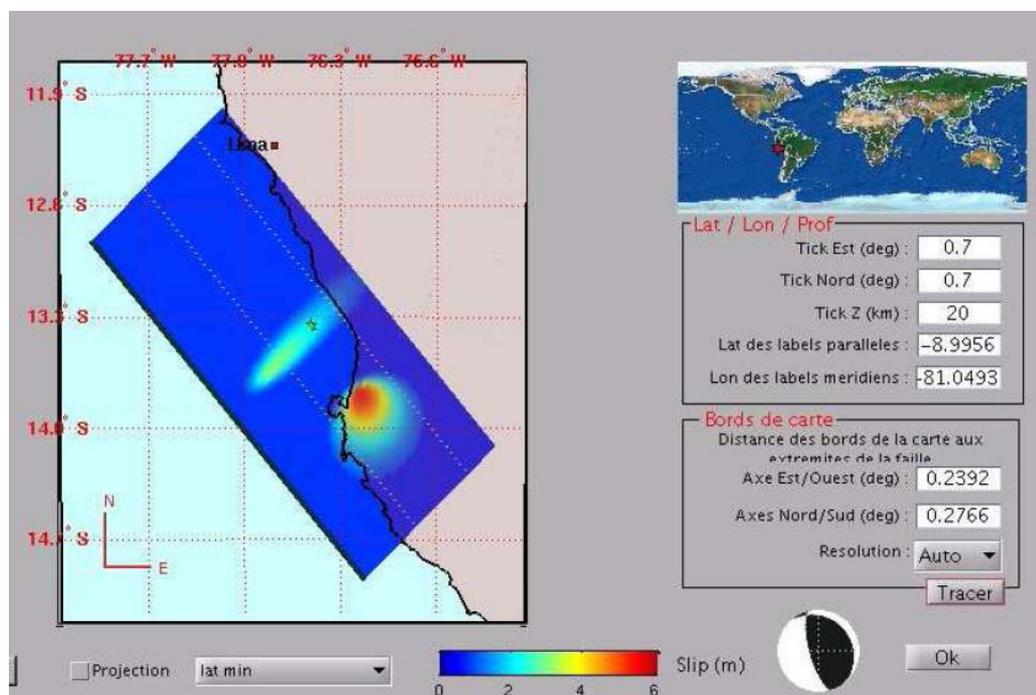


Figura 3.6. Modelo cinemático de M. Vallee (Geosciences Azur)

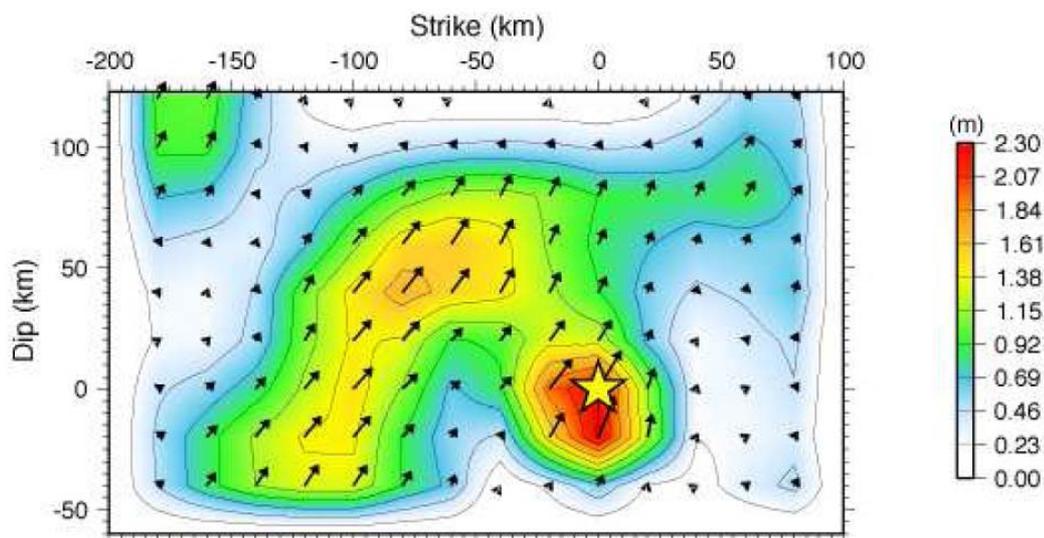


Figura 3.7. Modelo cinemático del Dr. Yagi (Tsukuba University, Japón)

3.3.2 EVALUACIÓN DE PELIGRO SÍSMICO PROBABILÍSTICO

a) Introducción

Cornell (1968) propuso una metodología para realizar el análisis de peligro sísmico probabilísticamente. Esta metodología ha sido utilizada en el presente estudio, habiéndose empleado leyes de atenuación que permiten estimar los niveles de demanda sísmica para diferentes periodos de vibración del suelo, denominados leyes de atenuación para ordenadas espectrales. Dada esta tendencia mundial, se ha empleado el modelo de atenuación de Youngs et al. (1997), que distingue los mecanismos de los sismos de subducción de interfase e intraplaca

b) Evaluación y Caracterización de las Fuentes Sismogénicas

La determinación de las fuentes sismogénicas se han basado en el mapa de distribución de epicentros, así como en las características tectónicas del área de influencia. Como se conoce, la actividad sísmica en el Perú es el resultado de la interacción de las Placas de Nazca y Sudamericana, así como del proceso de reajustes tectónicos del aparato andino. Esto permite agrupar a las fuentes en continentales y de subducción. Las fuentes de subducción modelan la interacción de las Placas Sudamericana y de Nazca. Las fuentes continentales o corticales están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina.

En el presente estudio se han establecido ocho fuentes sismogénicas de subducción, en las cuales se han diferenciado los mecanismos de interfase (F1 y F5) y de intraplaca superficial (F2 y F6) e intermedias (F3, F4 y F7). Las

geometrías de estas fuentes se han definido en función de las características sismotectónicas de la región definida por un círculo de 350 Km de radio desde el lugar de análisis, considerando el patrón de comportamiento de cada una de ellas.

Para la estimación de los parámetros de sismicidad de estas fuentes se ha utilizado el catálogo sísmico revisado y actualizado del IGP y completado hasta Agosto del 2007 con los datos del National Earthquake Information Center (NEIC). En este catálogo, para la zona en referencia, la información instrumental de sismos comienza a principios del siglo XX, sin embargo, esta información es incompleta hasta el año 1963, ya que no se cuenta con valores de magnitud de ondas de cuerpo m_b y profundidad focal, además la información sísmica reportada no es homogénea. El análisis de los parámetros de sismicidad fue realizado mediante estadística bayesiana, considerando los datos del catálogo depurado a partir del año 1963.

c) Atenuación de las ondas sísmicas

En este estudio se han utilizado las leyes de atenuación para ordenadas espectrales propuestas por Youngs et al. (1997), que diferencian los mecanismos focales para los sismos de subducción en sismos Interfase e Intraplaca.

Youngs et al. (1997), desarrollaron leyes de atenuación para zonas de subducción de sismos de Interfase e intraplaca, usando datos de sismos registrados en Alaska, Chile, Cascadia, Japón, México, Perú (14 registros) y las islas Salomón, para distancias entre 10 y 500 km, teniendo en cuenta las características del sitio.

d) Determinación del Peligro Sísmico Probabilístico

La evaluación del peligro sísmico en el área de estudio se ha realizado por métodos probabilísticos utilizando el programa de cómputo CRISIS 2003, desarrollado por Ordaz et al (1999). Este programa permite evaluar el nivel de peligro sísmico en un determinado lugar utilizando leyes de atenuación de aceleraciones espectrales y considerando eventos de diversos periodos de retorno. En el análisis se ha utilizado las fuentes sismogénicas propuestas para este estudio, con sus respectivos parámetros de sismicidad determinados en base a un catálogo actualizado hasta Agosto del año 2007.

La evaluación del peligro sísmico se ha realizado para un punto representativo de cada una de las ciudades en estudio, cuyas coordenadas geográficas se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Coordenadas geográficas representativas.

ZONA EN ESTUDIO		COORDENADAS	
		Longitud (W)	Latitud (S)
TAMBO DE MORA	P1 – Plaza de Armas	-76.182	-13.459
CHINCHA BAJA	P2 – Plaza de Armas	-76.161	-13.46

Los resultados obtenidos del programa CRISIS 2003 correspondiente a las máximas aceleraciones horizontales esperadas en los dos puntos analizados, para eventos con períodos de retorno de 200 y 475 años, se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Aceleraciones horizontales máximas.

Punto de Análisis	Ubicación		Aceleración Horizontal Máxima (g) para Periodos de Retorno de 30 y 475 años:			
	Longitud (W)	Latitud (S)	Youngs et al (1997) - Suelo			
			30	100	200	475
P1 - Plaza de Armas de Tambo de Mora	-76.182	-13.459	0.13	0.23	0.31	0.43
P2 - Plaza de Armas de Chincha Baja	-76.161	-13.46	0.13	0.23	0.31	0.43

La Norma E.030 de Diseño Sismorresistente de Edificaciones, define como la aceleración sísmica de diseño a aquella obtenida con una probabilidad de excedencia de 10% en un periodo de exposición sísmica de 50 años, la cual corresponde a un evento sísmico de 475 años de periodo de retorno. De acuerdo a este criterio, la aceleración de diseño para las ciudades de Tambo de Mora y Chincha Baja en suelo firme es de 0.43 g de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs et al (1997).

3.4 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

3.4.1 INTRODUCCIÓN

Las características geotécnicas de las ciudades de Tambo de Mora y Chincha Baja fueron definidas en base a un detallado programa de exploración de campo consistente en la excavación de calicatas y extracción de muestras de suelos para su respectivo análisis de laboratorio, realización de ensayos de penetración estándar SPT y ensayos de Cono Peck uniformemente distribuidos en toda el área urbana, con el objetivo de determinar la potencia de los lentes y las características físico mecánicas del suelo. Esta información fue complementada con la recopilación de estudios de mecánica de suelos con

finos de cimentación e investigaciones realizadas en el área de estudio. Adicionalmente se llevó a cabo un programa de exploración geofísica para determinar perfiles de velocidad de propagación de ondas de corte en diferentes puntos de la ciudad, los cuales han permitido definir la estructura del suelo hasta profundidades de 20 m en promedio.

La evaluación de los resultados de los ensayos elaborados y de toda la información recopilada ha permitido determinar perfiles de suelos característicos de las diferentes áreas estudiadas y definir zonas con características geotécnicas similares. Esta microzonificación geotécnica, que incluye el comportamiento dinámico del terreno para cada una de las zonas definidas, constituye uno de los principales aportes del presente estudio. Asimismo, con los resultados obtenidos, la cuantificación del peligro sísmico y la caracterización del comportamiento dinámico del suelo, se propone la microzonificación sísmica de las ciudades de Tambo de Mora y Chíncha Baja.

3.4.2 EXPLORACIÓN DE CAMPO – MECÁNICA DE SUELOS

El programa de exploración de campo se realizó en dos campañas, la primera entre el 05 de Mayo y el 10 de Mayo del 2008, y la segunda del 16 al 20 de Junio, durante la cual se realizó la exploración de campo de mecánica y dinámica de suelos del área de estudio.

Los trabajos consistieron en la ejecución de calicatas o excavación a cielo abierto de hasta 3 m de profundidad cada una, ensayos de penetración estándar (SPT) y ensayos de penetración cono de Peck. Las ubicaciones de estas exploraciones fueron convenientemente distribuidas, de tal forma que cubran uniformemente el área de estudio, como se muestra en el Plano P-01 del Anexo II. Luego de la ejecución de las exploraciones en la que se extrajo las muestras de suelo, se procedió a la descripción del material mediante la inspección visual de campo.

a) Excavación de calicatas.

Las excavaciones de las calicatas se realizaron con el apoyo de dos retroexcavadoras pertenecientes a las municipalidades de Tambo de Mora y Chíncha Baja, hasta una profundidad máxima de 3.0 m. Los materiales encontrados son rellenos, arena, gravas, bolones, de compacidad suelta a media, limo y arcilla, de consistencia blanda a compacta, de color beige a marrón oscuro. El nivel freático se ubicó desde 0.50 a 3.00 m de profundidad en la zona del litoral, y no fue detectado en la parte alta del acantilado.

En cada una de las calicatas excavadas se procedió a la toma de muestras de los diferentes tipos de suelos presentes siguiendo la norma de recolección y

muestreo (ASTM D420), así mismo se realizó la clasificación visual del material encontrado en el campo de acuerdo a los procedimientos indicados en la norma ASTM D2488.

La ubicación de las calicatas ejecutadas se indica en los Planos P-03 de la ciudad de Tambo de Mora y P-04 de la ciudad de Chincha Baja.

Los registros de calicatas se presentan en la sección A-1 del Anexo II y el panel fotográfico de las excavaciones se muestra en la sección A-3 del Anexo II.

b) Ensayo de Penetración Estándar SPT

Para determinar las características del terreno de cimentación, se han realizado 15 ensayos de penetración estándar (SPT), hasta una profundidad de 4.5 metros, debido a la presencia de gravas aisladas mayores a 2 pulgadas que no permitió la penetración a mayores profundidades. Estos sondajes han sido realizados mediante hincado por golpes de un tubo sacabocado de acero y posteadora manual. El ensayo de penetración estándar (SPT) fue realizado a cada metro de profundidad con la finalidad de determinar los parámetros de resistencia y compacidad del suelo en las condiciones del momento del ensayo.

La ubicación en planta de los ensayos SPT, que en función a las características del suelo encontrado, fueron realizados principalmente en la ciudad de Tambo de Mora, se indica en el Plano P-03. Los registros de los sondajes SPT se presentan en la sección A-1 del Anexo II y el panel fotográfico de estos ensayos se muestra en la sección A-3 del Anexo II.

c) Ensayo de cono Peck

Debido a la presencia de material gravoso en estratos relativamente superficiales, los ensayos SPT presentaban el rechazo a la penetración a profundidades de 2.0 a 4.50 m, por lo que se consideró conveniente continuar la exploración utilizando el Cono Peck. Este ensayo permite determinar la compacidad del suelo con registros continuos aunque sin recuperación de muestras.

Los ensayos de penetración dinámica con Cono Peck se realizaron hasta profundidades de 2.00 a 7.0 m, donde se encontraba un material gravoso compacto que generaba el rechazo a la penetración.

Adicionalmente se realizaron 04 ensayos Cono Peck desde la superficie del terreno para determinar la profundidad del depósito de grava gruesa.

La ubicación en planta de los ensayos Cono Peck ejecutados en el área de estudio se indica en el Plano P-03 correspondiente a la ciudad de Tambo de

Mora. Los registros de sondajes de Cono Peck se muestran en la sección A-1 del Anexo II, conjuntamente con los registros de los ensayos SPT.

d) Recopilación de información

Se han recopilado estudios de suelos con fines de cimentación de edificaciones, que también han sido considerados para determinar la distribución de tipos de suelo en toda el área urbana.

3.4.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio de las muestras de suelos fueron realizados en el Laboratorio Geotécnico del CISMID de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los ensayos estándar fueron realizados con la finalidad de identificar y clasificar las muestras de suelo siguiendo los criterios del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Los ensayos fueron realizados de acuerdo a las normas de la American Society for Testing and Material (ASTM) y fueron los siguientes:

a) Ensayos de caracterización física:

Determinación del Contenido de Humedad	ASTM D 2216.
Límite Líquido y Plástico	ASTM D 4318.
Análisis Granulométrico	ASTM D 421 – D 422
Clasificación de Suelos	ASTM D 2487.
Peso Unitario de Suelos	ASTM D 2937.

b) Ensayos de resistencia al esfuerzo cortante:

Corte Directo	ASTM – D 3080
---------------	---------------

Los certificados de los ensayos de laboratorio se presentan en la sección A-2 del Anexo II, y un resumen de los mismos se presenta en las Tablas A-1, A-2 y A-3 del Anexo II.

3.4.4 MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE TAMBO DE MORA

a) Perfil de Suelos

El Distrito de Tambo de Mora presenta una configuración de suelos muy errática y heterogénea, pudiéndose definir tres sectores que a continuación se describen:

El sector Sur de la ciudad, conformada por el sector CC PP Cruz Verde y el Asentamiento Humano La Marina, limitado por el Norte con la Calle José Olaya y la Calle Los Jazmines (Pasaje 08), por el Este con terrenos de cultivo,

por el Sur con el Muelle y por el oeste con el Océano Pacífico. El perfil del suelo está representado por las calicatas C-2, C-3, C-4, C-5 y C-6 y los sondajes S-5, S-10, S-11 y S-12. Este perfil muestra un relleno superficial de tierra de cultivo de hasta 0.5 m de espesor, en estado suelto. Subyaciendo a este material se encuentra predominantemente limos con arena y arcilla, que llega de 0.5 m hasta 2.00 m de profundidad, de color marrón oscuro, suelto, para luego continuar con el material gravoso, de partículas subredondeadas de tamaño máximo 10 pulgadas. El nivel freático en este sector se ubicó a profundidades variables de 0.50 m a 1.20 m. En la Calicata C-4 se encontró material orgánico de 0.30 m a 2.00 m, color marrón oscuro, medio blando, continuando el material gravoso, correspondiente a este sector.

El sector Central y Norte del distrito de Tambo de Mora, limitado por el Norte con el centro penitenciario, por el Este con el acantilado de la formación geológica Cañete, por el Sur con la Calle José Olaya y la Calle Los Jazmines, por el Oeste con el Océano Pacífico. El perfil de suelo está representado por las calicatas C-1, C-10, C-11, C-12, C-13 y C-14 y los sondajes S-1, S-2, S-3, S-4, S-6, S-7, S-8, S-9, S-13, S-14, S-15, S-16, S-17, S-18 y S-19. Este perfil presenta predominantemente un relleno heterogéneo de 0.20 m a 1.50 m de espesor. Subyaciendo a este relleno se encuentra predominantemente arena limosa de color gris claro, que llega hasta 4.50 m de profundidad, cuya compactación varía de suelta a media y se encuentra saturada, para luego continuar con la grava de compactación media a compacta. El nivel freático en este sector se encuentra a profundidades de 1.00 m en promedio. En la calicata C-10 se presenta la particularidad de un lente de grava de matriz arenosa de 1.00 m de espesor.

El Sector Este, comprendida por la Urbanización Vilma León y el Colegio Miguel Grau, presenta dos subsectores bien definidos. El primero de ellos es el subsector comprendido por el Colegio Miguel Grau y el Local Comunal de Tambo de Mora; el perfil estratigráfico está representado por las calicatas C-7 y C-8. Este perfil presenta un relleno heterogéneo de hasta 0.60 m de espesor, subyaciendo el material gravoso de matriz arenosa. El segundo subsector es el correspondiente a la Urbanización Vilma León; el perfil estratigráfico presenta un relleno de hasta 0.30 m de espesor, según el registro de la calicata C-9 y la inspección visual del talud adyacente al río Chico, subyaciendo a este relleno se encuentra la arcilla limosa, color beige, de baja humedad, con presencia de gravas aisladas a partir de 1.80 m de profundidad.

b) Microzonificación Geotécnica de Tambo de Mora

Basados en los estudios geológicos-geomorfológicos básicos y aplicados de geotecnia y el levantamiento de daños ocasionados por el terremoto del 15 de Agosto del 2007 en la ciudad de Tambo de Mora, se han logrado delimitar

cuatro zonas que presentan características similares referente al comportamiento mecánico del suelo, definidas en función a sus parámetros de resistencia cortante y compresibilidad, que gobiernan la capacidad de carga de las cimentaciones.

Los perfiles de suelos elaborados para las diferentes zonas del área de estudio fueron implementados en una base de datos de un sistema de información geográfica (GIS). Con esta herramienta ha sido posible visualizar con mayor claridad la variabilidad espacial de los diferentes tipos de suelos en el área en estudio, siendo posible elaborar mapas de suelos para varios niveles de profundidad, tal como se muestra en los Planos P-05, P-06, y P-07 del Anexo II. Esta información ha permitido delimitar con mayor precisión las cuatro zonas geotécnicas sísmicas identificadas en la ciudad de Tambo de Mora.

Esta delimitación del área de estudio por tipos de suelos es una información básica para realizar el modelamiento del comportamiento del terreno en la determinación del nivel de peligro sísmico y definir el mapa de microzonificación sísmica de las ciudades en estudio.

El plano P-05 muestra el mapa de tipos de suelos al nivel de 1.00 m de profundidad, el cual es el nivel promedio de la profundidad de cimentación para las edificaciones convencionales. En estos planos se puede observar que gran parte de la zona que ha registrado el mayor nivel de daños se encontraba cimentada sobre material de rellenos o arenas limosas de compacidad suelta, lo cual confirma la influencia del suelo de cimentación en los niveles de daños que se registran en los terremotos.

En función de las características de los suelos encontrados en el área de estudio se ha estimado la capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de una edificación convencional. El criterio de diseño de una cimentación considera que para garantizar el comportamiento satisfactorio de las estructuras, se deben cumplir las dos condiciones siguientes:

- a. La cimentación debe ser segura contra la falla de corte del suelo que la soporta, y.
- b. Los asentamientos producidos por la carga transmitida por la cimentación deben ser igual o menores que los admisibles para cada tipo de edificación.

En consecuencia, considerando que se cumplan estas condiciones, se ha realizado el cálculo de la capacidad de carga admisible para la cimentación de una vivienda social convencional, consistente en un cimiento corrido de 0.50 m de ancho y profundidades de cimentación variable en función al tipo de suelo

encontrado en las diferentes zonas de las ciudades en estudio. Para tal fin, se ha utilizado la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, con los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic (1973). Para la evaluación de la capacidad de carga admisible de esta cimentación se ha utilizado los resultados de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT) y DPL complementado con ensayos de resistencia cortante realizados. Los valores de capacidad de carga determinados para esta cimentación se indican a continuación, en la descripción de cada una de las zonas geotécnicas definidas.

ZONA I: Esta zona comprende la parte alta de la terraza, localizada al Norte de la vía de acceso que viene desde Chíncha Baja, prolongándose hacia el Norte a través del distrito de Sunampe. Estas elevaciones de los cerros alargados del Cuaternario del Pleistoceno o antiguo, (Qp-c) de la Formación Cañete, constituyen una zona interés, porque no existe problema de licuación y los efectos impacto sísmico son reducidos. En esta zona se encuentra ubicado el centro educativo Miguel Grau, así como una serie de huacas preincas que no han sufrido daños durante el terremoto.

Entre todos los suelos existentes en Tambo de Mora y la terraza del delta del Río Chico, estos suelos son de mejor estabilidad, porque no existe el nivel freático por lo menos dentro de los 30m de la altura de la escarpa y está formado por estratos de sedimentos arenosos, limosos y de arcillas de alta plasticidad con lentes de arenas preconsolidadas que descansan sobre gravas con matriz areno-limosas de la Formación Cañete.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.50 m de ancho cimentada a una profundidad de 1.0 m a 1.20 m en esta zona varía de 2.0 kg/cm² a 2.5 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por gravas o estratos de arena limosa compacta.

ZONA II: Está conformada por una franja de terreno comprendida entre la margen derecha del Río Chico al Sur y la vía de acceso que viene desde Chíncha Baja al Norte. El perfil de suelo de esta zona está conformado por un estrato superficial de arcilla limosa dura y seca, cuyo espesor varía de 1.8 a 3.0 m. Subyaciendo a ésta se encuentra un estrato de grava aluvial medio suelta con matriz areno limosa. En el corte del talud que ha generado el Río Chico en su margen derecha se observa que debajo del estrato de grava se encuentra otro estrato de arcilla, de lo cual se deduce que el perfil del suelo está conformado por una intercalación de estratos de estos materiales. Así mismo se observa que la grava es fácilmente erosionada por el río y muchas de las defensas ribereñas que se han construido en esta zona han fallado; en consecuencia, las zonas de la terraza próximas a los acantilados presentan un

moderado peligro de colapso en caso que el cauce del río se aproxime al pie de aquellos.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.50 m de ancho cimentada a una profundidad de 1.0 m en esta zona es 1.50 kg/cm^2 . Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una arcilla arenosa de consistencia medio rígida a rígida.

ZONA III: Esta zona está conformada por una franja de la planicie del litoral que se encuentra colindante con la playa libre al Oeste y con las zonas de humedales y albuferas hacia el Este. Al Sur del Río Chico no se encuentran humedales, salvo en la zona muy próxima al río, en consecuencia, el límite Este de esta zona está conformada por campos agrícolas. El perfil estratigráfico del suelo en este sector Sur está conformado por un estrato superficial de arenas finas en estado suelto, con un espesor que varía entre 1.5 y 2.5 m. Subyaciendo a este estrato se encuentra la grava aluvial del cono de deyección del Río Chico. El nivel freático se encuentra a profundidades que varían desde 0.50 m cerca de la playa a 1.5 m en el extremo Este del área urbana. Si bien el estrato superficial de arena es potencialmente licuable, no se han encontrado evidencias de licuación de suelos durante el último evento sísmico en este sector, fenómeno que sí se ha manifestado en forma intensiva en la zona que se encuentra al Norte del Río Chico.

Al Norte del Río Chico el perfil estratigráfico también presenta un estrato de arena superficial de hasta 2.5 m de espesor, que se encuentra suelta y con el nivel freático a una profundidad menor a 1.0 m. Subyaciendo se encuentra un estrato de grava con matriz arenosa suelta. En este sector se han encontrado evidencias de ocurrencia de licuación generalizada, habiéndose detectado desplazamientos laterales importantes hacia el litoral; sin embargo, los daños observados en las estructuras cimentadas en esta zona (principalmente industrias pesqueras) no han sido de consideración, probablemente por el tipo de cimentación utilizada. Las viviendas cimentadas superficialmente sí han colapsado totalmente. En consecuencia, se puede concluir que en esta zona no se puede construir edificaciones con cimentaciones superficiales por ser altamente vulnerables a la licuación y a los desplazamientos laterales. Así mismo se considera que las líneas vitales que se construyan en esta zona estarán expuestas a un alto riesgo de colapso, en vista que deberán instalarse en el estrato superficial del suelo.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.50 m de ancho cimentada a una profundidad de 1.8 m a 2.0 m en esta zona varía de 0.60 kg/cm^2 a 0.8 kg/cm^2 . Se considera que la cimentación debe estar asentada

sobre terreno natural conformado por una grava areno limosa de compacidad media suelta.

ZONA IV: El perfil estratigráfico en esta zona está conformado por un estrato superficial de arena suelta de hasta 6.0 m de espesor, por debajo del cual se encuentra la grava. El nivel freático se encuentra en algunos sectores en la superficie del terreno, conformando áreas pantanosas. Esta zona ha presentado una licuación generalizada y masiva, habiéndose detectado desplazamientos laterales de hasta 6.0 m hacia el litoral. En esta zona se han presentado los mayores daños a las edificaciones, observándose asentamientos de hasta 1.0 m en gran parte de ellas.

Esta zona el peligro de licuación es inminente y el riesgo de daños a las edificaciones es total, por lo cual no debe ser utilizada para la construcción de ningún tipo de edificaciones.

El Plano P-08 del Anexo II muestra el Mapa de Microzonificación Geotécnica de la ciudad de Tambo de Mora.

3.4.5 MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE CHINCHA BAJA

a) Perfil de Suelos

La ciudad de Chíncha Baja presenta una configuración de suelos heterogéneo, pudiéndose definir tres sectores que a continuación se describen:

El sector Sur y Sur Oeste, está limitado por el Norte con los terrenos de cultivo paralelos a la avenida Arnaldo Alvarado, por el Noreste con el Pasaje 01 y la Calle Grau, por el Sur con los terrenos de cultivo paralelos al río Chico, y por el Oeste con la ciudad de Tambo de Mora. El perfil de suelo de este sector está representado por la Calicatas C-6, C-7 C-11 y C-15. Este perfil muestra un relleno superficial de hasta 1.20 m de espesor, subyaciendo al relleno se encuentra el estrato limo arcilloso de potencia mayores a 3.00 m, cuya consistencia varía de media a dura, color beige a pardo y humedad baja.

El sector Central, comprendido principalmente por el lote perteneciente a la Iglesia "Santiago Apóstol". El perfil del suelo está representado por la calicata C-8 y C-17. Este perfil presenta un relleno heterogéneo de 2.00 m a 2.80 m de espesor, subyaciendo al relleno se encuentra un lente de 0.15 m de arcilla limosa, color marrón oscuro, blanda y húmeda, continuando la grava de matriz arenosa.

El sector Central, Noroeste y Este de la ciudad. El perfil del suelo está representado por las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4, C-5, C-9, C-10, C-12, C-13 y

C-16. Este perfil presenta un relleno superficial de hasta 0.80 m de espesor, subyaciendo al relleno se encuentra el estrato limo arcilloso, de 0.50 m a 2.00 m de profundidad, continuando con la grava de matriz arenosa, de bordes subredondeados.

En la calicata C-14 en particular se encuentra material de relleno de hasta 0.80 m de profundidad, continuando un estrato de arena limpia, color pardo, suelta y presenta gravas aisladas de Tamaño Máximo 1-1/2 pulgadas.

b) Microzonificación Geotécnica de Chincha Baja

Basados en los estudios geológicos, geotécnicos y levantamiento de daños ocasionados por el terremoto del 15 de Agosto del 2007 en la ciudad de Chincha Baja, se han logrado delimitar tres zonas que presentan características similares referente al comportamiento mecánico del suelo, definidas en función a sus parámetros de resistencia cortante y compresibilidad, que gobiernan la capacidad de carga de las cimentaciones.

Los perfiles de suelos elaborados para las diferentes zonas del área de estudio fueron implementados en una base de datos de un sistema de información geográfica (GIS). Con esta herramienta ha sido posible visualizar con mayor claridad la variabilidad espacial de los diferentes tipos de suelos en el área en estudio, siendo posible elaborar mapas de suelos para varios niveles de profundidad, tal como se muestra en los Planos P-09 y P-10 del Anexo II, para la ciudad de Chincha Baja. Esta información ha permitido delimitar con mayor precisión las tres zonas geotécnicas correspondientes a la Ciudad de Chincha Baja.

En función de las características de los suelos encontrados en el área de estudio se ha estimado la capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de una edificación convencional.

Se ha realizado el cálculo de la capacidad de carga admisible para la cimentación de una vivienda social convencional, consistente en un cimiento corrido de 0.50 m de ancho y profundidades de cimentación variable en función al tipo de suelo encontrado en las diferentes zonas de las ciudades en estudio. Para tal fin, se ha utilizado la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, con los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic (1973). Para la evaluación de la capacidad de carga admisible de esta cimentación se ha utilizado los resultados de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT), y ensayos de resistencia cortante realizados. Los valores de capacidad de carga determinados para esta cimentación se indican a continuación, en la descripción de cada una de las zonas geotécnicas definidas para la ciudad de Chincha Baja.

ZONA I: Esta zona comprende la parte Norte y Noreste de la ciudad de Chincha Baja. En esta zona el perfil de suelo está conformado por depósitos de rellenos de hasta 0.8 m de espesor y un estrato de arcilla rígida de 0.5 m a 2.0 m, seguido por un estrato de grava con matriz limo arenosa compacta. Este suelo es bastante competente para la construcción de cimentaciones superficiales. Los parámetros de resistencia portante serán evaluados luego de obtener los resultados de los ensayos de laboratorio.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.50 m de ancho cimentada a una profundidad de 1.0 m a 1.20 m en esta zona es 2.50 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una grava media densa.

ZONA II: Está conformada por una franja de terreno comprendida entre la margen derecha del Río Chico al Sur y la vía que se dirige hacia la ciudad de Tambo de Mora al Norte. El perfil de suelo de esta zona está conformado por un estrato superficial de arcilla limosa dura y seca, cuyo espesor es mayor a 3.0 m. Subyaciendo a ésta se encuentra un estrato de grava aluvial medio suelta con matriz areno limosa. En el corte del talud que ha generado el Río Chico en su margen derecha se observa que debajo del estrato de grava se encuentra otro estrato de arcilla, de lo cual se deduce que el perfil del suelo está conformado por una intercalación de estratos de estos materiales. Asimismo, se observa que la grava es fácilmente erosionada por el río y muchas de las defensas ribereñas que se han construido en esta zona han fallado; en consecuencia, las zonas de la terraza próximas a los acantilados presentan un moderado peligro de colapso en caso que el cauce del río se aproxime al pie de los acantilados.

Esta zona es relativamente competente y no presenta mayor problema para la cimentación de las edificaciones. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.50 m de ancho cimentada a una profundidad de 1.0 m es 1.50 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una arcilla limosa con arena de consistencia media a dura.

ZONA III: Esta zona está conformada por un depósito muy localizado de relleno heterogéneo de 2.0 m de espesor, que ha sido encontrado en el área donde se encuentra construida la Iglesia Santiago Apóstol de Chincha Baja. Por debajo de este material se encuentra un lente de arcilla y seguidamente la grava. En esta zona la cimentación de las estructuras deberá realizarse en terreno natural y deberá reemplazarse el material de relleno heterogéneo con un material de préstamo convenientemente compactado.

El Plano P-11 del Anexo II muestra el Mapa de Microzonificación Geotécnica de la ciudad de Chincha Baja.

3.5 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LOS SUELOS

3.5.1 INTRODUCCIÓN

La evaluación de las características dinámicas del suelo en las ciudades en estudio se ha realizado mediante ensayos geofísicos consistentes en la medición de microtrepidaciones y ensayos de refracción sísmica y de medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW). Estos ensayos han permitido determinar el periodo de vibración predominante del suelo y además obtener perfiles sísmicos con velocidades de propagación de ondas de corte, con los cuales se puede modelar la respuesta dinámica del terreno y estimar los factores de amplificación que generan a las ondas sísmicas que arriban desde el subsuelo. A continuación se presentan los resultados de los ensayos geofísicos realizados en las ciudades de Tambo de Mora y Chincha Baja.

3.5.2 ENSAYOS DE MEDICIÓN DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO MASW

La exploración geofísica fue ejecutada con el objeto de determinar la velocidad de propagación de las ondas S (V_s) del terreno en el área de estudio mediante ensayos MASW para la obtención de perfiles de ondas S. Con la información obtenida de este ensayo es posible realizar una estimación indirecta de las características estratigráficas de los suelos que se encuentran a diferentes profundidades y determinar sus propiedades dinámicas.

En el área de estudio se han realizado 16 ensayos MASW en la Ciudad de Tambo de Mora y 4 ensayos MASW en la Ciudad de Chincha Baja con un total de 970 m de longitud. También se han realizado 7 ensayos refracción sísmica con un total de 408 m de longitud

La ubicación de las líneas sísmicas ejecutadas en las zonas de estudio se presenta en los Planos P-03 y P-04. En la Tabla B-1 del Anexo II se presenta un listado de los sondajes realizados.

a) Fundamento del Ensayo MASW

El Ensayo MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales es un método de exploración geofísica que permite determinar en forma indirecta

los lentes de la estratigrafía del subsuelo bajo un punto, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh ú Ondas R) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (V_s) para el punto central de dicha línea.

La interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (un trazado de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales ya que su velocidad de fase se aproxima en un 90 a 95% del valor de V_s , y luego mediante un cálculo inverso iterativo (método de inversión) se obtiene el perfil V_s desde la curva de dispersión calculada para cada punto de estudio. Con los equipos utilizados, la profundidad de exploración varía de 20 a 25 m en promedio.

b) Equipo e Instrumentos Utilizados

Para realizar el ensayo de MASW se utilizó un equipo de prospección geofísica ES 3000, desarrollado por la empresa GEOMETRICS el cual tiene las siguientes características:

- 12 canales de entrada, cada uno tiene un convertidor A/D individual con resolución 24bit y alta velocidad de muestreo.
- 15 sensores o geófonos de 4.5Hz de frecuencia, los cuales permiten registrar las vibraciones ambientales del terreno producidas por fuentes naturales o artificiales y el arribo de las ondas P y ondas S generadas por las fuentes de energía.
- Computadora portátil, Lap Top Pentium IV.
- Un cable de conectores de geófonos de 180 m de longitud.
- Radios de comunicación y accesorios varios.

Los registros de las ondas sísmicas obtenidas con el equipo ES 3000 en cada una de las líneas de exploración pueden ser procesados en el campo en forma preliminar y en forma definitiva en el gabinete, utilizando para ello programas de cómputo que permiten obtener las velocidades de propagación de las ondas S.

c) Procedimiento de los Trabajos de Campo

En los trabajos de campo que se realizó en cada ensayo de MASW primeramente se definió el eje del sondaje sísmico. Luego se procedió a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos. El espaciamiento entre geófonos es definido en función de la profundidad de

exploración requerida. En el presente trabajo, en función a la topografía y a los requerimientos del estudio, se realizaron líneas MASW de 53 m de longitud. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas fue un martillo de 25 libras.

Se realizaron en total 20 sondajes cuya longitud de separación entre sensores o geófonos fue de 3 m. La ubicación de los sondajes MASW ejecutados tanto en la ciudad de Tambo de Mora como en Chíncha Baja se presenta en los Planos P-03 y P-04 respectivamente. Los registros de los sondajes sísmicos de ondas S se presentan en el Anexo B -1 del Anexo II. Asimismo, en el Anexo B-3 del Anexo II se presenta el panel fotográfico que documenta las diferentes actividades realizadas en el trabajo de campo, durante la realización de estos ensayos.

d) Procesamiento e Interpretación de la Información

Con los registros de las ondas sísmicas obtenidos en cada una de las líneas de exploración realizadas, se determinan las curvas de dispersión de las ondas en función de las frecuencias. Con esta información se realizó la interpretación de los sondajes sísmicos del área investigada, los cuales se presentan en la sección B -1 del Anexo II, y cuya descripción se presenta a continuación.

Sondaje 1 (S-01)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 1, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 90 m/s a 150 m/s, hasta una profundidad de 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa muy suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 170 m/s a 230 m/s, desde una profundidad de 7.0 m hasta 13.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena mal gradada con limo, de compacidad suelta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 275 m/s a 310 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena con limo medio densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 01 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 2 (S-02)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 2, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 160 m/s a 185 m/s, hasta una profundidad de 2.3 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena mal gradada con limo, de compacidad suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 210 m/s a 230 m/s, desde una profundidad de 2.3 m hasta 9.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena con limo medio suelta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s a 350 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena con limo densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 02 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 3 (S-03)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 3, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta un valor de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 110 m/s, hasta una profundidad de 2.5 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa muy suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 200 m/s a 210 m/s, desde una profundidad de 2.5 m hasta 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena con limo suelta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s a 350 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena con limo medio densa a densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 03 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 4 (S-04)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 4, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 80 m/s a 110 m/s, hasta una profundidad de 2.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa muy suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 170 m/s a 190 m/s, desde una profundidad de 2.0 m hasta 5.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena mal gradada con limo suelta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 230 m/s a 280 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa medio densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 04 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 5 (S-05)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 5, de 53.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 100 m/s a 125 m/s, hasta una profundidad de 2.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa muy suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 170 m/s a 195 m/s, desde una profundidad de 2.0 m hasta 4.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena mal gradada con limo suelta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 220 m/s a 260 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa media suelta.

Este sondaje se muestra en la Figura 05 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 6 (S-06)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 6, de 38 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 90 m/s a 135 m/s, hasta una profundidad de 2.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena mal gradada muy suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 140 m/s a 215 m/s, desde una profundidad de 2.0 m hasta 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa medio suelta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 290 m/s a 415 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 06 de la sección B-1 del Anexo II..

Sondaje 7 (S-07)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 7, de 38 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 130m/s a 140 m/s, hasta una profundidad de 2.2 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena mal gradada muy suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 235 a 315 m/s, desde una profundidad de 2.2 m hasta 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava limosa medio suelta a densa.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 350 m/s a 500 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava limosa densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 07 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 8 (S-08)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 8, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 135 m/s a 165 m/s, hasta una profundidad de 2.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena con limo suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 235 m/s a 270 m/s, desde una profundidad de 2.0 m hasta 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava limosa medio suelta a densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 08 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 9 (S-09)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 9, de 38 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 75 m/s a 135 m/s, hasta una profundidad de 3.5 m. Estratigráficamente este material correspondería a un suelo orgánico muy blando.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 165 m/s a 210 m/s, desde una profundidad de 3.5 m hasta 8.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena mal gradada con limos suelta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 210 m/s a 250 m/s, hasta una profundidad 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena mal gradada medio suelta.

Este sondaje se muestra en la Figura 09 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 10 (S-10)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 10, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta un valor de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 140 m/s, hasta una profundidad de 2.3 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena arcillosa muy suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s a 320 m/s, desde una profundidad de 2.3 m hasta 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa medio suelta a densa.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 330 m/s a 475 m/s, desde una profundidad de 7.0 m. hasta 13.2 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 10 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 11 (S-11)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 11, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 210 m/s a 245 m/s, hasta una profundidad de 2.4 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa medio suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 350 m/s a 435 m/s, desde una profundidad de 2.4 m hasta 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla limo arenosa de consistencia rígida.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 435 m/s a 530 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa con matriz arcillosa compacta.

Este sondaje se muestra en la Figura 11 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 12 (S-12)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 12, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta un valor de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 100 m/s, hasta una profundidad de 1.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa muy suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 220 m/s a 310 m/s, desde una profundidad de 1.0 m hasta 5.10 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla limo arenosa de consistencia medio rígida.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s a 570 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa con matriz arcillosa compacta.

Este sondaje se muestra en la Figura 12 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 13 (S-13)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 13, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 170 m/s a 200 m/s, hasta una profundidad de 2.5 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limpia suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 290 m/s a 420 m/s, desde una profundidad de 2.5 m hasta 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava pobremente gradada suelta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 500 m/s a 710 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava pobremente gradada compacta a muy compacta.

Este sondaje se muestra en la Figura 13 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 14 (S-14)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 14, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta un valor de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 120 m/s hasta una profundidad de 2.2 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena mal gradada muy suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 190 m/s a 250 m/s, desde una profundidad de 2.2 m hasta 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa medio suelta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 290 m/s a 360 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 14 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 15 (S-15)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 15, de 38 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 260 m/s a 325 m/s, hasta una profundidad de 5.2 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa medio densa.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 390 m/s a 440 m/s, desde una profundidad de 5.2 m hasta 9.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena arcillo limosa densa.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 480 m/s a 510 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena arcillosa limosa densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 15 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 16 (S-16)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 16, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 220 m/s a 260 m/s, hasta una profundidad de 2.10 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla arenosa medio firme.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 440 m/s a 525 m/s, desde una profundidad de 4.0 m hasta 20.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena arcillo limosa con grava muy densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 16 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 17 (S-17)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 17, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 265 m/s a 310 m/s, hasta una profundidad de 2.10 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava con arena limosa medio suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 420 m/s a 520 m/s, desde una profundidad de 5.3 m hasta 15.5 m, a partir de la cual va disminuyendo en profundidad hasta los 20.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava con arena limosa densa.

Este sondaje se muestra en la Figura 17 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 18 (S-18)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 18, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos

genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 330 m/s a 390 m/s, hasta una profundidad de 4.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla limosa con arena de consistencia rígida.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 440 m/s a 470 m/s, desde una profundidad de 4.0 m hasta 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava pobremente gradada compacta.

Este sondaje se muestra en la Figura 18 de la sección B-1 del Anexo II.

Sondaje 19 (S-19)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 19, de 38 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 185 m/s a 200 m/s, hasta una profundidad de 2.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla limosa de consistencia media blanda.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 290 m/s a 340 m/s, desde una profundidad de 3.6 m hasta 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla arenosa firme.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 370 m/s a 420 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava con matriz arenosa compacta.

Este sondaje se muestra en la Figura 19 de la sección B-1 del Anexo II..

Sondaje 20 (S-20)

Este sondaje corresponde al ensayo MASW conformado por la línea sísmica denominada Línea 20, de 38 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta un valor de velocidad de propagación de ondas S (Vs) de 220 m/s hasta una profundidad de 1.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arcilla arenosa de consistencia media firme.

El segundo estrato presenta un valor de velocidad de propagación de ondas S (Vs) de 330 m/s, hasta una profundidad de 2.4 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava pobremente gradada medio densa.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) de 390 m/s a 460 m/s, hasta una profundidad de 20 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava pobremente gradada compacta.

Este sondaje se muestra en la Figura 20 de la sección B-1 del Anexo II.

La Tabla B-2 del Anexo II presenta el resumen de los sondajes sísmicos definidos.

3.5.3 MEDICIÓN DE MICROTREPIDACIONES

Los microtemblores también son conocidas como microtrepidaciones, microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores (Flores, 2004).

La técnica de medición de microtemblores ha sido utilizada desde principios del siglo XX para determinar las propiedades dinámicas del terreno. Omori (1908) inició las investigaciones sobre microtemblores empleando un instrumento muy simple para observar la vibración natural del suelo que no correspondía a una vibración sísmica ni a alguna oscilación pulsatoria y encontró que dicha vibración natural podría ser causada por el viento, olas marinas, o perturbaciones artificiales como el tráfico, vibración de máquinas, etc. Para definir este tipo de vibraciones, que tienen periodos cortos y sus amplitudes son más pequeños que las oscilaciones pulsatorias, Omori utilizó el término de “microtrepidaciones”.

Desde que el terremoto de California del 18 de Mayo de 1940 fue registrado exitosamente en la estación sísmica “El Centro”, los estudios dinámicos sobre el diseño sismo-resistente de estructuras fueron desarrollados muy rápidamente. Estos estudios también comprendieron las características vibratorias del suelo, apareciendo así la medición de microtrepidaciones como un procedimiento adecuado por su facilidad y rapidez. Desde entonces se han llevado a cabo estudios extensivos sobre la relación entre las microtrepidaciones y los daños sísmicos. En este aspecto, se puntualizaba la importancia de la relación entre el llamado período predominante y la estructura del suelo. Yamahara (1969), después del terremoto del Tokachi-Oki de 1968, indicó que el daño sísmico no

estaba relacionado únicamente al periodo predominante sino también a la forma del espectro de potencia y presentó el concepto de período selectivo. Huamán (1991) después de modelar perfiles típicos de suelos en La Punta y Callao, realizó el análisis de la respuesta dinámica de los suelos bajo movimientos sísmicos severos obteniendo que los espectros de respuesta de aceleraciones presentan periodos predominantes aproximadamente igual a 1.85 veces el valor medido por microtrepidaciones.

Actualmente se sabe que el periodo predominante del suelo determinado por medición de microtrepidaciones tiene una gran correlación con los efectos de sitio, aún cuando la respuesta dinámica del terreno durante movimientos severos no es exactamente predicha por el análisis de las microtrepidaciones. Esta técnica de medición de microtrepidaciones ha sido utilizada en el presente estudio para determinar las características dinámicas del terreno de fundación en las ciudades de Tambo de Mora y Chincha Baja.

Los microtremores o microtrepidaciones están conformadas básicamente por ondas superficiales Rayleigh y Love que están afectadas por la estructura geológica del sitio donde se mide, las fuentes se encuentran distribuidas al azar y en una gran área, las cuales se clasifican en (Bard, 1998):

- A bajas frecuencias (por debajo de 0.3 Hz a 0.5 Hz) son causados por las ondas oceánicas que ocurren a grandes distancias.
- A frecuencias intermedias (0.3–0.5 Hz y 1 Hz) los microtremores son generados por las olas del mar cercanas a las costas.
- Para altas frecuencias (mayores a 1 Hz), las fuentes están ligadas a la actividad humana.

Lermo (1992) y Lermo y Chávez-García (1994) definen los microtremores como vibración o ruido ambiental. Para evaluar las características dinámicas del terreno en las ciudades de Tambo de Mora y Chincha Baja se realizó la medición de microtremores en 69 puntos distribuidos uniformemente en todo el área urbana y posibles zonas de expansión. La ubicación de los puntos de medición se presenta en los Planos P-12 y P-13 (Anexo II), en la cantidad indicada en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Puntos de medición de microtrepidaciones.

Ciudad	Número de Puntos
Chincha Baja	20
Tambo de Mora	49
Total	69



Esta técnica ha sido ampliamente usada en trabajos de microzonificación sísmica dando muy buenos resultados. El procesamiento de la información se ha realizado utilizando el método de Nakamura, el cual consiste en determinar la relación de espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la componente vertical (relación H/V). El método de Nakamura ha dado buenos resultados en la evaluación de los registros de microtemores obtenidos en esta ciudad, donde se observa que hay importantes efectos dinámicos, observándose considerables amplificaciones en periodos bajos e intermedios.

a) Descripción del Equipo

Existen una serie de equipos de medición de microtempidaciones, los cuales esencialmente cuentan con los mismos componentes, variando frecuentemente en los dispositivos de almacenamiento, visualización y procesamiento de los datos. El Laboratorio Geotécnico del CISMID posee un moderno sistema de adquisición de datos de prospección sísmica, GEODAS 10, el cual tiene las siguientes características:

- 16 canales de entrada, cada uno con un convertidor A/D individual con resolución 24 bit y alta velocidad de muestreo.
- Computadora portátil, Toshiba SS-3480, CPU Pentim III 600MHz. RAM 64MB y Disco Duro de 12GB.
- 5 Sensores triaxiales "GEODAS-10, CR4,5-1" de 1 segundo de periodo natural
- Cable conectores de 25 y 50 m de longitud
- Batería de 12V.

El sistema permite visualizar y registrar las vibraciones ambientales a diferentes frecuencias de muestreo. Una vez que las ondas hayan sido grabadas en el disco duro de la computadora, éstas pueden ser procesadas inmediatamente, mediante un software incorporado que permite determinar los espectros de Fourier, las relaciones espectrales H/V y las relaciones espectrales entre dos registros de diferentes lugares. Mediante este procesamiento rápido se puede evaluar en campo la calidad de las mediciones, en función a lo cual se podrá determinar si se debe realizar mediciones adicionales.

b) Procedimiento del Ensayo

Las mediciones de microtemores son realizadas sobre la superficie del terreno o a diferentes profundidades dentro de una perforación, utilizando sensores suficientemente sensibles. Estas mediciones registran las velocidades de los microtemores, las que luego son almacenadas en forma digital, para su

posterior procesamiento en gabinete. Para realizar la medición se instala el sensor triaxial en la superficie del terreno, orientando sus componentes horizontales en las direcciones E-W y N-S. Luego de conectar e instalar todo el equipo se procede a registrar los microtemores por un lapso de tiempo lo suficientemente largo para garantizar que se registren tramos de ondas sin interferencias directas por el paso de vehículos o personas en las zonas próximas al sensor.

Los registros de las microtrepidaciones obtenidos en los puntos de medición realizados en las ciudades de Tambo de Mora y Chicha Baja se presentan en la sección B-2 del Anexo II.

c) Evaluación e Interpretación de las Mediciones

Usualmente la interpretación de los registros de microtrepidaciones se realiza a través del análisis de amplitudes espectrales. Este procedimiento consiste en convertir la señal analógica a una señal digital discreta, para luego aplicarle la Transformada de Fourier y obtener el periodo predominante, el cual presenta la mayor amplitud espectral. Para eliminar el efecto de la fuente de generación de las vibraciones, Nakamura (1989) propone evaluar la relación espectral H/V, es decir determinar la relación de espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la componente vertical (relación H/V) la cual representa mejor el comportamiento dinámico del perfil del terreno. En el presente estudio, dado que el equipo GEODAS 10 está implementado con un software de procesamiento de datos que incluye ambos procedimientos, se ha realizado el análisis utilizando estas dos metodologías para el procesamiento de las señales, encontrándose que la relación espectral H/V propuesta por Nakamura define con mayor claridad tanto el periodo de vibración fundamental como el rango de amplificaciones presentadas por el terreno. Al momento de obtener el cociente espectral, se han utilizado las componentes horizontales por separado y utilizando una combinación de éstas como se indica en las siguientes expresiones:

$$H/V = S_{NS} / S_V \quad H/V = S_{EW} / S_V \quad H/V = \frac{\sqrt{(S_{NS})^2 + (S_{EW})^2}}{S_V}$$

Se superponen los resultados obtenidos en cada caso, de manera de poder identificar de forma confiable el periodo predominante del suelo medido. Los gráficos de las relaciones espectrales H/V de los puntos seleccionados se presentan en la sección B-3 del Anexo II, conjuntamente con un segmento de onda correspondiente. En los Planos P-14 y P-15 se muestran los valores de periodo predominante determinados para cada punto medido. La sección B-3

del Anexo II presenta un panel fotográfico de puntos de medición de microtemores.

d) Mapa de Zonas de Isoperiodos

d.1) Tambo de Mora

En el Plano P-14 se presenta las zonas de periodos predominantes del terreno determinada para la Ciudad de Tambo de Mora en función del análisis de los resultados obtenidos de la medición de microtemores en diferentes puntos. Se han identificado cuatro zonas con diferentes periodos.

Se identifica una zona de periodos menores o igual a 0.10 s (color verde) ubicado al sur de la ciudad. Los cocientes espectrales H/V presentan una amplificación relativa máxima de valor bajo a moderado (de 2 a 6 veces), estos cocientes espectrales tienen una forma ancha presentando un pico máximo definido. Estas características corresponden a un suelo de tipo rígido a intermedio.

Otra zona de periodos tiene un intervalo de 0.10 s a 0.20 s (color amarillo) ubicado a la margen derecho del río Chico. Los cocientes espectrales H/V de esta zona presentan amplificaciones relativas máximas predominantemente con valores bajos (de 1.5 a 2.5 veces). Estos espectros también presentan formas anchas, con cierta tendencia a mostrar más de un pico definido de valor máximo. Las formas espectrales descritas en esta zona corresponden al comportamiento dinámico de un suelo intermedio.

Otra zona presenta periodos que varían de 0.20 s a 0.30 s (color naranja). Los cocientes espectrales H/V muestran una amplificación relativa máxima de valores moderados a altos (de 4 a 11 veces), los espectros presentan formas anchas pero con tendencia a presentar un pico definido de valor máximo. Estos valores de periodo se han estimado en tres áreas ubicadas alrededor de la plaza de armas, fábricas y el centro penitenciario. Se concluye que esta zona presenta las características de un suelo intermedio a blando.

La última zona corresponde a periodos igual o mayor a 0.30 s (color rojo) ubicado al norte de la ciudad presentando la mayor extensión con respecto a las anteriores. Los cocientes espectrales H/V presentan amplificaciones relativas máximas de valores moderados en la mayoría de los puntos medidos (de 4 a 7 veces), estos cocientes espectrales tiene una forma ancha no presentando un pico máximo con definición. Esta zona es la que presenta los mayores periodos del área de estudio. Los valores descritos definen un suelo de tipo blando.

d.2) Chincha Baja

El Plano P-15 muestra los periodos predominantes del terreno estimados para la Ciudad de Chincha Baja en función del análisis de los resultados obtenidos de la medición de microtremores en diferentes puntos.

El intervalo de valores de periodos obtenidos es de 0.20 s a 0.25 s (color amarillo), es decir existe muy poca variación del valor del periodo predominante para el terreno de esta ciudad. Los cocientes espectrales H/V presentan amplificaciones relativas máximas con valores bajos (de 1.5 a 2.0 veces). Estos espectros presentan formas anchas, con cierta tendencia a mostrar un pico definido de valor máximo. Los valores y Las formas espectrales descritas en esta zona corresponden al comportamiento dinámico de un suelo intermedio.

e) Discusión de Resultados

e.1) Tambo de Mora

Las mediciones de microtremores determinan la presencia de suelos rígidos, intermedios y blandos en la zona de estudio. La mayor cantidad de daños graves y colapsos de edificaciones en esta ciudad producto del fenómeno de licuación que se presentó debido al sismo del 15 de agosto del 2007 se ubican en la zona de color naranja y rojo, donde se han encontrado los mayores valores de periodos (mayor a 0.20 s) y moderados y altos valores de amplificaciones relativas máximas (de 4 a 11 veces). Daños graves, moderados y leves en edificaciones son observados en la zona de color amarillo donde los periodos y las amplificaciones relativas máximas presentan valores bajos (0.10 s a 0.20 s de periodo y de 1.5 a 2.5 veces de amplificación), al sur de esta zona se concentran mayormente las edificaciones con daños leves o sin daño. La zona en color verde presenta menos daños en edificaciones, en comparación con las anteriormente mencionadas, esta área presenta valores bajos a moderados de amplificación relativa máxima (2 a 6 veces) y valores de periodos bajos (0.07 s a 0.10 s). Se concluye que los valores obtenidos con la medición de microtremores tanto de periodos del suelo como de amplificaciones relativas máximas coinciden aceptablemente con los daños ocurridos en esta ciudad.

e.2) Chincha Baja

La medición de microtremores determina la presencia de suelo de tipo intermedio en esta ciudad, con valores de periodo de 0.20 s a 0.25 s, intervalo que refleja poca variación y con amplificaciones relativas máximas de 1.5 a 2.0 veces mayor, valores bajos y con poca variación, estas características dinámicas se reflejan en el nivel de daños observados de edificaciones en esta ciudad, mucho menor en comparación con lo que ocurrió en Tambo de Mora. La

medición de microtemores determina valores de periodo y amplificación relativa aceptables para este terreno de acuerdo a los daños observados en esta ciudad.

3.5.4 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

El terremoto del 15 de Agosto de 2007 ha generado un gran problema de licuación de suelos intensivo en la ciudad de Tambo de Mora. Se ha observado que la mayor parte de la terraza marina localizada al Norte del río Chico, y en una longitud aproximada de 4.0 Km ha sufrido grandes desplazamientos laterales como producto de la licuación de suelos. Los daños sufridos por las edificaciones que se encontraban cimentadas en esta área han sido severos, debido tanto al hundimiento de las estructuras como al desplazamiento lateral observado. Investigaciones preliminares realizado por un grupo de expertos del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Sísmica de Estados Unidos y del CISMID-UNI, han estimado que el desplazamiento lateral de la terraza marina en dirección al mar ha alcanzado hasta los 6.0 m en algunas zonas, por lo cual ha concitado el interés de diversos investigadores de este tipo de fenómenos. Ante esta evidencia de la magnitud del fenómeno, es de interés evaluar el espesor de los estratos licuables y el potencial de licuación de los mismos, para así determinar cuantitativamente el nivel de peligro que este fenómeno representa para las edificaciones que se encuentren cimentadas o se pretendan construir en esta zona.

La evaluación del potencial de licuación de la ciudad de Tambo de Mora se realizó mediante el uso del método simplificado propuesto en el “1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils”, basado en observaciones de datos históricos de campo del comportamiento de depósitos de arena, implicando el uso de parámetros de suelo in-situ para determinar semejanzas o diferencias entre estos lugares y otros propuestos, con respecto a su comportamiento potencial. Este parámetro in-situ puede ser la resistencia a la penetración del suelo y en particular la resistencia a la penetración estándar (SPT) debido a la gran cantidad de datos históricos procesados y disponibles para establecer una correlación entre este parámetro y la resistencia a sufrir la licuación.

Siguiendo este criterio, en Estados Unidos se organizaron 2 talleres sobre la evaluación de la resistencia a la licuación de los suelos con numerosos investigadores del fenómeno a nivel mundial obteniéndose un reporte publicado en Abril del 2001, que resume los avances en las metodologías simplificadas para la evaluación de la licuación de suelos, esta información es usada para la confección de una hoja de cálculo desarrollada en el Laboratorio Geotécnico del

CISMID, realizando el análisis sistemático de los datos, lo que involucra el conocimiento de los siguientes parámetros:

- Perfil estratigráfico del subsuelo, que incluye el tipo de suelo y la ubicación del nivel freático.
- Las características de los estratos del subsuelo: densidad, contenido de finos.
- Los valores de la resistencia a la penetración estándar N , con la profundidad, asimismo detalles del ensayo de penetración estándar realizado.
- Los parámetros del sismo de diseño, es decir su magnitud (M_w) y la aceleración máxima en la superficie del terreno.

Los valores obtenidos del ensayo de Cono Peck fueron convertidos a valores de resistencia a la penetración estándar N mediante el uso de la correlación (Vivar, 2007):

$$N = 0.5c$$

Para la evaluación del potencial de licuación de suelos se usaron tres diferentes niveles de solicitaciones sísmicas, correspondientes a sismos con periodos de retorno de 100 años (equivalente a una probabilidad de excedencia de 10% en un periodo de 10 años de exposición sísmica), 200 años (equivalente a una probabilidad de excedencia de 10% en un periodo de 21 años de exposición sísmica) y 475 años (equivalente a una probabilidad de excedencia de 10% en un periodo de 50 años de exposición sísmica), a los cuales, de acuerdo con los resultados del análisis de peligro sísmico, para cada aceleración máxima esperada se le asoció una magnitud determinada. En la Tabla 3.4 se presentan la tabla de las magnitudes de sismos y aceleraciones asociadas:

Tabla 3.4. Aceleraciones máximas y magnitudes asociadas.

Periodo de Retorno (años)	Aceleración (g)	Magnitud (M_w)
475	0.40	8.0
200	0.30	7.0
100	0.25	6.5

Con la información obtenida de los sondajes ejecutados en este estudio, se efectuó el análisis simplificado de licuación de arenas en Tambo de Mora. Para cada sondaje se aplicó el método del NCEER 1998, para los sismos y sus respectivas aceleraciones, obteniéndose el factor de seguridad a la licuación (F.S.) para este método aplicado a cada nivel de ensayo de penetración

estándar. En la sección C-1 del Anexo II se presentan los resultados para los casos analizados.

Analizados los sondajes realizados se puede observar que a la margen derecha de Río Chico, en la zona donde toda la ciudad se encuentra extendida excepto la zona de la U.P.I.S. Vilma León posee estratos de suelo altamente licuables alcanzando una profundidad en el peor de los casos de hasta 7 m y en promedio estratos licuables de hasta 3 m de espesor para sismos severos a muy severos. Para sismos moderados, la mayor parte de esta área es susceptible a licuar hasta una profundidad de 2.0 m en promedio, lo cual demuestra el alto nivel de peligro existente en esta zona para las edificaciones con cimentaciones superficiales y las líneas vitales. Las únicas zonas que presentan cierta resistencia a la licuación se encuentran ubicadas a la margen izquierda de Río Chico en el sector C.C.P.P. Cruz Verde, donde no existe ninguna tendencia a la licuación bajo ninguno de los sismos de diseño estipulados por presentar estratos de suelos limosos altamente plásticos que subyacen sobre una capa de grava mal graduada, y solamente en el extremo sur del área de estudio se presenta una capa de 0.60 m de suelo licuables bajo acciones de sismos muy severos. Los resultados de los análisis realizados se muestran en la sección C-1 del Anexo II.

En consecuencia, se concluye que la zona donde se encuentra actualmente la ciudad de Tambo de Mora es altamente licuable siendo los estratos más superficiales de suelo los más susceptibles a la ocurrencia de este fenómeno, lo que concuerda con los reportes respectivos de misiones de investigadores extranjeros y asimismo con la inspección realizada por el CISMID sobre indicios de la licuación de suelos en dicha ciudad. Con lo cual este método de evaluación es validado por las evidencias registradas durante esas inspecciones.

3.6 ÁREA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI

El 15 de Agosto de 2007, luego de ocurrido el sismo de Pisco a las 18:40:53 hora local, con epicentro a 74 km al oeste de la ciudad de Pisco (13.49°S, 76.85°O) y con magnitud de 7.9 Mw, se generó un tsunami que produjo fuertes daños en las costas de Chincha, Pisco y Paracas, llegando en menor proporción a varias playas de Lima. De acuerdo a la información proporcionada por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), la velocidad promedio a la que se desplazó la onda del tsunami fue de 135 Km/h, con periodos de 15 a 20 minutos y una longitud de onda de 35 Km.

En la ciudad de Tambo de Mora se ha estimado que el área de inundación por tsunami alcanzó hasta una distancia de 485 m desde la línea de costa. De acuerdo al informe de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) de la Marina de Guerra del Perú, la altura de la ola máxima registrada fue de 2.91 m

Históricamente el distrito de Tambo de Mora ha sido afectado por Tsunamis que se han generado frente a la bahía de Pisco y Paracas. De acuerdo a la información existente, la ciudad de Pisco fue destruida totalmente por los Tsunamis generados por los terremotos de 1687, 1746 y 1868 (Silgado, 1992). De acuerdo a la base de datos de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration-USA), se reporta la generación de olas con alturas de hasta 8 m, para sismos ocurridos en la zona sur del Perú entre 1647 al 2007.

3.6.1 ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI EN TAMBO DE MORA

Para la estimación del área de inundación por tsunami en la Ciudad de Tambo de Mora se ha utilizado la metodología propuesta por Yamaguchi, tal como se indica en el Capítulo 2 del presente estudio. Los resultados muestran que en la bahía de Tambo de Mora la altura de ola máxima esperada para un sismo de magnitud 8 Mw es de 6.0 m, valor que se utiliza como cota topográfica máxima para delimitar el área de inundación en esta ciudad.

El Plano P-17 del Anexo II presenta la superficie inundable para Tambo de Mora, calculada con las aproximaciones desarrolladas en el análisis.

3.7 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.

Para la elaboración del mapa de microzonificación sísmica de las ciudades en estudio se ha utilizado los mapas de microzonificación geotécnica, de zonas de isoperiodos, de potencial de licuación de suelos y de áreas de inundación por tsunamis. Los resultados obtenidos para cada una de las ciudades estudiadas son los siguientes:

3.7.1 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE TAMBO DE MORA

El mapa de microzonificación sísmica de esta ciudad contiene la superposición del comportamiento mecánico y dinámico de los suelos, del potencial de licuación y del área de inundación por tsunami. Como resultado de esta superposición se han definido tres microzonas sísmicas, las cuales se describen a continuación:

ZONA I: Comprende la Zona I del mapa de Microzonificación Geotécnica, la cual está conformada por suelos arenosos, limosos y de arcillas de alta plasticidad con lentes de arenas preconsolidadas sin matriz; que descansan sobre gravas con matriz areno-limosas de la Formación Cañete. El nivel freático se encuentra a gran profundidad (mayor a la altura expuesta del acantilado).

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.50 m de ancho cimentada a una profundidad de 1.0 m a 1.20 m en esta zona varía de 2.0 kg/cm² a 2.5 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por gravas o estratos de arena limosa compacta.

Los periodos predominantes del suelo determinados por medición de microtrepidaciones en esta zona varían alrededor de 0.20 segundos, presentando valores bajos de amplificación relativa máxima (de 1.5 a 2.5 veces). En consecuencia, las formas espectrales descritas en esta zona muestran que este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo intermedio, equivalente a un suelo de tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente

ZONA II: Conformada por la Zona II del mapa de Microzonificación Geotécnica. El perfil de suelo de esta zona está constituido por un estrato superficial de arcilla limosa dura y seca, cuyo espesor varía de 1.8 a 3.0 m. Subyaciendo a ésta se encuentra un estrato de grava aluvial medio suelta con matriz areno limosa. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.50 m de ancho cimentada a una profundidad de 1.0 m en esta zona es 1.50 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una arcilla arenosa de consistencia medio rígida a rígida.

Los periodos predominantes del suelo determinados por medición de microtrepidaciones en esta zona varían de 0.15 de 0.20 segundos, presentando valores bajos de amplificación relativa máxima (de 1.5 a 2.5 veces). De manera similar a la Zona I, las formas espectrales en esta zona muestran que el suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo intermedio, equivalente a un suelo de tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

Es necesaria en esta zona la colocación de adecuadas defensas ribereñas que eviten la erosión por socavación lateral y protejan a las viviendas que se encuentren cercanas al margen del río ante avenidas extraordinarias.

ZONA IV: Esta zona está constituida por las Zonas Geotécnicas III y IV, las cuales son afectadas por el fenómeno de licuación de suelos y se encuentran

dentro del área de inundación por tsunami; por lo cual se le ha asignado la denominación de Zona IV, que representa el mayor grado de peligro. En consecuencia, se considera que esta zona no es apta para la construcción de edificaciones de uso residencial.

El Plano P-18 del Anexo II muestra el Mapa de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Tambo de Mora.

3.7.2 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE CHINCHA BAJA.

El mapa de microzonificación sísmica de esta ciudad contiene solamente la superposición del comportamiento mecánico y dinámico de los suelos, pues los suelos de esta ciudad no son susceptibles a licuación y no se encuentran expuestos a inundación por tsunami. Como resultado de esta superposición se han definido tres microzonas sísmicas, las cuales se describen a continuación:

ZONA I: Esta zona comprende la parte Norte y Noreste de la ciudad de Chíncha Baja. En esta zona el perfil de suelo está conformado por depósitos de rellenos de hasta 0.8 m de espesor y un estrato de arcilla rígida de 0.5 m a 2.0 m, seguido por un estrato de grava con matriz limo arenosa compacta. Este suelo es bastante competente para la construcción de cimentaciones superficiales. Los parámetros de resistencia portante serán evaluados luego de obtener los resultados de los ensayos de laboratorio.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.50 m de ancho cimentada a una profundidad de 1.0 m a 1.20 m en esta zona es 2.50 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una grava medio densa.

Los periodos predominantes del suelo determinados por medición de microtrepidaciones en esta zona varían de 0.20 de 0.20 segundos, presentando valores bajos de amplificación relativa máxima (de 1.5 a 2.5 veces). En consecuencia, las formas espectrales en esta zona muestran que el suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo intermedio, equivalente a un suelo de tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente

ZONA II: Está conformada por una franja de terreno comprendida entre la margen derecha del Río Chico al Sur y la vía que se dirige hacia la ciudad de Tambo de Mora al Norte. El perfil de suelo de esta zona está conformado por un estrato superficial de arcilla limosa dura y seca, cuyo espesor es mayor a 3.0 m. Subyaciendo a ésta se encuentra un estrato de grava aluvial medio suelta con matriz areno limosa. En el corte del talud que ha generado el Río Chico en su margen derecha se observa que debajo del estrato de grava se encuentra otro estrato de arcilla, de lo cual se deduce que el perfil del suelo está

conformado por una intercalación de estratos de estos materiales. Así mismo se observa que la grava es fácilmente erosionada por el río y muchas de las defensas ribereñas que se han construido en esta zona han fallado; en consecuencia, las zonas de la terraza próximas a los acantilados presentan un moderado peligro de colapso en caso que el cauce del río se aproxime al pie de éstos.

Esta zona es relativamente competente y no presenta mayor problema para la cimentación de las edificaciones. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.50 m de ancho cimentada a una profundidad de 1.0 m es 1.50 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una arcilla limosa con arena de consistencia media a dura.

Los periodos predominantes del suelo determinados por medición de microtrepidaciones en esta zona varían de 0.20 de 0.25 segundos, presentando valores bajos de amplificación relativa máxima (de 1.5 a 2.5 veces). De manera similar a la Zona I, las formas espectrales en esta zona muestran que el suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo intermedio, equivalente a un suelo de tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente

ZONA III: Esta zona está conformada por un depósito muy localizado de relleno heterogéneo de 2.0 m de espesor, que ha sido encontrado en el área donde se encuentra construida la Iglesia Santiago Apóstol de Chincha Baja. Por debajo de este material se encuentra un lente de arcilla y seguidamente la grava. En esta zona la cimentación de las estructuras deberá realizarse en terreno natural y deberá reemplazarse el material de relleno heterogéneo con un material de préstamo convenientemente compactado.

Los periodos predominantes del suelo determinados por medición de microtrepidaciones en esta zona son idénticos a los anteriores. Considerando que para la construcción de edificaciones se debe realizar el reemplazo del relleno heterogéneo con un material compactado, el comportamiento dinámico de este suelo será el correspondiente a un suelo intermedio, equivalente a un suelo de tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente

El Plano P-19 del Anexo II muestra el Mapa de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Chincha Baja.

3.8 REFERENCIAS

- 1) Castillo, J; Alva Hurtado, J. (1998), "Peligro Sísmico en el Perú", Memorias del VIII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, SPMSIF, Lima, Perú
- 2) Giovanni M. K., Beck S. L. & Wagner L. (2002), "The June 23, 2001 Peru Earthquake and the Southern Peru Subduction Zone". Geophysical Research Letters, Vol 29, N° 21, 2018.
- 3) Instituto Geofísico del Perú. (2001), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
- 4) Martínez Vargas, Alberto José (2008) "Consulta sobre la propuesta del reservorio de 10m³ en Villa San Pedro El Carmen", Informe Técnico PEDES.
- 5) Martínez Vargas, Alberto José (2008) "Evaluación de la ubicación de un reservorio en el Centro Poblado de San Pedro de Chincha", Informe Técnico PEDES
- 6) Martínez Vargas, Alberto José (2008) "Evaluación de las defensas ribereñas de los ríos Chico y Mata Gente en Chincha, Ica", Informe Técnico PEDES
- 7) Martínez Vargas, Alberto José (2008) "Fracturas del Terremoto del 15/08/07, en el Centro Poblado La Cruz del Rosario .Chincha-Ica", Informe Técnico PEDES
- 8) Martínez Vargas, Alberto José (2008) "Evaluación de peligro, vulnerabilidad y riesgo de la ubicación de los 10 centros poblados de los Molinos y trapiche en Ica, y San Pedro, La Venta, Casa Blanca, Casalla Alta, Bernalles, La Quebrada, Casa Pintada y San Juan de Roldan", Informe Técnico PEDES
- 9) Okal, J, C. Borrero y C. E. Synolakis (2006) "Evaluation of Tsunami Risk from Regional Earthquakes at Pisco, Peru" BSSA, Vol 96, No 5, pp 1634-1648.
- 10) Sánchez, M. y Z. Aguilar (2001) "Vulnerabilidad de las Ciudades Costeras de las Provincias de Nazca y Pisco frente a los Tsunamis" XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Puno, Perú.

- 11) Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
- 12) Tavera H., (1998), "Mecanismo Focal de Terremotos en Perú y Sismotectónica", Tesis para Optar el Grado de Doctor en Ciencias Físicas, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España.
- 13) Tavera H. y Buforn E (1998), "Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 – 219. España.
- 14) Tavera H., Buforn E., Bernal I., Antayhua Y. & Vilcapoma L. (2002), "The Arequipa (Peru) Earthquake of June 23, 2001", Journal of Seismology, Vol. 6, pp. 279 – 283.
- 15) Tavera H., Vilca R. y Marín G. (2006), "Inferences on the Geometry of the Nazca Plate in Northwestern Peru Based on Data Collected by a Local Seismograph Network", Earth Science Research Journal, Vol. 10, N° 1, pp. 15 – 24.
- 16) Youngs, R. R., Chiou. S. J., Silva, W. J. and Humprey, J. R. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", Seismological Research Letters, Vol. 68, Numb. 1, Pp. 58 – 73, USA.

4. ÁREAS DE EXPANSIÓN Y DESARROLLO URBANO

4.1 HISTORIA DEL TERRITORIO

El área de estudio fue la sede de las más importantes expresiones urbano arquitectónicas de la Cultura Chíncha, una de las más trascendentes formaciones sociales de la costa peruana desarrollada entre 1000 y 1500 d.C. y posteriormente, durante el dominio Inca que concluye en el siglo XVI con la conquista española. La Cultura Chíncha se desarrolló en el Valle de Chíncha en un proceso que se inició con la Cultura Paracas (1000-200 a.C.) y que generó formas de ocupación del territorio con expresiones en estructuras urbanas y productivas ligadas a la tierra.

La importancia de la Cultura Chíncha trascendió antes de la llegada de los españoles a lo que es ahora el territorio peruano. Los primeros navegantes europeos en El Pacífico y el mismo Pizarro recibieron noticias de los Chínchas en sus primeros viajes. Debido a la grandeza de esta cultura, los Incas le pusieron el nombre de Chínchaysuyo al territorio oeste del Tahuantinsuyo, entre Cusco y Quito.

Los estudios realizados por María Rostworowski revelan que la alianza entre el estado Inca y el señorío de Chíncha habían tenido como base fundamental la organización de un notable tráfico marítimo y terrestre que desarrollaron los Chínchas hasta Cusco y el Altiplano del Titicaca por el sur; y Quito y Puerto Viejo por el norte. Los documentos coloniales analizados señalan que los Chínchas tenían treinta mil tributarios en el Valle, de los cuales doce mil eran labradores, diez mil pescadores y seis mil mercaderes.

Las investigaciones de José Canziani Amico indican que los principales aspectos que caracterizan a la arquitectura y urbanismo constituyen una herramienta muy importante en la comprensión de la compleja organización de la sociedad Chíncha.

Las primeras investigaciones de Max Uhle en 1900, destacaron la importancia de conjuntos de Huacas y Centros Poblados Chíncha como La Centinela, La Cumbe, Tambo de Mora, Lurín Chíncha y Las Huacas, que constituyeron los primeros asentamientos en el Valle. De igual manera, Uhle destacó la presencia de una red de caminos y la tradición funeraria asociada a la construcción de mausoleos. El patrón de asentamiento de los Chínchas está caracterizado por extensos poblados con edificaciones dominantes conocidos como Huacas y otros sitios de actividades residenciales, complejos

administrativos y cementerios; integrados todos ellos por un sistema de caminos.

También hay evidencia de una importante actividad agraria e infraestructura de riego. (Canziani 1993). Esta actividad productiva se extendió hasta la planicie alta en el norte del valle y hacia el sur más allá del límite actual de la zona de producción agrícola.

La ubicación de centros poblados en la parte baja del Valle parece amoldarse al delta entre los ríos Chico y Matagente. En el extremo norte se ubica la más importante concentración urbana conformada por La Centinela (1) y La Cumbe (3) articuladas con el complejo Tambo de Mora (2) un poco más al sur. En la zona de Lurinchincha, al sur del Valle y cerca al litoral se ubica otro complejo importante conformado por Ranchería (14) y San Pedro (7). Al este, conformando un triángulo con los otros complejos mencionados se ubica Las Huacas (38).

La Centinela de Tambo de Mora, es un complejo urbano arquitectónico que contiene diferentes edificaciones monumentales claramente diferenciadas. En el sector oeste se erige una edificación compacta de imponente presencia llamada La Centinela. El complejo ha sido agredido por el intenso huaqueo iniciado en la colonia y alterado por la presencia de una cruz; sin embargo, aun muestra recintos y cámaras delimitados por tapias. Según lo mencionado por Canziani en sus publicaciones, uno de los recintos de la parte más alta de la pirámide mostraba hasta inicios de los 90s, una pared decorada por un friso con un tratamiento tipo “textil” con áreas escalonadas y la presencia de aves, peces y olas marinas. La ocupación Inca se hace evidente con modificaciones en la pirámide y en la escalinata del sector sur, el importante edificio ubicado en el sur-oeste del complejo conocido como el “Palacio Inca”; y el uso de adobe inca de gran tamaño en reemplazo del tapial.

La Cumbe, es una gran plataforma ubicada al noroeste de La Centinela. Los hallazgos de Canziani parecen confirmar su hipótesis sobre la importancia de este complejo como testimonio de sus profundas raíces en el Valle y de su presencia como núcleo de desarrollo urbano desde épocas tempranas de la Cultura Paracas.

Tambo de Mora, con una planta en “U” abierta hacia el Sur, presenta una densa trama urbana con superposiciones arquitectónicas correspondientes a la época Chincha y Chincha-Inca. En la arquitectura especializada se evidencia la presencia de orfebres que se correlaciona con el testimonio

documental de plateros en la sociedad Chincha y la relación de estos especialistas con la élite dominante al igual que en las culturas europeas.

San Pedro, se ubica al sur del Valle en la zona de Lurinchincha y comprende dos sectores claramente diferenciados; el más importante al oeste es donde se encuentra La Centinela de San Pedro y el otro al este compuesto de ocho montículos distribuidos de manera irregular.

Las Huacas, es un complejo urbano ubicado en el centro del Valle entre los ríos Chico y Matagente. La actividad agrícola actual delimita los elementos que lo componen, sin embargo se puede suponer que en algún momento estos montículos han estado unidos por estructuras de menor nivel como es el caso de otros complejos.

Ranchería, complejo de varios montículos muy depredados ubicados al norte de la Hacienda Lurinchincha, al borde de dos caminos que lo unen con La Centinela de Tambo de Mora y La Centinela de San Pedro. Además de estos complejos importantes, existen otros asentamientos distribuidos en el valle y conectados entre sí y con los complejos importantes por el sistema de caminos.

Se podría afirmar que hay centros urbanos de importancia media y otros de menor importancia que albergaban la función residencial para la élite chinchana, aunque no se descarta otra función debido a que las investigaciones en estos asentamientos es muy incipiente y los conjuntos han sido agredidos por el huaqueo y la actividad agrícola actual. En el primer grupo se puede mencionar a Litardo (80); y en el segundo caso a Huaca Grande (105), Huacarones (91), Laran Salitral (97) y Huaca Fundación (98).

Por otro lado es importante mencionar que son escasos los sitios para vivienda aldeana, podemos mencionar La Calera (166) con muros construidos con pirca y el sitio "Lo Demás" con un patrón lineal estructurado a lo largo de una calle.

También existen sitios de aparente función administrativa con ubicación estratégica en el sistema de circulaciones al interior del Valle y en zonas de conexión con otras regiones. Este es el caso de Dios te Ama (143) y Santo Domingo (43). Es importante mencionar de igual manera a otros dos sitios ubicados en la parte alta del Valle dedicados aparentemente a la administración de la infraestructura de riego, se trata de Pampa de la Pelota (126) y Casagrande (42).

Las tumbas Chincha, aparentemente de carácter colectivo, consisten en cámaras funerarias conocidas como chullpas por su semejanza a las del

altiplano. Estas constituían mausoleos donde se guardaban los fardos funerarios y lugares de rituales propios de las culturas andinas. Las chullpas chinchas son semienterradas y de planta cuadrada; sus características podrían estar expresando el status de los clanes o familias al interior de la sociedad chinchana. Se puede mencionar como ejemplo la “Tumba del Rey” (12) que es un conjunto ordenado de cámaras o el sitio (137) una verdadera necrópolis con chullpas en conjuntos alineados y con cerco perimetral.

Uno de los aspectos más sobresalientes en el ordenamiento del territorio Chincha es la existencia de un sistema de caminos organizados a partir de La Centinela de Tambo de Mora y La Cumbe de manera radial hacia todo el Valle y hacia otras regiones como el Valle medio de Pisco, Tambo Colorado y Huaytará (Huancavelica); hasta comunicarse con la ciudad Inca de Vilcashuamán (Ayacucho).

Es indudable la existencia de un sistema de ciudades con centros urbanos de diferentes roles y funciones integrados con una sistema de circulaciones claramente organizadas y jerarquizadas. Este sistema está dominado por tres importantes centros urbanos ya descritos en párrafos anteriores y tiene procesos productivos y de servicios especializados. La aparente dispersión de los asentamientos menores constituye, según las investigaciones realizadas, una estrategia articulada a la producción agrícola.

El emplazamiento de la arquitectura Chincha al interior de sus centros urbanos, responde a la búsqueda de armonía entre espacios libres y la volumetría de las edificaciones que pasan a ser monumentales con tratamiento de superficies (frisos y pintura mural) en tanto se percibe necesaria para subrayar el dominio de la trama urbana.

En 1528, durante el segundo viaje de exploración por la costa sur de América, Francisco Pizarro recoge la noticia que debe viajar a Chincha, pues es el lugar más rico de la costa. Años después, de regreso a España y ante el rey firma la “Capitulación de Toledo”, documento en que divide con su socio, Diego de Almagro, los derechos sobre las “tierras por conquistar”. Pizarro pide, como frontera sur de sus dominios al reino de Chincha. Instalado el gobierno español en el Perú, le otorgan a Hernando Pizarro (hermano de Francisco) la “Encomienda” de Chincha. Hernando ordena el saqueo de todas las tumbas y palacios antiguos, reuniendo un botín de 100,000 marcos de plata.

Posteriormente, durante la colonia, la Compañía de Jesús tuvo a su cargo una serie de haciendas en la costa, destacando entre éstas la de San José, cuya mano de obra la proporcionaban los esclavos negros. Esta hacienda fue

administrada por los Jesuitas entre 1600 y 1750, año en que son expulsados del Perú. Luego la hacienda fue traspasada al Conde Monteamor y Monte Blanco y sus descendientes la conservaron hasta fines del siglo XIX.

El sistema de haciendas durante la República no se alteró en Chíncha, por lo contrario, ante la liberación de esclavos por el Presidente Ramón Castilla, se optó por reemplazar la mano de obra por migrantes chinos y europeos. Los primeros llegaron en 1849 y en 1874, principalmente de manera ilegal y se establecieron en número importante en Alto Larán.

En 1849 se inició la llegada de los culíes chinos. El destino no fue exclusivamente agrícola, ya que en los primeros años se les destinó tanto a la agricultura como al trabajo en las islas guaneras y en la servidumbre urbana.

Entre los migrantes europeos sobresalen los italianos, quienes se establecieron en Sunampe donde abundan las vitivinícolas; otros, como los españoles, se establecieron en Grocio Prado y sólo unos pocos en zonas como San José, que fuera comprada para instalar una fábrica de tabaco.

Para explicar concretamente esta significativa presencia de italianos en Chíncha, hay que tomar en cuenta la relativamente corta distancia de Lima (unos 200 Km.), el clima seco propicio para el desarrollo de la actividad vitivinícola, en la cual tenían ventajas relativas adquiridas en su región de origen. Además Chíncha tenía puerto (Puerto San Martín en Pisco) y era lugar de cabotaje de barcos mercantes de italianos que fueron quedándose e integrándose a la actividad comercial.

Entre 1911 y 1930 había una significativa presencia de italianos en el comercio y en la vitivinicultura. Aunque estas actividades no tenían la importancia de la agricultura, resultaban significativas en el contexto urbano donde se ubicaron. Debido a lo numerosa de la colonia italiana en el Perú y a su cohesión, lograron formar el Banco Italiano en 1889. A comienzos del siglo XX el banco abrió en Chíncha, su primera sucursal fuera de Lima.

El matrimonio de italianos con familias de grandes hacendados con antigua presencia en la región fue una forma de acceder a la tenencia de la tierra y de articularse con el poder económico.



Foto 4.1. Bodega en Chincha. Foto: colección Ortega Matías. (Caretas, Noviembre 29, 2007)

A partir de los 30s el crédito estatal y la presencia de nuevas organizaciones políticas favorecieron el ingreso de nuevos propietarios y sobre todo de arrendatarios en la parte del valle que correspondía a las grandes propiedades y a la producción de algodón. En Chincha los italianos conformaron empresas agrícolas que por lo general alquilaban tierras para conducidas directamente.

En los 50s en el valle de Chincha la propiedad del suelo se concentró en pocos propietarios (principalmente de ascendencia italiana) que pasan de ser medianos a latifundistas (1,500 a 3,000 Ha y 5,000 Ha). Uno de los factores de esta acumulación fue la subdivisión y venta de tierras de otros propietarios por temor a la reforma agraria y el acceso al financiamiento en el Banco Italiano.

Debido al incremento de la demanda mundial, entre 1947 y 1958 el área de cultivo del algodón en el Perú creció en 75%. En Chincha la frontera agrícola se extendió hacia nuevas tierras y se aplicó técnicas modernas de riego y cultivo. Esto contribuyó a consolidar la propiedad de la tierra dando una base de acumulación de capital para la generación de economías regionales.



Foto 4.2. Ferrocarril Chincha Baja – Tambo de Mora. Foto: colección Ortega Matías. (Caretas, Noviembre 29, 2007)

Otro cambio fue la introducción de diversas variedades de semillas, y la innovación y difusión que llevó a crear estaciones experimentales. En esa época los agricultores de Chincha se apoyaron en la estación experimental de Cañete y en la Universidad Nacional Agraria de La Molina.

El uso de insecticidas en el valle a mediados de los 50s produjo un desastre ecológico y económico que se vivió con particular intensidad en 1956, cuando el valle no alcanzó ni el 10% de sus niveles promedio de producción. A finales de ésta década los experimentos con diferentes insecticidas convencieron a los agricultores que, para recuperar el equilibrio ecológico, era preciso dejar de aplicar insecticidas tan poderosos.

La producción se recuperó plenamente en los 60s y las economías acumuladas en la agricultura generaron un mayor interés por la diversificación con la instalación de las desmotadoras: Santa Estela S.A. y San José S.A. También en los 60s se fortalecen las actividades inmobiliarias a través de las empresas Inmobiliaria Lourdes S.A. (1957), Inmobiliaria Santa Enriqueta S.A. (1959), Inmobiliaria Canchamaná S.A. (1963), entre otras. Esta actividad forjó el crecimiento urbano de Chincha Alta.

Otra actividad importante en Chincha en los 60s fue la pesca. El puerto de Tambo de Mora creció de manera importante y el movimiento comercial en Chincha Alta aumentó significativamente. Quienes intervinieron en esta actividad fueron en su mayoría empresarios de fuera de la provincia. La composición del accionariado de la gran mayoría de empresas pesqueras

constituidas en los años 60 contaba con una presencia significativa de familias de origen judío.

En 1969, la Reforma Agraria peruana, impulsada por el gobierno militar de Velasco, se realizó de manera conjunta con una serie de medidas de nacionalización de los servicios públicos y el financiamiento orientado al desarrollo de la industria nacional.

En el campo, esto se tradujo en la expropiación de haciendas y su conversión en grandes unidades asociativas y de propiedad social, esta reforma perdió impulso a partir de 1974, lo que llevó a su descomposición durante las décadas de los 80 y 90. Ésta tuvo como consecuencia el retiro del campo del empresariado agrario y de los técnicos agropecuarios, pues esta reforma se orientó más bien al cambio de tenencia de la tierra y no al desarrollo de la productividad y la innovación tecnológica.

En Chincha en 1973 se expropió la mayor parte de los fundos, sin embargo ya en los años anteriores los hacendados habían independizado y transferido gran parte de sus propiedades y muy pocos excedían el límite de inafectabilidad fijado por la ley de las 150 Ha.

En la década de los 80 se mantuvieron diversas formas de intervención estatal en la actividad agrícola en medio de una profunda crisis económica y el inicio de la actividad terrorista: sistemas de asistencia técnica, manejo del sistema de precios, créditos a tasas de interés negativas en términos reales, entre otros. Junto a ello, las restricciones para la operación del mercado de tierras y la violencia política deprimieron la actividad agraria y bloquearon las posibilidades de inversión en el agro.

La política de intervención preponderante en los 80 fue invertida drásticamente a partir de julio de 1990, en que la orientación de la política económica, incluida la agropecuaria, fue la de dejar "a las fuerzas del mercado" el desarrollo de la economía nacional.

A mediados de los 90 capitales chilenos, españoles además de los nacionales llegaron a los valles de la Región Ica atraídos por su clima que brinda la posibilidad de obtener excelentes rendimientos en una variedad de cultivos. Para entonces la mayor parte de las propiedades adjudicadas en los valles de la Región Ica por la reforma agraria a las cooperativas ya estaban parceladas. En el 2000, se calculó que más de la tercera parte de esta área ya había cambiado de dueños. En la mayoría de los casos se trató de ventas forzadas por el apremio económico de los parceleros, y en otros por la ejecución de hipotecas. La mayor parte de los ex beneficiarios de la reforma que vendieron o arrendaron sus tierras han retornado a la situación de peones, mano de

obra eventual que se oferta a través del mismo sistema de "enganche" de antes de la reforma agraria.

4.2 SITUACIÓN ACTUAL

El área de estudio forma parte de la Provincia de Chincha, Región Ica y constituye, en mayor proporción, el área urbana de los Distritos de Chincha Baja y Tambo de Mora. Ambos distritos forman una unidad en la ocupación urbana del extremo norte oeste del Valle de Chincha.

Hasta 1900 el territorio de la Provincia de Chincha y la de Pisco formaban una sola provincia cuya capital era de Villa de Pisco, elevada a condición de Ciudad el 19 de setiembre de 1898. Por ley de 13 de Octubre de 1900 se dividió esta provincia para formar la de Pisco y en el mismo texto se traslado la capital de la provincia de Chincha a Chincha Alta, que tiene título de ciudad por ley de 26 de Octubre de 1874.

4.3 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO

4.3.1 POBLACIÓN

De acuerdo al Censo INEI 2005 la población total de la Provincia de Chincha fue de 181777 habitantes. De este total 12052 (6.63%) habitantes corresponde al Distrito de Chincha Baja y 4682 (2.58%) habitantes al Distrito de Tambo de Mora.

Chincha Baja tiene cuarenta y siete (47) centros poblados, de los cuales dos están considerados por el INEI como centros urbanos, Chincha Baja, con 3727 habitantes, y Santa Rosa, con 1206 habitantes. Es significativo mencionar que el centro poblado Santa Rosa está ubicado sobre una de las Huacas más importantes de la Cultura Chincha. Su reconocimiento y posterior consolidación como zona urbana por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y el Instituto Nacional de Cultura es, de hecho, un atentado al patrimonio chinchano y del país.

Tambo de Mora tiene veintiséis (26) centros poblados, de los cuales solo uno, Tambo de Mora, con 3868 habitantes, es considerado por el INEI como urbano.

Como se puede observar en el gráfico 1 y cuadros 1 y 2, presentados en el Anexo III, los distritos de Chincha Baja y Tambo de Mora tienen un crecimiento demográfico poco dinámico. En el periodo intercensal 1981-1993,

en ambos distritos, se incorporaron únicamente 2774 habitantes con un crecimiento promedio anual de 231. En el caso de Tambo de Mora el incremento intercensal y anual es prácticamente inexistente; con una tasa de 0.1%. En el siguiente periodo intercensal este centro urbano crece con una tasa de 1,2%, incorporando en el periodo 638 habitantes. Chincha Baja presenta mayor dinamismo en el periodo 1981-1993 en el que crece con una tasa de 2.3% y un incremento intercensal de 2717 habitantes; sin embargo en el periodo 1993-2005 su velocidad de crecimiento disminuye a 0.5%.

Al 2015, como horizonte de reconstrucción y desarrollo, en un escenario pesimista, aplicando la tasa intercensal 1993-2005, Chincha Baja tendría una población de 12830 habitantes; y en un escenario optimista con una tasa promedio intercensal de 1.7% tendría una población de 14920 habitantes. Con esta última tasa para el 2015 se esperaría 2868 habitantes adicionales a los registrados en el Censo 2005; lo que generaría la necesidad de 678 viviendas adicionales a las 2851 existentes (Censo 2005) que requerirían un área urbanizable de 10.5 Ha en el Distrito. Es necesario mencionar que la estimación de viviendas se realizó considerando el promedio de habitante por vivienda registrado en el Censo 2005 – INEI; asimismo, para el cálculo del área urbanizable se considera lotes de 100 m², una vivienda unifamiliar por lote para cada familia y 55% de área adicional para pistas, veredas y equipamientos urbanos a nivel de barrio de planeamiento.

En el caso de Tambo de Mora, aplicando la tasa intercensal 1993-2005 de 1,2%, tendría en el 2015 una población de 5420 habitantes, lo que demandaría un área urbanizable adicional a la existente en el 2005 de 2,7 Ha.

Si se aplican las mismas tasas de crecimiento distrital a los centros urbanos del área de estudio, el centro urbano de Chincha Baja tendría en el 2015 una población de 4600 habitantes demandando un área urbanizable adicional de 3.2 Ha a las 13.7 Ha ocupadas actualmente; y el centro urbano de Tambo de Mora tendría al 2015, una población de 4475 habitantes demandando un área urbanizable de 26.6 Ha (24.4 Ha ocupadas actualmente y 2,2 Ha adicionales por crecimiento poblacional), ya que debido a las características del suelo que ocupa, definidas en el estudio de Microzonificación, se recomienda su reubicación progresiva.

Un aspecto importante de destacar a nivel distrital es la evolución de la pirámide de edades. Como se puede observar en los gráficos 2 y 3, hay dos segmentos de edad que cambian de comportamiento: 0-5 y 20-50. En el caso de Tambo de mora estos cambios son más evidentes, sin dejar de resaltar lo que es evidente también en Chincha Baja. Al respecto se puede mencionar que el porcentaje de nacimientos ha disminuido como una posible razón del

cambio de comportamiento del primer segmento; y que es posible que debido a la oferta de trabajo en la zona la migración de la población en edad de trabajar ha disminuido. Estos aspectos deben ser estudiados con mayor detenimiento, en el presente estudio solo lo mencionamos porque se trata de un aspecto relevante.

4.3.2 VIVIENDA

En los distritos de Chincha Baja y Tambo de Mora se registraron en el Censo 2005: 4056 viviendas; de las cuales 2133 (53%) fueron consideradas por el INEI urbanas y 1923 (47%) rurales. El Distrito de Tambo de Mora es más urbanizado que Chincha Baja ya que el 80.2% del total de viviendas del distrito se han registrado como urbanas, mientras que solo el 40.9% de las viviendas de Chincha Baja son consideradas urbanas. Es importante destacar que, antes de ocurrido el sismo del 15 de agosto del 2007, la Ciudad de Chincha Baja contaba con el 47% de cobertura en abastecimiento de agua potable por red pública dentro de la vivienda, mientras que Tambo de Mora tenía el 61%.

4.4 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

4.4.1 AGRICULTURA

El río que da origen al valle de Chincha es el río San Juan, cuyas descargas provienen de las lluvias ocurridas en las partes altas de las provincias de Yauyos, Castrovirreyna y Huancavelica. Cuando las precipitaciones ocurren en el interior de la cordillera las avenidas son regulares y de caudal de constante, mientras que cuando las lluvias se presentan en las quebradas se produce deslizamientos (huaycos) con gran volumen del agua que descarga en poco tiempo con gran cantidad de materiales de arrastre y sedimentación que originan la destrucción de las riberas, obras de regulación y captación; así como el deterioro de canales de riego.

El río San Juan al llegar al valle de Chincha se divide en dos brazos en el lugar denominado Partidor Conta: el brazo norte denominado río Chico y el brazo sur denominado Matagente, ambos irrigan aproximadamente las 27293 has del valle de Chincha; durante el periodo de estiaje el riego se realiza con las aguas reguladas de las lagunas de la cordillera y también mediante la captación de agua subterránea a través de pozos existentes en el valle.

En la Provincia de Chincha se registró entre enero y diciembre del 2003 una superficie cosechada de 21064 Ha; de las cuales 4635 Ha son dedicadas a

productos de consumo humano directo, 15991 Ha a consumo industrial y 438 Ha a pastos cultivados, de acuerdo a datos de la Dirección Regional Agraria de Ica. La producción más importante se da en el algodón en rama (19909 TM), espárrago (14334 TM) y maíz amarillo duro (40860 TM). En cuanto a productos de consumo humano, el más importante es la vid con 1487 Ha y una producción de 19695 TM.

4.4.2 TURISMO

Los destinos turísticos en Chíncha que figuran en la oferta nacional e internacional son La Centinela ubicada en el Distrito de Tambo de Mora y la Casa Hacienda San José, ubicada en el Distrito El Carmen, como parte de un circuito que integra Ica y Pisco. Las actividades turísticas más importantes se dan alrededor de la identificación de la zona con la cultura afro-peruana.

4.4.3 EMPLEO EN LA CIUDAD DE CHINCHA

La ciudad de Chíncha es el centro urbano de mayor importancia en la Provincia y el segundo mercado laboral de la región Ica; sin embargo ocupa el cuarto nivel en el índice de desarrollo humano de la Región, después de Pisco, Ica y Nazca.

Al año 2006 se estimaba un volumen de trabajadores de 14829 con un incremento del 31,0% en relación al año 2004. La actividad industrial y la extractiva son las más dinámicas en la generación de empleo; la industria participó en el 2006 con el 53.3% y la actividad extractiva con el 38.3%.

En la industria sobresalen la fabricación de tejidos de punto; la producción y procesamiento del espárrago; la elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas y el procesamiento de la harina de pescado. Esta actividad se ha mantenido constante en los años 2004 y 2005, pero ha tenido una baja de 4% entre el 2005 y el 2006.

La actividad extractiva más importante es la agricultura, ya que concentra el mayor número de trabajadores a través de los cultivos de espárrago, uva y algodón. Las medianas y grandes empresas concentran el 87% del empleo a través de la agricultura (58.6%) y las actividades extractivas (39,2%).

La pesca ha sufrido una caída en la generación de empleo en el año 2006 debido al volumen disponible de los recursos hidrobiológicos.

Existe correlación entre la dinámica de la industria y la agricultura. La mayor actividad se inicia en el cuarto trimestre de cada año con la demanda de trabajadores en las empresas agroindustriales.

4.5 VIALIDAD REGIONAL URBANA

La ruta N°6 ocupa los tramos Puente Pucusana – Ingreso Cerro Azul – Cerro Calavera – Pampa Clarita – Intercambio Chincha Alta – Empalme San Andrés – Guadalupe, lo cual suma 222 Km. En la zona de estudio afecta el trazo de la Ciudad de Tambo de Mora con el derecho de vía de 35 ml y un intercambio vial.

De acuerdo a las indagaciones realizadas en relación al El Contrato de Concesión se suscribió el 20/09/2005 con la Concesionaria Vial del Perú S.A. (COVIPERÚ S.A.), aún no se dispone públicamente de los planos definitivos. El Plan Director de Chincha aprobado en diciembre del 2007 considera un trazo esquemático de esta vía en la zona de estudio.

4.6 PATRONES DE CRECIMIENTO URBANO DE LAS CIUDADES DE CHINCHA BAJA Y TAMBO DE MORA

De acuerdo al levantamiento de usos del suelo realizado por el CISMID, como parte del presente estudio, se puede verificar que la zona de estudio tiene como ejes dinamizadores de la densificación de usos del suelo y de la edificación a la vía de acceso desde la Carretera Panamericana que une Chincha Baja y Tambo de Mora. En el caso de Tambo de Mora, adicionalmente, el litoral es un eje dinamizador ya que debido a la pesca artesanal esta Ciudad mantiene una relación muy importante con el mar. Como ejes menores en la distribución de usos y edificación se ubican los caminos hacia y desde la zona agrícola de la parte baja del Valle de Chincha donde se ubican los numerosos centros rurales pertenecientes a Chincha Baja (45) y Tambo de Mora (25).

La demanda de nuevas áreas por crecimiento poblacional o dinámica interna no es significativa. Sin embargo, debido a las características del suelo definidas en el estudio de Microzonificación (zona IV: Suelos pantanosos, arena limosa suelta. Estrato de grava suelta a partir de 4.00 m de profundidad con nivel freático a 1.00 m), lo más importante en el corto plazo es la definición de una nueva ubicación del centro urbano de Tambo de Mora con un total de 24.4 Ha actualmente ocupadas las 2,2 Ha necesarias para incorporar la demanda por crecimiento demográfico. En este caso se está tomando en cuenta adicionalmente a las características del suelo, el peligro de tsunami, que pone genera un alto riesgo a la población ubicada al sur del Río Chico. En el caso de la ciudad de Chincha Baja es necesario incorporar a su casco urbano al 2015, 3.2 Ha por crecimiento demográfico.

Para un horizonte de reconstrucción y desarrollo al 2015, se necesita atender la demanda de suelo urbanizable en 29.9 Ha.

4.7 PROPUESTA DE CRECIMIENTO URBANO PARA LAS CIUDADES DE CHINCHA BAJA Y TAMBO DE MORA

En la propuesta se ha considerado como suelo urbanizable al suelo calificado por los estudios de Microzonificación Sísmica y Análisis de Riesgo por Tsunami, como apto para la edificación. Se plantea como límite al Este de la ciudad de Tambo de Mora a la Av. Arnaldo Alvarado en su prolongación (hacia el Sur-Este) hasta el cruce con la Calle José Olaya. El espacio que ahora ocupa la ciudad de Tambo de Mora se propone con un área de tratamiento paisajístico en la cual se debe considerar la edificación de un muelle protegido por un arrecife artificial. También se define un área de cordón litoral donde se pueden edificar instalaciones ligeras para actividades turísticas e infraestructura para la pesca artesanal.

Por otro lado, se ha graficado en la propuesta el trazo de la nueva Autopista Pucusana-Ica (Red Vial N° 6) y el posible intercambio vial en la zona de estudio, considerando un derecho de vía de 36 m y los radios de giro normados. Es importante señalar que no existe un plano oficial que defina este trazo, por lo cual se le ha estimado sobre la base de lo expresado en el perfil del proyecto y el Plan Director de Chincha aprobado en diciembre del 2007.

En atención a la demanda de suelo urbanizable se propone la consolidación del proceso de conurbación de las ciudades de Chincha Baja y Tambo de Mora, teniendo como eje la Av. Arnaldo Alvarado. Esta vía incrementará su capacidad de circulación cuando se construya la nueva Autopista Sur, ya que a través de ella se desarrollará el flujo vehicular desde y hacia Chincha Alta.

El área urbanizable prevista es de 58 Ha, que atendería la demanda de suelo en un horizonte de reconstrucción al 2015 y la posible reubicación de los sesenta y cinco centros poblados dispersos en ambos distritos con el objetivo de dotar de infraestructura y servicios urbanos a toda la población.

Hacia el Norte de la Av. Arnaldo Alvarado se ha delimitado el Parque Arqueológico de Tambo de Mora, en resguardo del patrimonio cultural Chincha, considerando como usos compatibles dentro de este parque, los servicios recreativos, educativos y de salud. Frente a la nueva urbanización en construcción por FORSUR (421 lotes con servicios y vivienda terminada), se ha ubicado un área para un nuevo equipamiento de salud, ya que los existentes en la zona no tienen la dimensión necesaria para la atención de la

población. En el Anexo III se presenta el Mapa de Zonificación Urbana propuesto.



5. PROPUESTA DE VIVIENDA SISMORRESISTENTE

5.1 EVALUACIÓN DE MODELOS EXISTENTES DESARROLLADOS EN CISMID-FIC-UNI

Luego de ocurrido el sismo del 15 de Agosto del 2008, entidades extranjeras, ONGs e inversionistas, presentaron a las personas receptoras del bono de reconstrucción en el Perú una diversidad de sistemas constructivos orientados a edificaciones; la mayoría de estos sistemas han sido traídos de países desarrollados y muchos de ellos no han sido adaptados a las Normas Peruanas. Esta invasión de tecnología se debe al anunciado plan de reconstrucción de las zonas de desastre afectadas por el sismo de Pisco. Por otro lado, la mayoría de estos sistemas han sido aplicados en sus países de origen en zonas que carecen del problema sísmico. En el caso del Perú, los sistemas estructurales deben cumplir con el Reglamento Nacional de Edificaciones y la Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente NTE-030. Existen diversidad de sistemas constructivos que a lo largo de los años han sido desarrollados por ingenieros y arquitectos peruanos usando totalmente insumos nacionales, y muchos de ellos poseen expedientes técnicos experimentales, en los cuales se ha probado su eficiencia; estos sistemas se encuentran registrados y reconocidos por la autoridad designada por el Estado Peruano para regular la normatividad en la construcción, el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento a través de SENCICO.

A continuación se presentan algunos de los sistemas constructivos ensayados en el Laboratorio de Estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres Naturales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-FIC-UNI) y que podrían servir como alternativa de construcción.

5.1.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO SERVIVIENDA – HOGAR DE CRISTO

El sistema es originario de Colombia, y ha sido utilizado con gran éxito por las comunidades del interior en el eje cafetero. En el Perú, su aplicación es promovida por la organización Hogar de Cristo, que ha construido en muchas comunidades rurales prototipos del sistema. Este sistema consiste en la integración de una estructura formada por paneles de concreto de 0.97 m. x 0.97 m. confinados con una estructura de marcos construidos utilizando perfiles plegados (formados a partir de planchas dobladas al frío), los que comprenden postes espaciados 0.95 m., rieles en la parte superior e inferior de cada panel de longitud variable, los que forma el sistema estructural.

Se desarrollaron ensayos en CISMID, en un espécimen formado íntegramente por paneles de concreto fijados a una estructura de marcos de perfiles plegados. El sistema de techo estuvo constituido por una estructura de viguetas de madera sobre las cuales se apoyan planchas onduladas de cubierta. Cada pared está formada por una trama de paneles de 30 mm. de espesor y dimensiones de 970 mm x 970 mm, los que se ingresan a presión entre los postes de perfil plegado con alturas que van desde los 2300 mm. a 2900 mm.; el peso aproximado de este espécimen es de 6000 kg. Una vista del espécimen es presentada la Foto 5.1.

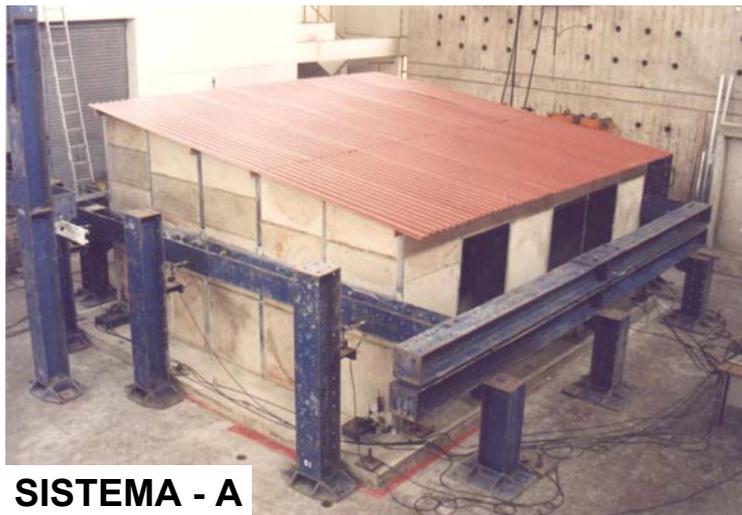


Foto 5.1. Sistema Servivienda – Hogar de Cristo.

El espécimen fue sometido a cargas laterales, las mismas que fueron aplicadas mediante control de desplazamientos en el nivel 1380 mm. Los desplazamientos laterales fueron aplicados tratando de reproducir distorsiones en este nivel de aplicación de carga del orden de 1/5000, 1/2500, 1/1250, 1/650, 1/500, 1/250, 1/125.

La aplicación de los desplazamientos se hizo a través de actuadores electrohidráulicos mediante control de desplazamientos. El sistema de medición registró en cada paso de aplicación el desplazamiento producido. Como resultado del ensayo se obtuvo la envolvente de ciclos estables, que representa la curva de comportamiento del espécimen que se presenta en la Figura 5.1.

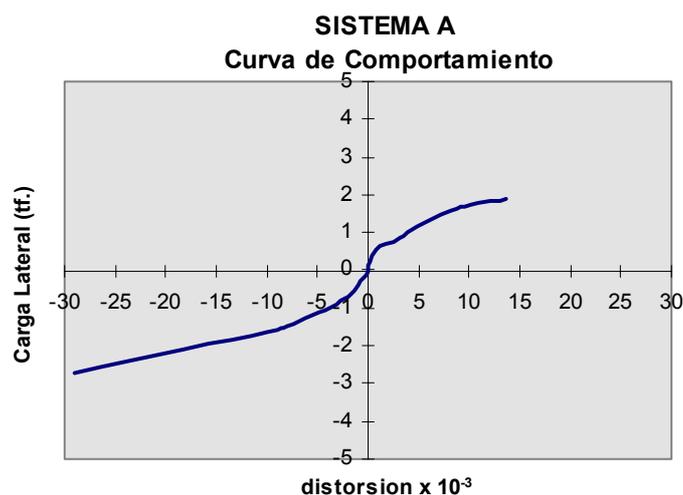


Figura 5.1. Curva de Comportamiento Sistema A

5.1.2 SISTEMA SUPERBOARD - ETERNIT

Este sistema consiste en la integración de una estructura formada por perfiles plegados que utiliza postes espaciados cada 0.60 m., rieles en la parte superior e inferior, y refuerzos diagonales/esquineros, los que forman un marco que aloja a paneles de fibro-cemento de 1.22 m. de ancho y 2.44 m. de alto, lo que forma el sistema estructural. Detalle del panel se presenta en la Figura 5.2. Este sistema es conocido bajo la denominación inglesa Frame and Drywall.

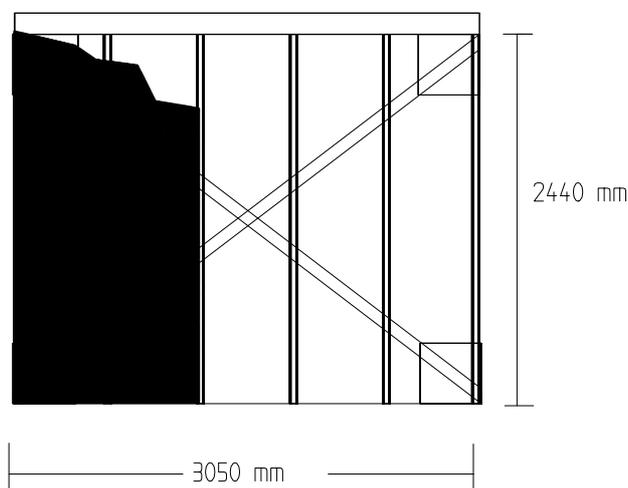


Figura 5.2. Panel Modular

El espécimen que se ensayó fue un módulo de dos niveles que está formado íntegramente por paneles (Foto 5.2). El sistema de techo del primer entrepiso, se encuentra constituido por una estructura de perfiles plegados con paneles que actúan a manera de arriostre continuo y sobre la cual se coloca un solado armado. El segundo entrepiso está constituido solamente por una estructura

de perfiles plegados a manera de viguetas sobre lo cual se fijan paneles y en su parte externa se coloca planchas onduladas de cubierta. Las paredes del módulo tienen una longitud de 3060 mm y están formadas por paneles de 1220 mm de espesor los que se fijan en los postes de perfil plegado mediante tornillos, los mismos que forman un esqueleto de perfiles plegados. El módulo posee un peso total aproximado de 3500 kg.



Foto 5.2. Espécimen de dos pisos Eternit.

Las cargas fueron aplicadas mediante control de desplazamientos en cada nivel del módulo. Los desplazamientos laterales fueron aplicados tratando de reproducir distorsiones en cada nivel de aplicación de carga del orden de $1/5000$, $1/2500$, $1/1250$, $1/650$, $1/500$, $1/250$, $1/125$. Los desplazamientos guardan una proporción similar a la de un primer modo de vibración normalizado al segundo nivel, con una relación de 1.00 y 0.50 en el segundo y primer nivel respectivamente. Como producto del ensayo se obtuvo la curva de comportamiento que se presenta en la Figura 5.3, en donde puede observarse que se tuvieron derivas de entrepiso del orden de $8/1000$ en el rango inelástico y valores de $4/1000$ en la pérdida de linealidad del espécimen.

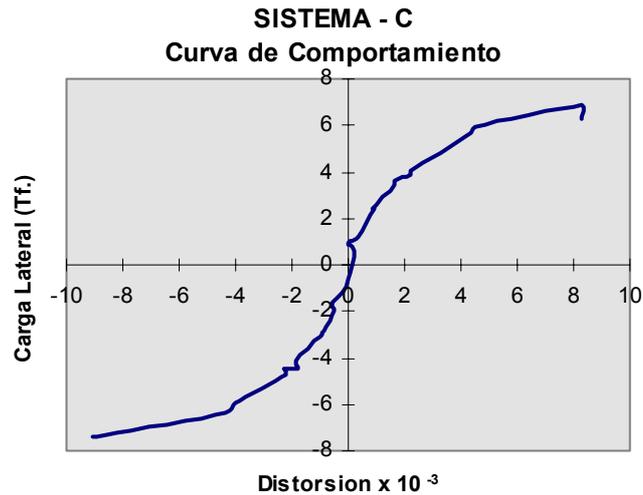


Figura 5.3. Curva de Comportamiento. Primer Nivel, Sistema B.

5.1.3 SISTEMA DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Los componentes principales de esta vivienda son las losas y muros de concreto armado de 10 cm. de espesor. En estos componentes se utiliza concreto de baja resistencia (aproximadamente 100 Kg/cm^2) de slump máximo 4", de manera que tenga una buena trabajabilidad y, al utilizar el encofrado reusable de aluminio, se consigan las secciones adecuadas que garanticen las características asumidas en el análisis estructural.

Las cargas fueron aplicadas mediante control de desplazamientos en el nivel 2250 mm del módulo. Los desplazamientos laterales fueron aplicados tratando de reproducir distorsiones en este nivel de aplicación de carga del orden de 1/5000, 1/2500, 1/1250. Una vista del espécimen durante el ensayo es presentada en la Foto 5.3.



Foto 5.3. Módulo ensayado del Sistema C.

La aplicación de los desplazamientos se hizo a través de actuadores electrohidráulicos mediante control de desplazamientos. Como resultado se obtuvo la curva de comportamiento del espécimen presentada en la Figura 5.4, de donde puede leerse que se alcanzaron distorsiones de 1/1250 en este sistema constructivo.

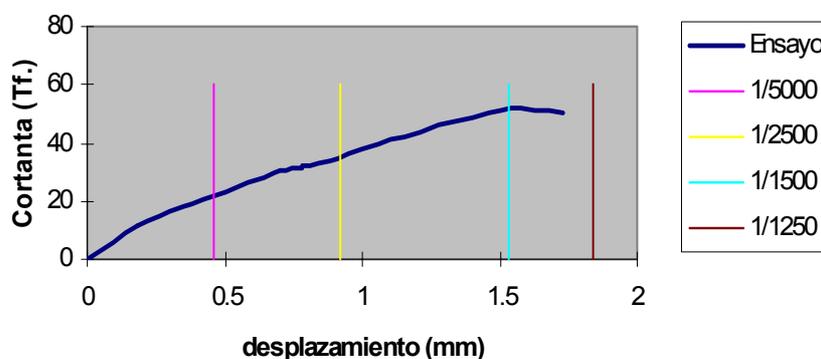


Figura 5.4. Curva de Comportamiento, Sistema C.

5.1.4 SISTEMA DE CONSTRUCTIVO CS

Este sistema fue propuesto por la UNI y contó con el apoyo de SENCICO para su desarrollo. Consiste en una alternativa de vivienda no convencional, para áreas rurales y urbano-marginales, mediante el uso de paneles de concreto confinados por perfiles metálicos doblados al frío. Se realizaron ensayos de carga lateral en muros, donde se observa que el sistema presenta gran ductilidad y disipación de energía, así como un daño mínimo bajo una distorsión de 1/75. El ensayo de carga lateral en un módulo de 9 m² a escala natural fue desarrollado, donde un espécimen fue sujeto a un ensayo pseudodinámico bajo la demanda del sismo de Lima (17/X/1966) con un PGA de 350 gals haciendo uso del sistema en línea del Laboratorio de Estructuras del CISMID. Para el ensayo de carga lateral se obtuvo una cortante en la base de 2.6 t para una distorsión de 1/75 y para el ensayo pseudodinámico se llegó a una distorsión de 1/50. Gracias al apoyo de JICA en el año 2001, se hizo posible la construcción de 5 viviendas usando este sistema que fueron donadas a personas de bajos recursos económicos del A.H. Pacífico II. Antes de la construcción de estas viviendas, se construyó un prototipo a escala natural en el laboratorio. Se realizó una medición con microtremor del periodo natural registrándose un valor de 0.63 s. Asimismo, se realizó un ensayo de carga lateral, encontrándose una cortante en la base máxima de 7.18 t para una distorsión de 1/75. De acuerdo al sismo de diseño especificado en la Norma Peruana NTE.030, la máxima cortante de demanda es 3.68 t. Por consiguiente, este sistema no convencional fue probado contra el sismo de

diseño satisfactoriamente. El costo directo de una vivienda de 36 m² construida usando esta alternativa de vivienda se estimó en S/.14 000.



Foto 5.4. Módulo ensayado del Sistema D.

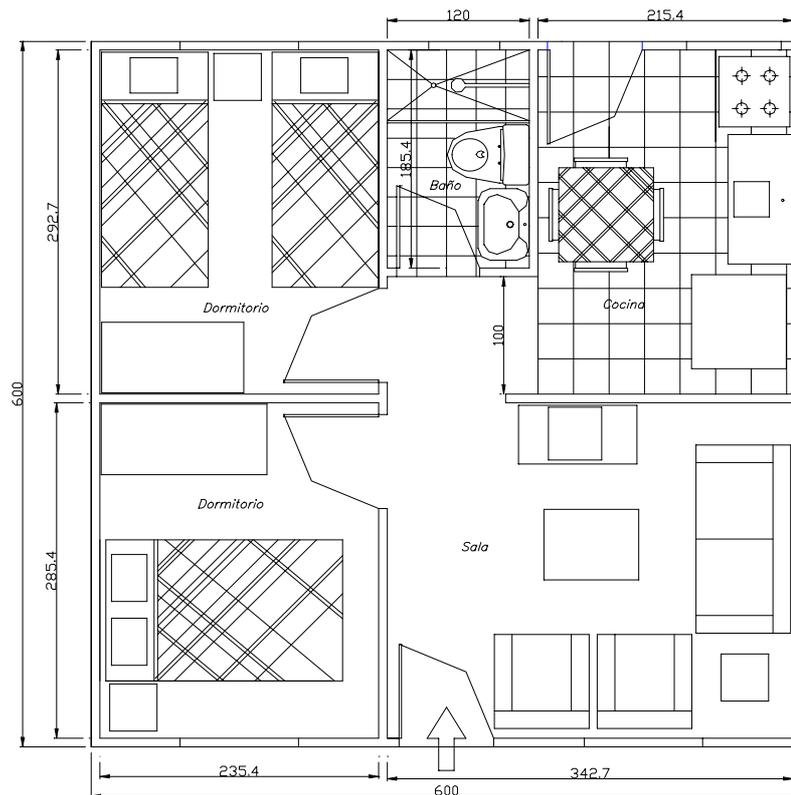


Figura 5.5. Dibujo en planta de prototipo, Sistema D.

Behavior Curve
Module CS - 36 m²
CISMID/FIC/UNI 12/4/2002

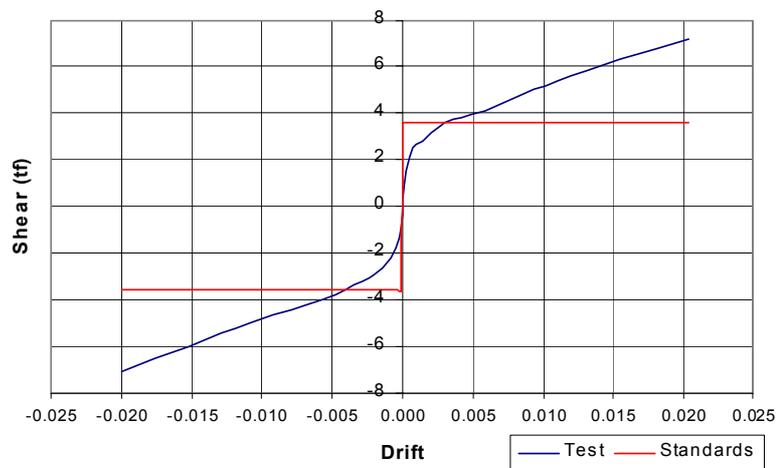


Figura 5.6. Curva de Comportamiento del Prototipo.

La Figura 5.6 muestra los resultados del ensayo de carga cíclica realizado sobre el prototipo. La máxima respuesta del prototipo cuando se empujaba el modulo fue de 8.66 t para un desplazamiento de 49.34 mm. Luego, usando los valores picos de las curvas de histéresis se dibujó una curva de comportamiento del módulo que se muestra. Se encontró una cortante máxima de 7.18 t para una distorsión de 1/50. Este sistema constructivo propuesto muestra gran ductilidad y buen comportamiento frente a sismos.



Foto 5.5. Prototipo CS construido en AA.HH. Pacifico II

5.2 DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA POSIBLE DE ACUERDO AL NIVEL SOCIOECONOMICO

Las poblaciones de las ciudades de Tambo de Mora y Chíncha Baja pertenecen a un estrato socioeconómico del nivel C y D. La gran mayoría de las viviendas que colapsaron fueron de adobe y de mampostería. Sin embargo, estas últimas tuvieron fallas relacionadas a la poca competencia de los suelos.

En general, es muy difícil que los pobladores del estrato C y D, acepten algunos de los sistemas constructivos investigados en CISMID-FIC-UNI, de los cuales solo serían aceptado el sistema de muros de ductilidad limitada y en menor número el sistema de Superboard. Sin embargo, estas poblaciones son tradicionalistas en lo referente al deseo de poseer un inmueble. Es decir, aceptan solamente al material noble o albañilería como sistema seguro.

En tal sentido se considera conveniente el desarrollo de una vivienda sismorresistente usando el sistema constructivo tradicional de albañilería confinada. En el Anexo IV se presentan los planos de arquitectura, estructuras e instalaciones eléctricas y sanitarias del modelo adoptado.

5.3 ENSAYOS SUSTENTATORIOS DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA

Luego de ocurrido el sismo de Pisco del 15/8/2007, los precios de los materiales de construcción se elevaron sustancialmente, pese a los esfuerzos para evitar esta alza, que va en contra de los pobladores que en ese instante necesitaban una vivienda.

Organizaciones no gubernamentales apoyaron con viviendas temporales y carpas para apoyar a los pobladores damnificados. Sin embargo, se observó que algunos pobladores a iniciativa propia reconstruyeron sus viviendas con adobe, lo cual no debería ser permitido, por lo vulnerable de este material en una zona de suelo poco competente como lo es Tambo de Mora.

En la búsqueda de una solución factible, se investigó la disponibilidad de material de la zona que está siendo usado para construir con mampostería. Se encontraron dos marcas de ladrillo usados en la zona: ladrillo “Inca” y ladrillo “Ñoño”. Asimismo, se pudo recabar una muestra de un ladrillo sin marca que se vende en la zona, al que denominaremos ladrillo “chinchano”.

Con cada uno de estos tipos de ladrillo, se efectuaron ensayos en muestras de pilas y ensayos en unidades de ladrillo, a fin de poder clasificar estos ladrillos de acuerdo a la Norma de Albañilería NTE-070 del Reglamento Nacional de Edificaciones.



Foto 5.6. Pila de ladrillo "Inca".

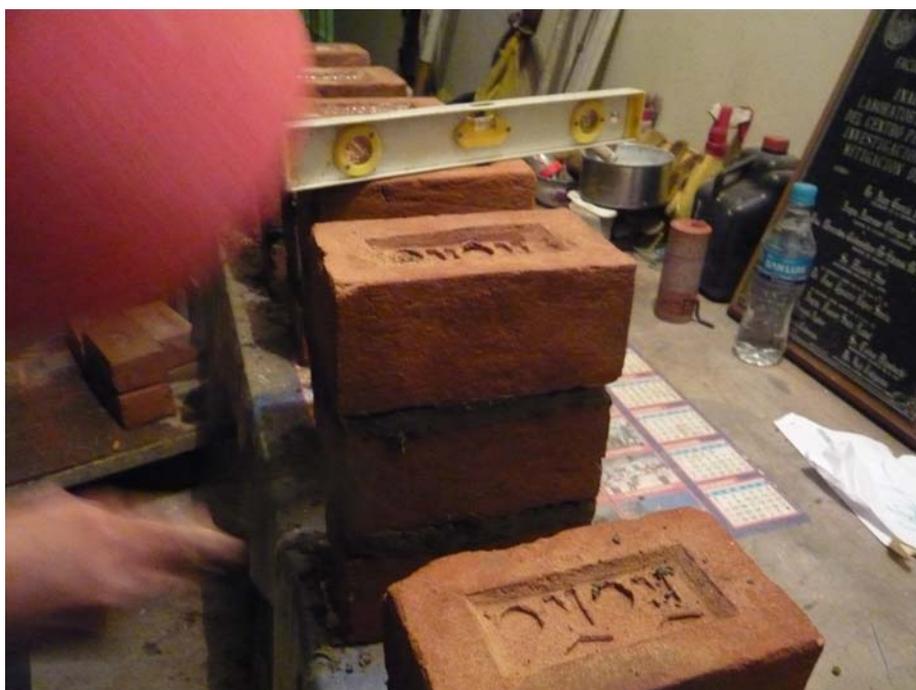


Foto 5.7. Pila de ladrillo "Ñoño".



Foto 5.8. Pila de ladrillo “chinchano”.

En la sección B del Anexo IV se presentan los resultados de los ensayos de compresión en pilas y compresión en unidades de arcilla, para las muestras obtenidas en Chincha.

De los resultados de los ensayos, se puede concluir que el ladrillo “Inca” posee una resistencia a la compresión promedio en pilas de 48 kg/cm^2 . Asimismo, el ladrillo “Ñoño” posee una resistencia promedio a la compresión en pilas de 51 kg/cm^2 . Finalmente, el ladrillo sin marca (“chinchano”) posee una resistencia de 32 kg/cm^2 en pilas sometidas a compresión. Estos valores cumplen con los valores mínimos dados en la Norma NTE-070 del Reglamento Nacional de Edificaciones. En la Tabla 5.1 se presentan estos valores mínimos reglamentarios.

Los resultados de los ensayos de unidad, muestran que los ladrillos “Inca” y “Ñoño” superan el valor mínimo estipulado por la Norma NTE-070 (55 kg/cm^2). Tanto el ladrillo “Inca” como el ladrillo “Ñoño” cumplen con los valores mínimos en pilas y unidades, pudiendo ser usados en proyectos de la zona de reconstrucción.

Tabla 5.1. Valores mínimos para la albañilería (NTE-070).

RESISTENCIAS CARACTERÍSTICAS DE LA ALBAÑILERÍA Mpa (kg / cm²)				
Materia Prima	Denominación	UNIDAD f_b	PILAS f_m	MURETES v_m
Arcilla	King Kong Artesanal	5,4 (55)	3,4 (35)	0,5 (5,1)
	King Kong Industrial	14,2 (145)	6,4 (65)	0,8 (8,1)
	Rejilla Industrial	21,1 (215)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
Sílice-cal	King Kong Normal	15,7 (160)	10,8 (110)	1,0 (9,7)
	Dédalo	14,2 (145)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
	Estándar y mecano (*)	14,2 (145)	10,8 (110)	0,9 (9,2)
Concreto		4,9 (50)	7,3 (74)	0,8 (8,6)
	Bloque Tipo P (*)	6,4 (65)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
		7,4 (75)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
		8,3 (85)	11,8 (120)	1,1 (10,9)

5.4 CONCLUSIONES

- Se han presentado alternativas de modelos estructurales desarrollados que podrían ser usados en la zona de reconstrucción y que fueron experimentados en CISMID-FIC-UNI con anterioridad.
- Debido a las características socioeconómicas de los pobladores de la zona, en su mayoría pertenecientes a los niveles C y D, es muy difícil que acepten modelos no convencionales o sistemas constructivos ligeros.
- Los pobladores aceptan sistemas tradicionales como la mampostería de ladrillo, la cual es aceptada por ambos estratos socioeconómicos.
- Se ensayaron muestras de los ladrillos que se comercian en la zona. Se encontró que existen dos fabricantes de ladrillo (Inca y Ñoño) que predominan en el mercado local. Los resultados de los ensayos en pilas y ensayos en unidades mostraron que ambos ladrillos cumplen con los requisitos mínimos de resistencia a compresión y podrían ser usados en el proceso de reconstrucción. Se descartó el uso del ladrillo sin nombre, debido a que no cumple con los estándares de la Norma NTE-070 del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Se ha desarrollado un proyecto de vivienda de albañilería como alternativa de vivienda para las zonas en estudio. Los planos de este proyecto se presentan en el Anexo IV.