

# Mapa de peligros de Pisco y San Andrés

## Información para la Reconstrucción

### Sismo 15 agosto 2007

▪ Informe

INDECI Ciudades Sostenibles  
INGEMMET  
CESEL ingenieros  
CONIDA

Lima, enero 2008



## **MAPA DE PELIGROS DE PISCO Y SAN ANDRÉS**

### **INFORMACIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN** **SISMO 15 AGOSTO DE 2007**

Elaborado por:

Erasmus Matos<sup>1</sup>  
Vladimir Ferro<sup>1</sup>  
Rubén Cangana<sup>1</sup>  
Oscar Guzman<sup>1</sup>  
Yanet Antayhua<sup>2</sup>  
Walter Pari<sup>2</sup>  
Twiggy Velesvilla<sup>2</sup>  
Patricio Valderrama<sup>2</sup>  
Mauro Sanchez<sup>2</sup>  
Yeslin Olarte<sup>2</sup>  
Malena Rosado<sup>2</sup>  
Lionel Fídel<sup>2</sup>  
Victor Carlotto<sup>2</sup>  
Diego Baez<sup>2</sup>  
Jenny Vasquez<sup>2</sup>  
Jessica Celmi<sup>3</sup>  
Miguel Jimenez<sup>3</sup>  
Guillermo Jara<sup>3</sup>  
Alex Zambrano<sup>4</sup>  
Gustavo Henríquez<sup>4</sup>  
Gonzales Katherine<sup>4</sup>

<sup>1</sup> INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL – CIUDADES SOSTENIBLES

<sup>2</sup> INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO – INGEMMET

<sup>3</sup> CESEL Ingenieros

<sup>4</sup> COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AEROESPACIAL



## **INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL INDECI**

**General de División E.P. "R"**  
**LUIS FELIPE PALOMINO RODRIGUEZ**  
Jefe de INDECI

### **PROYECTO INDECI – PNUD PER / 02 / 051 CIUDADES SOSTENIBLES**

**Coronel EP. "R"**  
**CIRO MOSQUEIRA LOVÓN**  
Director Nacional del Proyecto

**Urbanista**  
**ALFREDO ZERGA OCAÑA**  
Director Nacional Alterno

**Ingeniero**  
**JULIO KUROIWA HORIUCHI**  
Asesor

**Ingeniero**  
**ALFREDO PÉREZ GALLENO**  
Asesor

### **EQUIPO TECNICO CONSULTOR**

|                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| <b>ERASMO MATOS ESPINOZA</b>   | Coordinador – Responsable del Estudio |
| <b>RUBEN CANGANA GUTIERREZ</b> | Asistente de Ingeniería               |
| <b>VLADIMIR FERRO AMERI</b>    | Asistente de Ingeniería               |
| <b>OSCAR GUZMAN CHARCAPE</b>   | Especialista en SIG                   |



## **INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO INGEMMET**

**JAIME CHAVEZ – RIVAS GALVEZ**  
Presidente del Directorio

**MARIO HUERTA RODRIGUEZ**  
Secretario General

**JOSÉ MACHARÉ ORDOÑEZ**  
Asesor Geocientífico

**LIONEL FÍDEL SMOLL**  
Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

**VICTOR CARLOTTO CAILLAUX**  
Director de Geología Regional

### **EQUIPO COOPERANTE**

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>REGINALD HERMANN</b> | Proyecto Multinacional Andino – PMA: GCA                   |
| <b>CARLOS COSTA</b>     | Proyecto Multinacional Andino – PMA: GCA                   |
| <b>JESUS GARCIA</b>     | Proyecto Multinacional Andino – PMA: GCA                   |
| <b>ROBERTO ANIMA</b>    | Servicio Geológico de los Estados Unidos de América – USGS |
| <b>WALTER MOONEY</b>    | Servicio Geológico de los Estados Unidos de América – USGS |
| <b>KRISTIAN BERGEN</b>  | Servicio Geológico de los Estados Unidos de América – USGS |



**CESEL S.A.**

**DUILIO AYAIPOMA NICOLINI**  
Gerente General de CESEL

## **GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y RIESGO SÍSMICO**

**HEBERT SOTELO AEDO**  
Jefe del Departamento

**DAVID VASQUEZ LOPEZ**  
Jefe del Proyecto

**JOSÉ CASTRO MITAC**  
Encargado de Laboratorio Geotécnico y de Concreto

### **EQUIPO TECNICO**

|                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>JESSICA CELMI CORAL</b>       | Coordinador – Responsable del Estudio |
| <b>MIGUEL ANGEL JIMENEZ NINA</b> | Asistente de Ingeniería               |
| <b>GUILLERMO JARA GARCÍA</b>     | Asistente Técnico                     |



**CONIDA**  
**AGENCIA ESPACIAL DEL PERU**

Coronel FAP  
**WOLFGANG DUPEYRAT LUQUE**  
Jefe Institucional de CONIDA

Ingeniero  
**MIGUEL VIDAL VALDIVIESO**  
Director General de Investigación y Operaciones

**CENTRO DE OPERACIONES DE IMAGENES  
SATELITALES**

Mayor FAP  
**ALFREDO PEREZ LALE**  
Director

**ACTIVIDAD GEOMATICA**  
**EQUIPO TECNICO**

|                                  |                                |
|----------------------------------|--------------------------------|
| <b>KATHERINE GONZALES ZUÑIGA</b> | Responsable del Estudio        |
| <b>ALEX ZAMBRANO RAMIREZ</b>     | Especialista Teledetección/SIG |
| <b>GUSTAVO HENRIQUEZ</b>         | Especialista Teledetección/SIG |

## **MAPA DE PELIGROS DE PISCO Y SAN ANDRÉS**

### **INFORMACIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN** **SISMO 15 AGOSTO DE 2007**

#### RESUMEN

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN  | 10 |
| 1.1 OBJETIVO   | 11 |
| 1.2 ANTECEDENTES                                       | 11 |
| 2. ASPECTOS GENERALES                                  | 13 |
| 3. EL SISMO DEL 15 DE AGOSTO DE 2005                   | 14 |
| 3.1. HISTORIA SÍSMICA                                  | 14 |
| 4. EFECTOS GEOLÓGICOS CO-SÍSMICOS EN LA ZONA DE PISCO  | 16 |
| 4.1. DEFORMACIÓN SUPERFICIAL                           | 16 |
| 4.1.1 SECTOR TUPAC AMARU                               | 16 |
| 4.1.2 SECTOR CASALLA                                   | 22 |
| 4.1.3 OTRAS ZONAS CON DEFORMACIONES SUPERFICIALES      | 29 |
| 4.2. TSUNAMIS  | 37 |
| 4.2.1. CRONOLOGIA DE TSUNAMIS                          | 37 |
| 4.2.2. EL TSUNAMI DEL 15 DE AGOSTO DEL 2007            | 38 |
| 4.2.3. PRINCIPALES PARÁMETROS DE LOS TSUNAMIS EN PISCO | 39 |
| 5. ESTUDIOS BÁSICOS                                    | 41 |
| 5.1. ASPECTOS GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICOS              | 41 |
| 5.1.1 ESTRATIGRAFÍA                                    | 41 |
| 5.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL                             | 49 |
| 5.2. FORMACIONES SUPERFICIALES                         | 51 |
| 5.2.1 ÁREA DE ESTUDIO                                  | 51 |
| 5.2.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO                           | 51 |
| 5.2.3 DESCRIPCIÓN                                      | 51 |
| 5.3. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL                            | 59 |
| 5.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES CURSOS DE AGUA   | 59 |
| 5.3.2. CAUDALES MÁXIMOS                                | 59 |
| 5.4. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS                   | 61 |
| 5.4.1 METODOLOGÍA                                      | 61 |
| 5.4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS                     | 62 |
| 5.4.3 PROFUNDIDAD DEL TECHO DE LA NAPA                 | 63 |
| 5.4.4 FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO                 | 63 |
| 5.4.5 VARIACION DE LA CALIDAD DEL AGUA                 | 63 |
| 5.5. CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS                        | 64 |
| 5.5.1. REGISTRO DE MICROTREMORES EN LA CIUDAD DE PISCO | 64 |
| 5.5.2. REFRACCIÓN SÍSMICA EN LA CIUDAD DE PISCO        | 71 |
| 5.5.3. LÍNEAS DE GEORADAR EN LA CIUDAD DE PISCO        | 75 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 5.6.   | SISMICIDAD  | 87  |
| 5.6.1. | EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS USANDO TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA   | 87  |
| 5.6.2. | INTENSIDADES SÍSMICAS   | 92  |
| 5.6.3. | ACELERACIONES MÁXIMAS   | 106 |
| 5.6.4. | PELIGRO SÍSMICO   | 107 |
| 5.7.   | GEOTÉCNIA   | 110 |
| 5.7.1. | INVESTIGACIÓN DE CAMPO  | 110 |
| 5.7.2. | ENSAYOS DE LABORATORIO  | 111 |
| 5.7.3. | CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE CIMENTACIÓN  | 111 |
| 5.7.4. | CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE CIMENTACIÓN   | 112 |
| 5.7.5. | AGRESIÓN QUÍMICA DEL SUELO DE CIMENTACIÓN   | 114 |
| 5.7.6. | CONDICIONES DINÁMICAS DE LOS SUELOS   | 114 |
| 5.7.7. | POTENCIAL DE LICUACIÓN DEL SUELO DE CIMENTACIÓN                                     | 117 |
| 5.8.   | ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA – SÍSMICA   | 119 |
| 6.     | MAPA DE PELIGROS DE PISCO Y SAN ANDRÉS  | 122 |
| 6.1.   | MAPA DE PELIGROS GEOLOGICO – GEOTECNICOS  | 122 |
| 6.2.   | MAPA DE PELIGROS CLIMATICOS   | 124 |
| 6.2.1  | INUNDACIÓN POR DESBORDE DEL RÍO PISCO   | 124 |
| 6.3.   | MAPA DE PELIGROS GEOLOGICO – CLIMÁTICOS   | 125 |
| 6.3.1  | LICUACIÓN DE SUELOS DE CIMENTACIÓN  | 125 |
| 6.4.   | MAPA DE PELIGROS MÚLTIPLES  | 126 |
| 6.4.1  | ZONA DE PELIGRO MEDIO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS ACEPTABLES           | 126 |
| 6.4.2  | ZONA DE PELIGRO ALTO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES         | 127 |
| 6.4.3  | ZONA DE PELIGRO MUY ALTO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS MUY DESFAVORABLES | 128 |
| 6.4.4  | CONCLUSIONES  | 129 |
| 7.     | PAUTAS TÉCNICAS DE HABILITACIÓN Y EDIFICACIÓN.                                      | 131 |
| 7.1.   | IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS SEGURAS   | 131 |
| 7.2.   | PAUTAS TÉCNICAS DE HABILITACIÓN URBANA  | 131 |
| 7.2.1  | PAUTAS TÉCNICAS DE HABILITACIONES URBANAS EXISTENTES                                | 131 |
| 7.2.2  | PAUTAS TÉCNICAS DE HABILITACIONES URBANAS NUEVAS                                    | 132 |
| 7.3.   | PAUTAS TÉCNICAS DE EDIFICACIONES  | 132 |
| 8.     | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.   | 136 |
|        | BIBLIOGRAFÍA  | 139 |



## RESUMEN

El presente informe ha sido realizado con la finalidad de establecer un documento técnico para el área de estudio, que comprende las ciudades de Pisco y San Andrés, de la provincia de Pisco, Región Ica, en donde se presente como producto final: la zonificación de peligros de origen natural asociado a la ocurrencia simultánea de fenómenos de origen geológico-geotécnico, climático y geológico-climático, tomando en cuenta los efectos ocasionados por el sismo del 15/08/07.

Las ciudades de Pisco y San Andrés se encuentran emplazadas sobre depósitos aluviales que forman parte del cono de deyección antiguo del río Pisco a su llegada al océano Pacífico. En esta área se encuentran gravas-arenosas limpias medianamente compactas cubiertas por arenas-limosas sueltas a muy sueltas con una potencia entre 1.0 m. a 4.0 m.. El suelo de Pisco y San Andrés hasta una profundidad de 25.0 m., consiste en una cobertura de arena-limosa suelta entre 1.0 m. a 5.0 m., para luego continuar con suelo gravo-arenoso medianamente compacto que contiene lentes aislados y erráticos de arena. El nivel freático se encuentra entre 1.0 m. a 4.0 m. de profundidad.

Los mayores daños e intensidades sísmicas Mercalli modificada (MM) ocasionados por el sismo del 15/08/07 se concentran en el casco urbano de Pisco Pueblo (Severo a Colapso, VIII MM), alrededor de la Plaza de Armas hasta llegar a la Av. Las Américas por el sur; la cual representa un límite físico de una transición gradual de daños desde el Severo hasta el Leve. Al sur y sur-este de la Av. Las Américas los daños se muestran Leves a Moderados (VI a VII MM) y es la zona que mejor ha resistido el evento sísmico.

La ciudad de Pisco se ha dividido en 03 niveles de peligros múltiples en función a la ocurrencia y magnitud de los fenómenos de origen geológico-geotécnico, climático y geológico-climático; según la descripción siguiente (Ver Mapa 5.18):

### **ZONA DE PELIGRO MEDIO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS**

**ACEPTABLE:** Comprende la zona sur-este de Pisco Pueblo a continuación de la Av. Las Américas y parte de la zona este de San Andrés. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP), origen fluvial y nivel freático entre 1.2 m. a 2.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular a buena capacidad portante (1.50 a 2.00 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una baja a media amplificación sísmica local. Zona no inundable por tsunamis con “run-up” hasta de 6.0 m., ni por desbordes del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias. Zona recomendada para usos urbanos de alta a media densidad y la ubicación de edificaciones indispensables como: Hospitales, Centros Educativos, Cuartel de Bomberos; etc después de realizar investigaciones geotécnicas normales.

### **ZONA DE PELIGRO ALTO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES:**

**Zona al centro y este de San Andrés:** Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP), origen fluvial y nivel freático entre 1.4 m. a 2.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. Solo la parte oeste de la zona quedaría inundada por un tsunami con “run-up” entre 5.0 m. a 6.0 m. No le alcanza la inundación por desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

**Zona desde el casco urbano de Pisco Pueblo hasta la carretera Panamericana sur:** Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen fluvial y nivel freático entre 2.0 m. a 4.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene baja a regular capacidad portante (0.75 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), moderado a bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una

alta amplificación sísmica local. Solo la parte oeste de la zona quedaría inundada por un tsunami con “run-up” entre 5.0 m. a 6.0 m. No es afectada por inundaciones por desbordes del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

En esta zona se localizan áreas de relleno antrópico (basura, materiales de construcción y terraplenes) y humedales (zonas con napa freática superficial).

Zona recomendada para usos urbanos de baja a media densidad, luego de realizar investigaciones geotécnicas detalladas y proponer las medidas de reducción de vulnerabilidad estructural requeridas en las edificaciones.

### **ZONA DE PELIGRO MUY ALTO – TERRENOS CON CONDICIONES COSTRUCTIVAS MUY DESFAVORABLES:**

**Zona al centro y oeste de San Andrés:** Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP) medianamente consolidados, origen fluvial y nivel freático entre 0,10 m. a 0,80 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación, severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. La zona se inundará con un tsunami con “run-up” entre 3.0 m. a 5.0 m. No es afectada por desbordes del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

**Zona norte de Pisco Playa desde el centro poblado Leticia hasta parte del asentamiento humano Miguel Grau. Zona sur-oeste de Pisco Playa entre las calles Demetrio Miranda y Julio Quiñones con límite al sur por la Av. Las Américas:** Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen fluvial y marino, con nivel freático entre 0,10 m. a 0,80 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene muy baja capacidad portante (0.50 a 0,75 Kg/cm<sup>2</sup>), alto potencial de licuación, severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. La zona será inundada por un tsunami con “run-up” entre 3,0 m. a 5,0 m. No le alcanza la inundación por desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

Zona no recomendable para usos urbanos. Se recomienda su uso como reservas ecológicas o recreación abierta. Su uso requiere la realización de estudios especializados (sismicidad, geología, geotecnia, etc.) con la finalidad de proponer los proyectos de reducción de vulnerabilidad requeridos en las edificaciones y las medidas de mitigación de desastres.

La zona expuesta al menor grado de peligros de origen natural en la ciudad de Pisco se localiza al sur y sur-este de Pisco Pueblo, a continuación de la Av. Las Américas. El sismo del 15/08/07 produjo en las edificaciones de esta zona, daños leves a moderados; lo que coincide con el nivel de peligros asignado: Medio.

La zona expuesta al mayor grado de peligros de origen natural en la ciudad de Pisco se localiza a lo largo del litoral costero de Pisco Playa; en la cual, durante la ocurrencia de un sismo de magnitud importante (MI mayor a 7) se produce el fenómeno de licuación de suelos, es inundada por la ola y “run-up” del tsunami y se presenta una alta amplificación local de las ondas sísmicas; lo que coincide plenamente con el nivel de daños : Severo a colapso que ocasionó el sismo del 15/08/07 a las edificaciones de la zona.

El resto de la ciudad de Pisco hasta el CC PP Amauta, presenta un peligro alto influenciado básicamente por la baja a regular capacidad portante existente y por la posibilidad de amplificación local de ondas sísmicas; por lo que en esta zona, si no se toman las medidas de reducción de vulnerabilidad que el caso amerita, las edificaciones pueden sufrir daños severos a colapso ante la ocurrencia de un evento sísmico, tal como ocurrió durante el sismo del 15/08/07 con estructuras altamente vulnerables (adobe, tapial) y con serias deficiencias estructurales (piso blando, columna corta, baja densidad de muros, etc).

## **MAPA DE PELIGROS DE PISCO Y SAN ANDRÉS**

### **INFORMACIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN** **SISMO 15 AGOSTO DE 2007**

#### **1. INTRODUCCIÓN**

El Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI, con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD en el marco del Programa “Ciudades Sostenibles”, desarrolló en el segundo semestre del año 2001, el estudio denominado “Mapa de Peligros, Plan de Usos del Suelo y Propuestas de Medidas de Mitigación de los Efectos Producidos por los Desastres Naturales de la ciudad de Pisco”; con el objeto de contribuir al adecuado ordenamiento territorial de la ciudad considerando la prevención de desastres como un insumo para las propuestas de desarrollo y expansión urbana.

A las 6:40 pm. del 15 de Agosto del 2007, ocurrió un sismo de magnitud 7.0 en la escala de Richter (MI) cuyo epicentro se localizó a 60 Km. al noroeste de la ciudad de Pisco y a una profundidad de 40.0 Km.; lo que originó una situación de desastre principalmente en las regiones Ica, Lima y Huancavelica, dejando un saldo de 434,614 personas damnificadas, 221,060 personas afectadas, 1,291 heridos, 519 fallecidos, 48,208 viviendas destruidas, 45,500 viviendas inhabitables y 45,813 viviendas afectadas, de acuerdo a los reportes de los Comités de Defensa Civil.

En la Región Ica, la ciudad de Pisco, incluida el área urbana del distrito de San Andrés fue una de las más afectadas por el movimiento sísmico, causando la destrucción de la ciudad; situación que viene siendo atendida actualmente por el Estado peruano.

Para la fase de reconstrucción, es de suma importancia la utilización de insumos que permitan una adecuada gestión prospectiva del riesgo, especialmente los Mapas de Peligros; sin embargo, como el sismo del 15/08/07 ha generado un escenario real de desastre para Pisco y San Andrés, se consideró necesario que los mapas de peligros ya existentes (INDECI-PNUD, 2001), sean actualizados tomando en cuenta los efectos ocasionados por éste.

Ante la situación de desastre generada, diversas instituciones científicas públicas y privadas mostraron su voluntad de desarrollar estudios orientados a brindar apoyo a la etapa de reconstrucción de la zona afectada. De esta manera, en reuniones desarrolladas en el mes de setiembre de 2007, tanto en las sedes de INDECI como en el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú - INGEMMET; estas instituciones; CESEL Ingenieros; la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial – CONIDA; con el apoyo de otras instituciones como el Instituto Geofísico del Perú – IGP y la Dirección Nacional de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú – HIDRONAV; conformaron un grupo de trabajo inter-institucional para el desarrollo de los estudios de base que permitan orientar adecuadamente el proceso de reconstrucción sobre las zonas que presentan las mejores condiciones de seguridad física.

El presente documento es el resultado del esfuerzo coordinado de este grupo de trabajo interinstitucional y multidisciplinario, lo que ha permitido obtener un estudio con mayor alcance técnico y científico tratándose aspectos geológicos, geotécnicos, geofísicos, hidrogeológicos y sísmicos que se ponen a disposición de las autoridades locales, autoridades sectoriales y del Fondo de Reconstrucción del Sur - FORSUR para su utilización en la formulación del Plan de Desarrollo Urbano y en la toma de decisiones en el proceso de reconstrucción de la ciudad de Pisco y San Andrés.

Es necesario mencionar el apoyo obtenido de parte de las autoridades, funcionarios y técnicos de la Municipalidad Provincial de Pisco y de la Municipalidad Distrital de San Andrés en la recopilación de la información existente, levantamiento de información de campo e intercambio de opiniones técnicas que han permitido tomar de manera más realista, la magnitud de los daños ocasionados por el sismo del 15/08/07. Especial agradecimiento merece la participación de la Misión de la Universidad de Tokio, Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas y Servicio Geológico de los Estados Unidos de América – USGS, entre otras entidades científicas, que han aportado sus conocimientos, técnicas y experiencias en el desarrollo del presente documento.

## 1.1 OBJETIVOS

a).- Actualizar y complementar los mapas de peligros de origen geológico-geotécnico y geológico-climático, de las ciudades de Pisco y San Andrés, tomando en cuenta la información ya existente, los efectos ocasionados por el sismo del 15/08/07 en base a levantamiento de información de campo e investigaciones complementarias de suelos en el área de estudio.

b).- Identificación de las áreas más seguras para la probable expansión urbana, densificación urbana y la reconstrucción de las ciudades de Pisco y San Andrés, desde el punto de vista de la seguridad física del asentamiento y de la prevención de desastres de origen natural.

## 1.2 ANTECEDENTES

El INDECI-PNUD dentro de su programa “Ciudades Sostenibles”, ha desarrollado en Noviembre del año 2001, el estudio denominado “Mapa de peligros, Plan de usos del suelo y Propuestas de medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de la ciudad de Pisco”.

A las 6:40 pm. del 15 de Agosto del 2007 ocurrió un sismo de magnitud 7.0 en la escala de Richter (MI) cuyo epicentro se localizó a 60 Km. al nor-oeste de la ciudad de Pisco y a una profundidad de 40.0 Km.; lo que ha originado una situación de desastre, especialmente en los distritos de Pisco y San Andrés.

En la ciudad de Pisco y San Andrés, así como sus áreas conurbanas y centros poblados aledaños, los daños ocasionados por el sismo a la infraestructura existente han sido severos, particularmente en aquellas zonas donde las estructuras construidas poseen una alta vulnerabilidad estructural (casas de adobe sin refuerzo sísmico).

Se sabe que cerca del 60% de las casas-habitación e infraestructura existente en la ciudad de Pisco, han sido severamente dañadas y/o colapsadas (Fuente: INEI, 2007), por lo que ya se ha iniciado un programa de reconstrucción de la zona afectada que ha de tener como principal requisito una adecuada planificación urbana, tomando en cuenta las lecciones dejadas por los desastres antecedentes, particularmente las del sismo del 15/08/07; para no volver a construir en la fase pos desastre, sobre áreas de alto peligro con estructuras vulnerables que han quedado claramente demostradas que no soportan los efectos de un sismo moderado a severo.

Por tanto, en esta fase de reconstrucción es de suma importancia la utilización de insumos que permitan una adecuada gestión prospectiva del riesgo, especialmente

los Mapas de Peligros; tal como hasta la fecha los ha venido elaborando el INDECI-PNUD. Sin embargo, como el sismo del 15/08/07 ha generado un escenario real de desastre para Pisco y San Andrés, es que se hace necesario que sus mapas de peligros ya existentes, sean actualizados y complementados, tomando en cuenta los efectos ocasionados por este.

Es Importante mencionar que instituciones del estado y compañías privadas: INGEMMET, CONIDA, INDECI y CESEL participaron activamente en los trabajos de evaluación y estudio de los efectos del sismo, contribuyendo de esta manera en el presente estudio multidisciplinario y multiinstitucional.

## 2.0 ASPECTOS GENERALES

El área de estudio, abarca las Ciudades de Pisco y San Andrés ubicadas políticamente en los distritos de Pisco y San Andrés respectivamente, provincia de Pisco, Región Ica. Entre las coordenadas:

8'481,000 m. a 8'486,000 m. Norte (UTM WGS 84).  
368,000 m. a 376,000 m. Este (UTM WGS 84).  
y una altitud entre 0 y 80 m.s.n.m.

Esta área abarca las zonas urbanas de las ciudades de Pisco y San Andrés, que se encuentran limitadas físicamente al norte por el curso de agua del río Pisco, al este por la carretera Panamericana Sur, al oeste por el Océano Pacífico y al sur por el distrito de Paracas. Ver Mapa 2.1

La principal vía de acceso terrestre al área de estudio es la carretera Panamericana Sur, que une longitudinalmente las provincias del departamento de Ica y que le permite a Pisco y San Andrés, tener una comunicación fluida con las ciudades de Chincha, Cañete, Lima e Ica.

Desde la ciudad de Pisco se accede en forma transversal a través de la vía Los Libertadores a los departamentos de Ayacucho y Huancavelica. Esta vía une Pisco, San Clemente, Huaytará, Ayacucho, Andahuaylas, Chincheros, Abancay, Cuzco-Iñapari; conocida como la Ruta 23, que es de gran importancia a nivel nacional por conectar la costa con la sierra sur del país.

La provincia de Pisco cuenta con un aeropuerto de emergencia, para vuelos comerciales y particulares, localizado en la Base Aérea N° 51 de la FAP, del distrito de San Andrés.

El acceso por vía marítima es a través del puerto Pisco en Pisco y el puerto General San Martín en Punta Pejerrey en el distrito de Paracas; este último, es un terminal marítimo de grandes dimensiones para buques de gran calado que sirve como alternativo al puerto del Callao.

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (Censo 2005), la población de la provincia de Pisco fue de 116,865 habitantes. La población total para el distrito de Pisco es de 54,193 habitantes y del distrito de San Andrés de 14,134 habitantes. El distrito de Pisco es el más poblado de la provincia, albergando el 46.0% del total, le sigue San Clemente con el 14.8% y San Andrés con el 12.0%.

Los distritos de Pisco y San Andrés tienen en conjunto una extensión de 64.01 Km<sup>2</sup>, con una densidad poblacional promedio de 1024.4 Hab/Km<sup>2</sup> en 1993.

La condición social de la población a nivel provincial está reflejada en las condiciones del sector vivienda. Según datos del censo 1993 (Fuente: INEI) se tiene que el 41.0% del total de viviendas son de ladrillos, el 52.0% son de adobe o quincha y el 7.0% restante de otros materiales; por otro lado, solo el 16.0% de las viviendas tienen techo de concreto y el 63.0% son techos de caña o estera y el resto es de otros materiales.

El clima de la ciudad de Pisco es subtropical árido con ausencia de precipitación pluvial. La precipitación promedio total anual es de 1.6 mm y una temperatura promedio anual de 18.7 °C, recopilada en la Estación meteorológica Pisco, la cual se encuentra a 6.0 m.s.n.m. y está próxima al litoral.

### 3.0 EL SISMO DEL 15 DE AGOSTO DE 2005

Los parámetros hipocentrales del sismo del 15 de Agosto del 2007, tienen los valores siguientes:

|   |   |
|---|---|
| Tiempo origen                             | : 23h 40m 58.0 seg. (GMT, Hora Universal)<br>18h 40m 58.0 seg. (Hora Local) |
| Latitud Sur                               | : 13.67°  |
| Longitud Oeste                            | : 76.76°  |
| Profundidad                               | : 40 Km.  |
| Magnitud                                  | : 7.0 MI (Richter)<br>7.9 Mw (Magnitud momento)                             |
| Intensidad Máxima<br>(Fuente : IGP, 2007) | : VII-VIII (MM) en Pisco.   |

Después de ocurrido el sismo del 15/08/07, hasta el día 27 de Agosto del 2007, las estaciones sísmicas de Guadalupe y Zamaca (GUA-ZAM) ubicadas a 125 y 180 Km al sur del epicentro han registrado aproximadamente 3,060 réplicas y de las cuales, solo 18 fueron sentidas por la población de las localidades de Pisco, Cañete e Ica con intensidades mayores a III en la escala Mercalli Modificada (MM).

El sismo de Pisco corresponde al de mayor magnitud ocurrido en la región central de Perú en los últimos 100 años (7.9Mw, 7.0 MI), y se caracterizó por presentar un proceso muy complejo de ruptura con evidente propagación unilateral en dirección sur-este. Los daños producidos por el sismo fueron mayores en la ciudad de Pisco y localidades aledañas, afectando básicamente a viviendas de adobe y quincha y viviendas de material noble con problemas estructurales (edificaciones con vulnerabilidad estructural alta a muy alta). La intensidad máxima percibida en la escala de Mercalli Modificada para la ciudad de Pisco fue de VII a VIII.

De acuerdo a la ubicación hipocentral, el sismo de Pisco tuvo su origen en el mecanismo de fricción de placas dentro del proceso de convergencia que se desarrolla en el borde occidental de Perú; es decir, proceso mediante el cual la placa de Nazca se introduce por debajo del continente generando sismos de diversas magnitudes a diferentes niveles de profundidad.

El sismo de Pisco presentó dos importantes características, primero su gran magnitud (7.9Mw, 7.0 MI) y la larga duración observada para su proceso de ruptura con evidencias de una propagación unilateral en dirección sur-este. El análisis de registros obtenidos a distancias regionales y telesísmicas sugiere para el sismo una duración del orden de 210 segundos, prácticamente el doble del observado para el gran sismo del 23 de junio del 2001 (8.2Mw) que afectó a la región sur del Perú (110 segundos). Durante este tiempo, se ha identificado la presencia de dos frentes de ruptura, el primero al inicio del sismo y el segundo 70 segundos después, siendo este último el que liberó la mayor cantidad de energía y fue percibido con mayor intensidad.

#### 3.1 HISTORIA SISMICA

La ciudad de Pisco se encuentra en una zona de alta actividad sísmica debido a la subducción de la placa de Nasca u Oceánica y la placa Sudamericana o Continental. La mayoría de sismos se generan en el océano con profundidades superficiales menores de 70 Km. y los menos recurrentes con origen cordillerano que han afectado principalmente a la región de Huancavelica.

De la información histórica recopilada se desprende que han ocurrido sismos con intensidades hasta de IX grados en la escala de Mercalli Modificada y que han afectado la zona costera de la provincia de Pisco; siendo los más severos los que ocurrieron en el año 1687, el 24 de Agosto de 1942 con una magnitud de 8.5 grados en la escala de Richter y el último evento del 15 de Agosto del 2007 con una magnitud de momento (Mw) de 7.9 grados y magnitud local (MI) de 7.0 en la escala de Richter. En el CUADRO N° 3.1 se presenta una síntesis de las publicaciones del INGEMMET, IGP y del CERESIS referente a la ocurrencia de sismos en la zona de estudio (Período 1568-2007).

### CUADRO N° 3.1

Sismos destructores y sus características que han ocurrido en la provincia de Pisco entre 1586 y 2007

| FECHA      | HORA  | INTENS. | LOCALIDAD |
|------------|-------|---------|-----------|
| 04/04/1568 |       | VI      | Ica       |
| /08/1589   |       | IX      | Ica       |
| 12/05/1664 | 04:15 | VIII    | Pisco     |
| 20/10/1687 | 04:15 | IX      | Ica       |
| 10/02/1716 | 20:00 |         | Pisco     |
| 28/10/1746 | 22:30 | X - XI  | Lima      |
| 30/03/1813 | 04:30 | VIII    | Ica       |
| 27/06/1846 | 20:15 |         | Ica       |
| 21/11/1901 | 14:19 | IV      | Ica       |
| 23/02/1907 | 15:17 | V       | Ica       |
| 11/09/1914 | 06:48 | IV      | Ica       |
| 20/09/1915 | 17:28 | V       | Ica       |
| 07/10/1920 | 15:54 | V       | Ica       |
| 11/10/1922 | 09:50 | IV      | Ica       |
| 05/08/1933 | 21:55 |         | Ica       |
| 24/05/1940 | 11:35 | VIII    | Lima      |

| FECHA      | HORA  | INTENS. | LOCALIDAD |
|------------|-------|---------|-----------|
| 24/08/1942 | 17:51 | IX      | Ica       |
| 29/09/1946 |       | VII     | Pisco     |
| 09/12/1950 |       | VII     | Pisco     |
| 04/04/1951 | 06:18 | IV      | Ica       |
| 03/05/1952 |       | VI      | Ica       |
| 21/07/1955 |       | IV      | Ica       |
| 15/01/1960 | 14:14 | III     | Ica       |
| 15/01/1960 | 04:30 | IV      | Ica       |
| 27/01/1961 | 22:25 | VI      | Ica       |
| 17/10/1966 | 16:41 | VIII    | Lima      |
| 28/09/1968 | 08:54 | VI      | Pisco     |
| 28/09/1978 | 15:30 | V       | Ica       |
| 31/05/1970 |       |         | Ica       |
| 03/10/1974 |       |         | Ica       |
| 12/11/1996 | 11:59 | VII     | Nazca     |
| 15/08/2007 | 18:40 | VII     | Pisco     |

**Fuente:** INGEMMET, IGP, CERESIS



## 4.0 EFECTOS GEOLÓGICOS CO-SÍSMICOS EN LA ZONA DE PISCO

### 4.1 DEFORMACIONES SUPERFICIALES

Los aspectos evaluados comprenden información ingeniero-geológica sobre procesos de deformaciones superficiales originadas por el sismo, involucrando ocurrencias de licuación de suelos, agrietamientos del terreno por fenómenos tanto de compresión como por distensión.

Las zonas evaluadas comprenden áreas cercanas a la ciudad de Pisco, como son la zona del desvío de la Carretera Panamericana (entre Tupac Amaru y Pisco) y las zonas cercanas a San Clemente como son Casalla, Pampa de Cabeza de Toro y otros.

De acuerdo a las características de los daños en los lugares visitados, se puede concluir que los principales procesos geológicos co-sísmicos, en orden de mayor afectación son los fenómenos de licuación de suelos, los que generan grandes daños a las estructuras construidas en la zona (viviendas, obras de ingeniería, etc.)<sup>1</sup>.

#### 4.1.1 SECTOR TUPAC AMARU

##### **Localización:**

Las observaciones fueron realizadas en dos zanjas efectuadas para reparación de una tubería de agua, localizada a la pista de acceso a Pisco, 150 m al oeste del cruce con la Carretera Panamericana (Coordenadas UTM 0375119 – 8483720) y en un terreno de cultivo localizado 200 m al NNE de este sitio (Coordenadas UTM 0378468-8484600).

##### **Características generales:**

En la carretera de acceso a Pisco se reconoce un grupo de escarpas secundarias y grietas con resaltos centimétricos, de orientación general 330°, cuyo resultado inmediato ha sido la el daño de la tubería de agua potable para la ciudad de Pisco. La apertura de dos zanjas para su reparación brindó una excelente oportunidad para observar las características y efectos en el sustrato en estos sitios.

Por otra parte, muy cerca de allí aparecen fenómenos de compresión localizada, es decir por el fenómeno opuesto al de la apertura de grietas, que se consideró importante describir e interpretar.

##### **Observaciones:**

Observaciones en zanjas de reparación de tuberías: Las excavaciones disponibles permitieron corroborar en la primera de ellas la continuidad en el subsuelo de las grietas y escarpas secundarias que afectan a la carretera, siendo el movimiento de apertura de las mismas el responsable del movimiento de los tubos de agua potable.

En la Fotos 4.1 y 4.2 –mosaico-, se observa una visión panorámica de la pared sur y norte respectivamente de esta excavación. En ellas pueden reconocerse la presencia de grietas con inyecciones clásticas y rellenos de

---

<sup>1</sup> Claramente se puede ver estos daños en el Puente Huamani, en viviendas cerca de Pisco playa, y más notoriamente en Tambo de Mora y Chinchá Baja.

material suprayacente, además de típicas texturas de licuefacción. La localización de estas grietas coincide en ambas paredes con el daño ocasionado por las vibraciones sísmicas a la tubería.



Foto 4.1: Pared sur de la excavación de la tubería, se aprecia claras estructuras producto de la licuefacción.



Foto 4.2: Pared norte de la excavación de la tubería, se nota una perturbación en los estratos producto de la licuefacción.

En la Foto 4.3 se observa un detalle de la pared sur donde aparecen dos grietas principales (la escala corresponde a 40 cm.). La grieta de la derecha coincide con desarrollos radiculares y muestra que la parte superior ha sido rellenada con material del horizonte superior que corresponde a un nivel de relleno realizado por el hombre (antrópico) previo, donde esta grieta muestra notorios espacios abiertos. La parte inferior de la grieta presenta una inyección proveniente del nivel inferior, constituido por arenas homogéneas de color marrón claro, las cuales presentan importantes evidencias de licuación.



Foto 4.3: Grietas en la pared sur, causadas por el sismo. Arriba, grieta rellenada con material del nivel superior. Abajo, grieta inyectada plásticamente producto de la licuefacción de suelos.

La proyección hacia abajo de la grieta rellena con material suprayacente que aparece en la misma fotografía, coincide con una notoria discontinuidad en la extensión lateral de las arenas claras recién referidas. Estas también presentan evidencias de haber sido licuadas y probablemente dislocadas en una etapa inmediatamente posterior al sismo.

En la pared norte, puede reconocerse que la prolongación en profundidad de las grietas desarrolladas con espacios abiertos en el relleno antrópico, coinciden con la mayor perturbación por licuefacción del sustrato, y con el movimiento de la tubería de agua, observándose la segmentación lateral de arenas finas marrón oscura y su distribución como islas dentro de la arena pardo clara. El sector se corresponde también con la mayor perturbación del hábito originalmente planar y horizontal de la estratificación aluvial.

Zanja en el acceso al Fundo El Dorado: La Foto 4.4 destaca la ocurrencia de estructuras vinculadas a licuefacción, con convoluciones de bancos y ruptura de horizontes asociados a huellas de carga coincidente con la unión de tubos de agua potable descalzada durante el sismo.



Foto 4.4: Estructuras asociadas a la licuefacción formadas por el sismo.

*Interpretación:* Las estructuras observadas corresponden a rupturas de la fábrica original de los sedimentos ocasionadas por licuefacción. No se han observado evidencias suficientes para interpretar la asociación de estos rasgos con eventos anteriores.

*Implicancias para el riesgo sísmico:* La susceptibilidad para la licuefacción de estos depósitos, corroborada por el tipo y características de los sedimentos (arenas finas y homogéneas) expuestos en las excavaciones, implica considerar a este sector como vulnerable a este proceso, para cualquier decisión vinculada con microzonificación sísmica y/o ordenamiento territorial.

Deformaciones en terreno de cultivo (Frente al Fundo el Dorado) (Coordenadas UTM 0378468 – 8484600): Se reconoce aquí un tren de lóbulos o crestas de presión con orientación submeridiana, a lo largo de 34 metros, en un terreno baldío antiguamente cultivado y limitado por muros de adobe paralelos a su orientación general submeridiana. Dichos muros colapsaron en ambos lados con direcciones de caída hacia estas dislocaciones.

Veinte metros hacia el este se reconoce en una calle con pendiente varias grietas extensionales paralelas a la estructura mencionada anteriormente.

Estas deformaciones del terreno presentan variadas morfologías en detalle (Fotos 4.5 y 4.6), pero todas ellas implican un acortamiento y compresión localizada del terreno asociada a un eje de acortamiento perpendicular a la elongación de las rupturas.



Fotos 4.5: Compresión del terreno.



Foto 4.6: Por efecto de la compresión, el terreno sufrió un fenómeno de *abovedamiento* superficial.

Es común reconocer quiebres o escalonamientos asociados a desgarres o rampas laterales perpendiculares al rumbo (Fotos 4.7 y 4.8). El desnivel entre la superficie original del terreno y las partes superiores de estas morfologías, generalmente no supera los 20 cms.



Fotos 4.7 (arrb) y 4.8 (abj): Otros efectos de deformación superficial en el terreno.

*Interpretación:* Estas compresiones aisladas y concentradas a lo largo de un eje principal, se consideran una respuesta localizada a sacudimientos del terreno (*ground-shaking*) y por lo tanto deformaciones secundarias y no primarias. Es probable que las mismas se hayan generado como respuesta a la extensión generada por la apertura de grietas y/o por alguna cuestión de confinamiento, tal como se interpreta en el esquema de la Figura 4.1.

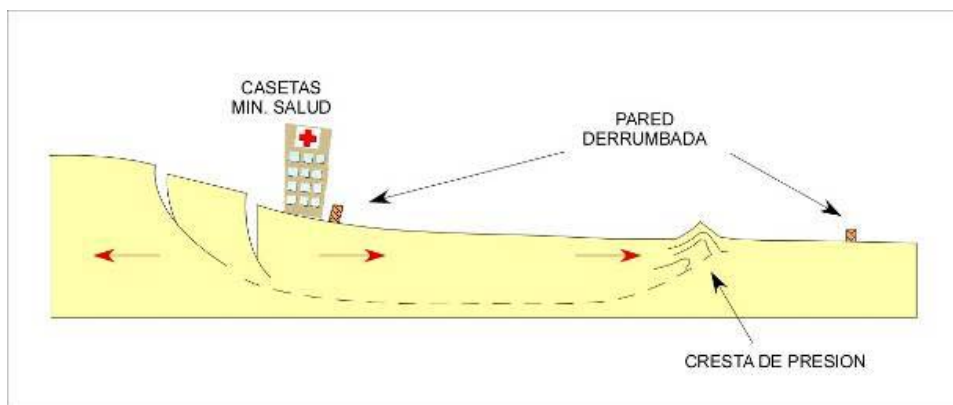


Figura 4.1: Crestas de presión. Sector Tupac Amaru. Sin escala

*Implicancias para el riesgo sísmico:* No se ha estudiado las condiciones del terreno subyacente a estas deformaciones, ni su posible vínculo con licuefacción, pero se considera que caben las mismas consideraciones efectuadas en el punto anterior.

#### 4.1.2 SECTOR CASALLA

##### **Localización:**

Las dislocaciones aquí reportadas se encuentran en la carretera hacia las ruinas pre-incas de Chongos en terrenos principalmente utilizados para el cultivo de algodón. Sus coordenadas UTM son 8484512 – 378592.

##### **Características generales:**

El sector analizado se encuentra comprendido dentro de la planicie aluvial del río Pisco, donde se desarrolla un campo de cultivo de algodón y actividades de pastoreo. Los depósitos predominantes corresponden a arenas finas de granulometría homogénea, con participación subordinada variable de limos y arcillas.

##### **Observaciones:**

Se han reconocido aquí dos tipos diferentes de dislocaciones del terreno. De este a oeste se observa primero un sector de extensión localizada relacionado con grietas extensionales de orientación promedio NE-SO y E-O. A sesenta y cinco metros del mismo siguiendo la dirección del camino, aparece un tren principal de lóbulos y crestas de presión compuesto por diferentes segmentos de orientación variable (NO-SE y NE-SO), pero con alineación general submeridiana.

En las rupturas extensionales se reconoce una geometría en “Y”, con un ramal principal de orientación promedio  $70^\circ$  y un desprendimiento secundario de geometría más compleja, pero con tendencia dominante E-O. Ambos sectores de hundimiento están conformados por numerosas grietas de extensión paralelas o subparalelas al rumbo de cada ramal. Cada una de estas grietas ha generado un basculamiento notable al terreno, el cual comúnmente alcanza los  $40^\circ$  hacia el SE. Como se aprecia en la Foto 4.9, el sector de hundimiento presenta una notable asimetría en su perfil transversal. Su geometría en sección presenta una escarpa principal que mira al oeste-noroeste y que genera en el camino un resalto vertical de 55 cm. (Fotos 4.9 y 4.10: escala es de 40 cm). Las escarpas secundarias presentan un resalto variable pero cuyos valores promedios oscilan entre 20

y 50 cm. (Foto 4.11: escala es de 30 cm). Dichas escarpas secundarias también presentan cara libre al oeste y pueden definirse como fracturas sintéticas a la vertical.



Foto 4.9: Notable asimetría en el perfil transversal del hundimiento.



Foto 4.10: Escarpa principal con salto de 55 cm., mirando al oeste.





Foto 4.11: Escarpas menores con diferentes alturas de saltos

Las grietas asociadas a dichas escarpas secundarias son bastante abiertas y secas, con planos irregulares, no habiéndose observado evidencias de cizalla. Las aperturas promedio son de 55 cm., aunque se han observado separaciones de hasta 90 cm.

El borde occidental de esta zona de hundimiento está mucho menos definido (Foto 4.12) y por lo general no existe definida una escarpa marginal antitética. A lo largo de este sector se han canalizado los flujos asociados a surgencias<sup>2</sup> post-evento, tal como ha quedado representado por las costras de fango destacadas por un color marrón claro, como se aprecia en las Fotos 4.9 y 4.12.



Foto 4.12: Aparente componente de desplazamiento de rumbo dextral.

<sup>2</sup> Surgencia: Emanaciones de aguas, lodo y/o arena por efecto de la licuación de suelos durante el sismo.

Asociado a esta estructura puede apreciarse una aparente componente de desplazamiento de rumbo dextral (Foto 4.12) en los surcos de cultivo. Se considera que ello es debido a la orientación oblicua de los surcos respecto a las grietas extensionales (Figura 4.2) y no a un movimiento de desplazamiento de rumbo.

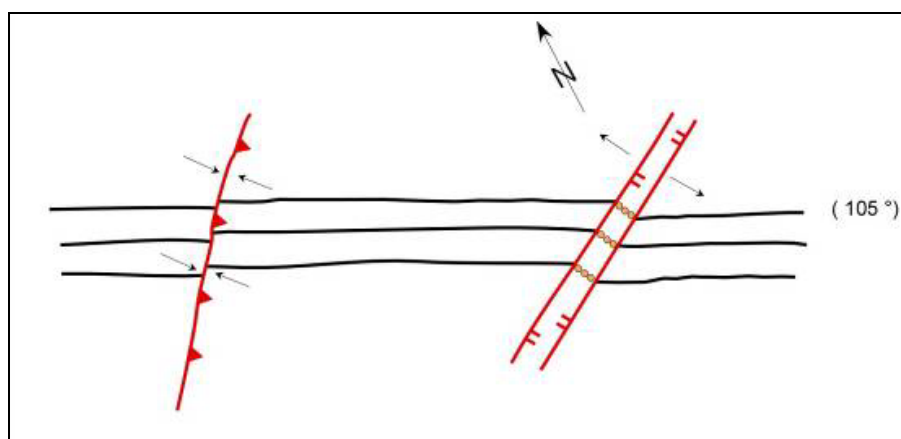


Figura 4.2: Perfil esquemático de la deformación en Casalla. Sin escala

La segunda estructura referida puede caracterizarse como una cresta de presión, donde se reconocen abovedamientos y rupturas acompañantes típicas de acortamientos concentrados. En ellas, el desnivel promedio respecto a la altura del terreno no afectado es de 50 cm. (Foto 4.13), pero se reconocen desniveles que alcanzan hasta 1,05 m. Esta estructura presenta el alineamiento de dos o más lóbulos de presión subparalelos (Foto 4.14). En algunos casos, cuando el acortamiento no ha sido tan severo, su morfología se limita a un abovedamiento de simetría variable, con grietas extensionales en su sector axial (Foto 4.15). Pero cuando el acortamiento ha sido más importante, el terreno se presenta desagregado en terrones (Foto 4.13). Puede reconocerse la magnitud del acortamiento utilizando la distancia promedio de las plantas de algodón (70 cm.). Con tal criterio, se han determinado acortamientos de 80 cm. en el plano horizontal (Foto 4.16).



Foto 4.13: Desagregación en terrenos producto de un acortamiento más importante.

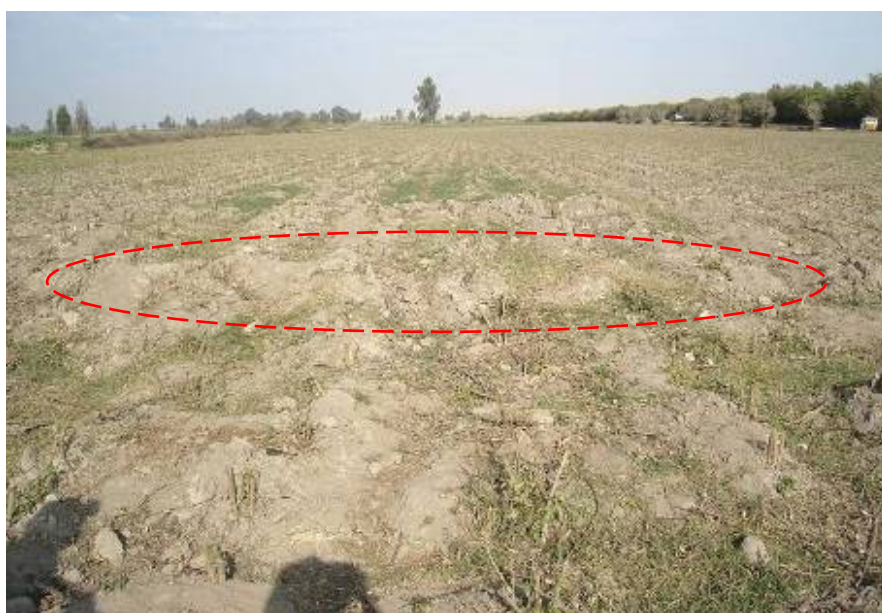


Foto 4.14: Alineamiento de lóbulos de presión.



Foto 4.15: Calicata que no revelo mayores detalles del origen de la deformación.



Foto 4.16: Marcado con la elipse blanca se ve la posición original de la planta, y en líneas punteadas su desplazamiento producto de la deformación.

Acompañan también a esta deformación fracturas oblicuas y transversales al tren principal que actúan como fallas de desgarre o grietas de extensión (Foto 4.17).



Foto 4.17: Fracturas oblicuas y transversales que actúan como fallas de desgarre.

Una calicata efectuada perpendicularmente a estos lóbulos, no reveló gran detalle de su geometría interna debido a lo masivo de los sedimentos (Foto 4.15).

Asociados a esta estructura, se han medido componentes aparentes de desplazamiento de rumbo sinistral respecto a la posición de los surcos de cultivo (Foto 4.18). Sin embargo, al igual que en caso anterior, la aparente componente sinistral se considera asociada al acortamiento oblicuo a la posición de los surcos (Figura II).



Foto 4.18: Componentes aparentes de desplazamiento de rumbo sinistral.

**Interpretación:**

La asociación de ambas estructuras sugiere un proceso de expansión lateral con hundimiento asociado. Este movimiento parece haber sido transmitido tangencialmente al terreno y resuelto mediante compresión localizada. (Figura 4.3).

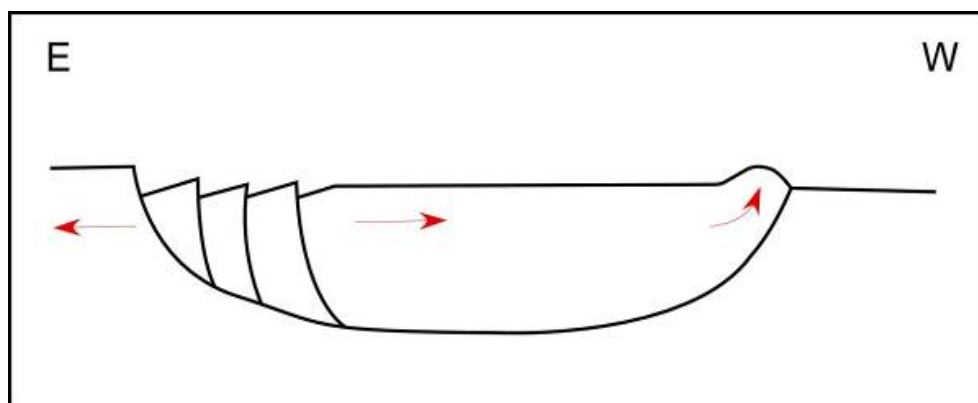


Figura 4.3: Perfil interpretativo del sector de Casalla. Sin escala.

**Implicancias para el riesgo sísmico:**

Si bien los moradores de la zona han indicado que este tipo de rupturas han ocurrido también en parcelas aledañas al sector que se describe, las dislocaciones descritas constituyen un fenómeno aparentemente local y aislado. No se han observado expresiones superficiales de licuefacción, pero no se descarta la ocurrencia de las mismas.

Esencialmente, la documentación de estos fenómenos señala la capacidad de este tipo de terrenos para generar rupturas secundarias, con un importante grado de hundimiento asociado a extensión. La magnitud de este proceso ha quedado señalado por la notoria extensión de grietas muy abiertas y el importante basculamiento del terreno involucrado.

Por tal razón resulta importante evaluar mediante ensayos in situ el comportamiento mecánico de estos suelos ante alternativas de instalación de infraestructuras o usos del terreno diferente al actual.

**4.1.3 OTRAS ZONAS CON DEFORMACIONES SUPERFICIALES:**

Entre las otros sectores fuera de las áreas urbanas principalmente descritas, donde se reconocieron procesos importantes de deformaciones superficiales generadas por el sismo del 15 de agosto, como puente Huamaní, Tambo de Mora y Penal, se pueden mencionar aquellas ubicadas tanto cerca al litoral entre en la zona de San Clemente y alrededores.

Estas áreas muestran deformaciones asociadas a procesos de licuación o licuefacción de suelos arenosos, sobre terrenos aluviales, donde el nivel freático se encuentra muy superficial y/o están relacionados a zonas de humedales o en los bordes de estos, a nivel de cauce.

Estos sectores se detallan a continuación.

**Sector de La Hoyada y Polvareda-Santa Cruz, Pampa Camacho, San Martín y Callejón (cerca de San Clemente y Chincha baja):**

Sectores ubicados al oeste y noroeste de San Clemente en dirección hacia Chincha Baja.

Características generales: Las deformaciones se encuentran dispersas tanto en los bordes de las zonas de humedales o bofedales naturales, zonas cercanas al litoral, terrenos dedicados a la agricultura donde predominan cultivos de algodón, maizales, etc., principalmente rellenos antrópicos a lo largo de los canales o acequias o límites de parcelas de cultivos.

Las deformaciones en estos sectores se catalogan como agrietamientos, asentamientos o hundimientos, desplazamientos laterales (“Lateral Spreads”).

Observaciones e interpretaciones: En el sector de Salinas / La Hoyada se observan agrietamientos y asentamientos de tierras tipo “roll over” en el borde de humedales. Predomina la dirección de agrietamientos Norte-Sur.

En este sector se aprecia una zona fuertemente agrietada, donde los agrietamientos presentan un azimut N 15°, y algunos N 90°. Los saltos de terreno oscilan entre pocos centímetros hasta 0,40-0,50 m., basculamientos del terreno. Las aberturas que predominan son del orden de 5-15 cm.

El suelo existente es limoarenoso, con presencia de sales, y la presencia de estas deformaciones está relacionada a la zona de humedales adyacente (Foto 4.19).

**Sectores de Cabeza de Toro, Toscanía, Chongos, Manrique, Cuchilla Vieja, San Juan de Córdor, etc., en el valle de Pisco:**

Dentro del valle inferior del río Pisco aguas arriba de puente Huamaní, y a ambos márgenes, se aprecian otras deformaciones, además de las ya descritas en Tupac Amaru. Se encuentra aproximadamente entre 145-150 Km. al sureste del epicentro.

Características Generales: Las deformaciones se encuentran tanto en la margen izquierda y derecha del río. Se dieron una serie de modificaciones en el relieve en zonas dispersas, tanto en el cauce del río (Sector Monte Fuerte), áreas de terrazas adyacentes y zona de humedales (Toscanía, José Olaya, Monte Fuerte, Cabeza de Toro, José Olaya).

Las deformaciones observadas en estos sectores se catalogan como agrietamientos o hundimientos y también desplazamientos laterales (Sector San Juan de Córdor).

Observaciones e Interpretaciones: Las deformaciones encontradas en estos sectores están asociadas a depósitos aluviales con niveles freáticos superficiales; sin embargo sugiere la presencia de capas superficiales de la Formación Pisco susceptibles a licuefacción.

En el sector de Monte Fuerte, adyacente al cauce del río se tiene la presencia de fracturas de dirección N95°, paralela al río. La licuefacción se manifiesta con volcanes de lodo cuyos diámetros son de 0,10 - 0,20 m

El sector de Cuchilla Vieja, se presentan asentamientos de terreno por licuación. Salto de 0,30 a 0,45 m, abertura de 10 a 25 cm. y profundidad de 0,50 a 0,60 m; zona húmeda. Las fracturas de forma sinuosa, tienen un azimut N75°, con desplazamiento de 0,50 m. Sus efectos son distinguibles en una vivienda que se asentada así como a lo largo de la trocha carrozable.

En el sector de San Juan del Cóndor, en la margen derecha del río Pisco, específicamente sobre unos terrenos de algodinales, con ligera pendiente, y con presencia de aguas muy superficiales, se presentan agrietamientos y asentamientos paralelos en el terreno, de dirección N120°, y desplazamientos máximos de hasta 1 m. Por su forma y distribución se asemeja a un deslizamiento traslacional.

En la margen derecha del río Pisco, y a 6,5 Km. del cauce, en el área de Irrigación de cabeza de Toro, se reportaron una serie de deformaciones y procesos co-sísmicos, con emisión agua, y formación de volcanes de lodo, agrietamientos en los terrenos de cultivos.

Los agrietamientos mantienen una dirección predominante N-S, en terrenos de maizales, colapso de drenes de agua.



Foto 4.19: Sector de La Hoyada donde se distinguen fuertes agrietamientos de tierras adyacentes a una zona de humedales.

Hacia la zona de litoral en los sectores de Camacho / San Martín, Callejón se tienen terrenos de cultivos salitrosos, donde se cultiva generalmente algodón. En los límites de las parcelas los fuertes agrietamientos son



comunes en el terreno, así como se encontró zonas con huellas de emanación de agua y lodo a lo largo de volcanes de lodo o agrietamientos dispersos.

Las agrietamientos observadas en Camacho tienen un azimut N 90°, y el salto mayor del terreno es de 0,50 m (Coordenadas 8496266 N y 3733374 E). En el sector de Callejón (Camacho), ocurren volcanes de lodo e inclinación en los árboles producto del sacudimiento sísmico y licuefacción. (Fotos de 4.20 a 4.26).



Foto 4.20: Procesos de licuación de suelos con generación de fuertes agrietamientos en los límites de parcelas de chacras, en el sector entre Camacho y San Martín.



Foto 4.2.1: Sector de Callejón evidencias de licuación de suelos, agrietamientos y asentamientos de tierras y emanación de agua. Nótese en la vista la inclinación de los árboles en los linderos de las propiedades



Foto 4.22: Sector de Monte Fuerte, en el mismo cauce del río Pisco, con presencia de agrietamientos y manifestaciones de licuación de suelos, con volcanes de lodo. La foto es una toma panorámica en la margen izquierda del río Pisco, donde se señalan las zonas afectadas.



Foto 4.23: Agrietamientos en las trochas como indicios de licuación de suelos en el sector de Cuchilla Vieja.



Foto 4.24: Vista del sector de San Juan de Córdor. Terrenos de algodones afectados por fuertes agrietamientos en el terreno. Las deformaciones se catalogan como un deslizamiento traslacional y/o desplazamientos laterales.



Foto 4.25: Manifestaciones importantes de licuación de suelos, sobre extensas zonas de cultivos (aproximadamente 25 hectáreas), en la zona de Cabeza de Toro.



Foto 4.26: Agrietamientos en las chacras y en los canales en el sector de Cabeza de Toro, afectado por licuación de suelos.

En los sectores de Toscana, José Olaya, Manrique y Montalbán, se presentan agrietamientos, asentamientos en varios sectores de terrenos de cultivos, caminos o trochas carrozables, que constituyen los linderos de parcelas. Muchas de estas áreas fueron afectadas, incluyendo el cierre de acequias y afectación de caminos.

Las manifestaciones de licuación de suelos se dieron bajo la forma de expulsión de agua en grietas dispuestas en echelón y volcanes de lodo.

Las direcciones de agrietamientos presentan un rumbo principal N170° y fracturas conjugadas de rumbo N45° a N 65°. Las aberturas en el terreno así como la profundidad de estas son del orden de 1 m. Los volcanes de arena presentan diámetros entre 15 a 35 cm. (Fotos de 4.27 a 4.29)



Foto 4.27: Sector de Toscana/José Olaya. Terrenos de cultivo compuestos por suelos limo-arcillosos que muestran aberturas del terreno de hasta 1 m de ancho y profundidad.



Foto 4.28: Volcanes de lodo a lo largo de una grieta longitudinal en el sector de Manrique.



Foto 4.29: Toscanía, Montalbán y Manrique, se resaltan las zonas afectadas por licuación de suelos, donde incluye amplias zonas de cultivos, trochas carrozables y drenes de agua.

## 4.2 TSUMAMIS

### 4.2.1 CRONOLOGIA DE TSUNAMIS

A continuación se presenta la cronología de Tsunamis ocurridos a lo largo del litoral costero del Perú y que se resume en el **CUADRO N° 4.1**.

**9 de Julio de 1586:** Terremoto destructor en Lima, Callao, Chancay e Ica y Tsunami en la Costa. En el Callao el mar se retiró unos 14 m., e invadió posiblemente unos 250.0 m. de la orilla. En muchos lugares de la costa el mar penetró a tierra.

**24 de Noviembre de 1604:** Terremoto y Tsunami en el sur del Perú. En el puerto de Ilo salió la mar casi media legua valle arriba, igual en Camaná. En el puerto de Pisco se retiró el mar y volvió furiosamente a tierra, inundando todo el pueblo. En el Callao el mar no salió con tanta furia. En Camaná se ahogaron 40 personas y en Ilo 11.

**12 de Mayo de 1664:** Tsunami en la costa de Pisco, ocasionado por un sismo sentido en Ica con intensidad VI. El mar inundó la ciudad, hubo 70 muertos.

**20 de Octubre de 1687:** Se produjeron dos terremotos destructores en Lima, Callao, Chancay y Pisco. Uno ocurrió a las 4:30 a.m. y el otro a las 6:00 a.m. El Tsunami se produjo a la hora y media del primer sismo. Posiblemente el mar se retiró más de 2.50 Km., regresó y se precipitó como una ola gigantesca. Los estragos del Tsunami fueron grandes a lo largo de la costa entre Chancay y Arequipa. El puerto de Pisco destruido con el terremoto sufrió gran inundación y ruina. En el Callao murieron como 300 personas.

**10 de Febrero de 1716:** Tsunami en Pisco (Ica), por un sismo con epicentro cerca de la ciudad de Camaná (Arequipa), intensidad IX.

**28 de Octubre de 1746:** Un terremoto azotó Lima y pueblos vecinos. En el Callao de 5000 personas solo se salvaron 200. La ola marina sobrepasó los 10.0 m. Sufrió los efectos del Tsunami el Puerto de Pisco.

**13 de Agosto de 1868:** Gran terremoto destructor en el sur del Perú y Tsunami que causó estragos a lo largo de la Costa Peruana-Chilena, comprendida entre los paralelos 11° a 37° de latitud sur. En Pisco hubo un retroceso del mar de unos 400 m., barriando luego el tsunami su costa.

**1 de Abril de 1946:** Terremoto en Chile, Perú, Ecuador, y Colombia. Originó Tsunami destructivo que se sintió también en Alaska y Hawaii, perdidas por US \$ 25 000,000.

**15 de Agosto del 2007:** Tsunami en Pisco (Ica), por un sismo con epicentro a 60 Km. al nor-oeste, intensidad VIII.

#### CUADRO Nº 4.1

Cronología de tsunamis ocurridos en el territorio peruano

| FECHA      | HORA  | COORDENADAS EPICENTRO |          | LUGAR                 | MAGNITUD SISMO (Ms) | MAGNITUD TSUNAMI (mt) |
|------------|-------|-----------------------|----------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
|            |       | LAT. S°               | LONG. W° |                       |                     |                       |
| 10/07/1586 | 00:30 | 12.20                 | 77.70    | Costa de Lima         | 8.0                 | 3                     |
| 24/11/1604 | 18:30 | 18.00                 | 71.50    | Costa de Perú - Chile | 8.4                 | 3                     |
| 20/10/1687 | 11:00 | 13.00                 | 77.50    | Costa Sur de Lima     | 8.2                 | 3                     |
| 28/10/1746 | 03:31 | 11.60                 | 77.50    | Costa Norte de Lima   | 8.4                 | 3                     |
| 13/08/1868 | 21:45 | 18.50                 | 71.20    | Costa de Perú - Chile | 8.5                 | 3                     |

**Fuente :** INDECI. Mapa de peligros, plan de usos del suelo y propuestas de medidas de mitigación de los efectos producidos por desastres naturales de la ciudad de Pisco. Año 2001.

#### 4.2.2 EL TSUNAMI DEL 15 DE AGOSTO DEL 2007

EL 15 de agosto del 2007 se produjo un fuerte sismo de intensidad  $M_I = 7.0$  y catalogado también como  $M_w = 7.9$ , a una profundidad promedio de 40 Km. frente a las costas de Pisco (a 60 Km. del litoral). En estas condiciones, la formación de un tsunami fue eminente sin lograr consolidarse como de nivel desastroso. Según la escala de Inamura, el tsunami en general alcanzó el grado 1 (sin sobrepasar los 5 m de “run-up”), como así lo constata el informe post-tsunami de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú <sup>(3)</sup>(Agosto, 2007).

Sólo en algunos lugares el tsunami alcanzó grado 2 al alcanzar un promedio de altura de ola entre 5 y 10 m., como los casos de las playas Lagunillas y Yumaque, pertenecientes a la Reserva Nacional de Paracas, donde la condiciones del litoral (interior de una bahía) y la mayor dislocación local

entre placas producto del sismo en la zona de subducción (8 m de disloque) crearon olas muy altas.

En Pisco, según el informe citado y que se corroboró durante los trabajos de campo efectuados en Setiembre del 2007 por el equipo consultor INDECI-PNUD, el “run-up” obtuvo mediciones distintas según cada lugar del litoral:

Altura de 3.3 m. en las inmediaciones de la Urb. Almirante Miguel Grau, litoral norte de Pisco Playa, donde la intrusión de agua alcanzó aproximadamente 760 m. desde la orilla. Por lo tanto, la inundación para la zona citada alcanzó hasta la tercera hilera de manzanas que están paralelas y próximas al litoral.

Altura de 2.3 m. en las inmediaciones de la Capitanía de Pisco, litoral centro y sur de Pisco Playa, donde la intrusión de agua alcanzó aproximadamente 310 m. desde la orilla. Por lo tanto, la inundación para la zona citada logró afectar solo hasta la primera hilera de manzanas que están paralelas y próximas al litoral, hasta las calles Manuel Pardo y Demetrio Miranda que son continuadas.

Altura de 2.6 m. en las inmediaciones de la salida de Pisco hacia Paracas por la carretera asfaltada, donde la intrusión de agua alcanzó aproximadamente 137 m. desde la orilla. Por lo tanto, la inundación para la zona citada solo logró alcanzar las inmediaciones de la citada carretera

En San Andrés, el “run-up” estuvo entre 2.3 y 2.7 m. haciendo una intrusión entre 120 y 156 m. de longitud desde la orilla. El resultado de tal inundación fue la afectación hasta la segunda hilera de manzanas que están paralelas y próximas al litoral, cubriendo cuando menos la cuarta parte del área urbana total de San Andrés (la Plaza de armas se incluye en la zona afectada).

#### **4.2.3 PRINCIPALES PARÁMETROS DE LOS TSUNAMIS EN PISCO**

La ciudad de Pisco es susceptible a la ocurrencia de un Tsunami al estar ubicada en la zona costera peruana, tal como se demostró en el sismo reciente del 15 de agosto de 2007. Cabe resaltar que dicha ocurrencia puede ser debido a sismos propios de la subducción local (Tsunamis de origen local) o de procesos de subducción en otras latitudes del Océano Pacífico (Tsunamis de origen lejano). A continuación se procede a estimar los principales parámetros para los fines de prevención y protección ante los Tsunamis y que son: el tiempo de llegada de la primera ola y el límite de la zona inundable (“run-up”), siendo estas estimaciones complementadas y sustentadas por la información histórica de Tsunamis existentes para la ciudad de Pisco (incluido el sismo del 15/08/07).

Por estudios antecedentes es que se presenta la información del CUADRO Nº 4.2 con los parámetros mencionados para parte de nuestro litoral.



### CUADRO Nº 4.2

Parámetros resultantes para la prevención de tsunamis en el litoral peruano

| ESPACIO COSTERO                         | TIEMPO DE LLEGADA DE LA OLA (Minutos) | ALTURA PROMEDIO DEL “RUN-UP” (Metros) | ALCANCE DE LA ZONA INUNDABLE (Metros) |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| COSTA SUR<br>Tacna, Moquegua y Arequipa | 7 – 10                                | 9                                     | 400 – 500                             |
| COSTA CENTRO<br>Ica, Lima, Ancash       | 20 – 30                               | 6                                     | 600                                   |

**Fuente:** Kuroiwa, Julio. Reducción de desastres. Lima, 2002; DHA/INDECI. Tsunamis. Localities studied in Perú (1981-1994). Lima, 1995

Para el caso de la ciudad de Pisco se determinan los parámetros siguientes:

#### **Tiempo de llegada de la primera ola:**

De ocurrir un Tsunami de origen local, este debiera tocar la zona costera de Pisco en un lapso entre 7 y 10 minutos después de haber ocurrido un sismo significativo (de magnitud mayor a 6.5) según el cuadro anterior. En el sismo del 15 de agosto de 2007, la primera ola producida por el tsunami demoró entre 15 a 20 minutos para llegar a las costas de Pisco y San Andrés. Por lo tanto, se debe poner en alerta permanente a la población después de ocurrido tal movimiento telúrico en el lapso de los 20 minutos subsiguientes, primordialmente. De ser un Tsunami de origen lejano, este llegaría en un lapso de 15 a 20 horas, por lo que el sistema de alarma debe quedar preestablecido (la alarma natural al sentir el sismo no ocurre en este caso). Importante denotar que nuestro litoral presenta una marea del tipo semi-diurna (2 pleamares al día), por lo que la aparición de un tsunami dentro de los siguientes intervalos horarios de 4:00 a.m.-10:00 a.m. y 4:00 p.m.-10:00 p.m. (momentos de pleamar o marea alta) desplegaría todo su potencial destructivo.

#### **Delimitación de la zona de inundación:**

Existen diversos estudios anteriores (HIDRONAV, 2001 <sup>(4)</sup>) donde se ha identificado que la ola máxima que puede ocurrir puede sobrepasar la cota de 6 m.s.n.m, cálculo que incluye la estimación de altura de ola propia del tsunami, el nivel promedio de pleamares superiores y la altura de ola de braveza. No obstante, el evento del sismo del 15 de agosto de 2007 ha puesto en manifiesto que la ola real estuvo alrededor de los 3 m.s.n.m., aún cuando se efectuó en momento de pleamar (18:40 hrs.). Siendo el tsunami reciente producto de un sismo Mw=7.9, con intensidad VIII MM, y de aceleración mayor a 500 gales, se llega a catalogarlo como no muy frecuente por medio de las aceleraciones dadas, aún filtrando los efectos de amplificación sísmica (tiempo de retorno entre 400 y 500 años), pero probable de ser igualado en el futuro. Entonces, se estima que la zona muy susceptible a una inundación por tsunamis es aquella que está entre 0 y 3 m.s.n.m., a lo largo del área de estudio. Las áreas por encima de los 3 m.s.n.m. se escogen como de transición: Entre 3 a 5 m.s.n.m. con una alta a media probabilidad de ser inundadas; entre 5 a 6 m.s.n.m. con una baja probabilidad y por encima de los 6 m.s.n.m. como zonas no inundables ante la ocurrencia de un Tsunami.

En el Mapa 4.1 se aprecia las zonas que quedarían inundadas ante la ocurrencia de Tsunamis en la ciudad de Pisco.

## 5.0 ESTUDIOS BÁSICOS

### 5.1 ASPECTOS GEOLÓGICO - GEOMORFOLÓGICOS

La geología de Pisco presenta unidades estratigráficas y geomorfológicas variadas y de comportamiento mecánico y sísmico igualmente variadas. Se ha realizado un levantamiento geológico-geomorfológico a escala 1:10,000 con dos etapas de trabajo, una en gabinete a partir de fotografías aéreas e imágenes satélites, y la otra de levantamiento en campo.

Pisco se sitúa sobre depósitos fluviales que se han depositado cerca al mar formando un gran cono donde se distinguen varias terrazas fluviales y marinas así como depósitos eólicos, todos sobreyaciendo a las formaciones Pisco, Huamaní y Cañete. Estas últimas unidades resaltan por que se presentan en lomadas o cerros que sobresalen al paisaje casi plano conformado por terrazas o campos de dunas. Ver Mapa N° 5.1

#### 5.1.1 ESTRATIGRAFIA

Para una mejor comprensión se presentan la descripción estratigráfica y geomorfológica, particularmente para los depósitos recientes.

##### **Formación Pisco (Mio-Plioceno):**

La Formación Pisco aflora en la localidad de Pisco y alrededores (San Clemente, y Tupac Amaru) de donde proviene su denominación. Se presenta de manera discontinua desde Pisco hasta Yauca (Arequipa) a lo largo de 325 km, paralela a la línea de costa y al Este hasta un máximo de 50 km, a la altura de Nazca y Palpa. Los sedimentos de esta unidad corresponden a depósitos de una cuenca sedimentaria marina y continental.

En la zona de estudio los afloramientos son escasos y están al Este de Pisco en la zona de San Andrés del Valle y en Tupac Amaru, cuyos afloramientos se prolongan a San Miguel y hasta San Clemente, en todos estos sitios formando lomadas.

En Pisco y alrededores, esta unidad está compuesta, a la base por diatomitas blancas intercaladas con limo-arcillitas blanquecinas, lutitas diatomíticas, mientras que en la parte superior por areniscas finas poco compactas, con nódulos de arenas de 1 a 2 cm de diámetro (Foto 5.1 y 5.2). El espesor promedio aflorante es de 80 m. Estas rocas se han depositado bajo el nivel mar.

Las rocas se hallan fracturas, alteradas e intemperizadas por lo que sus características mecánicas son malas. En efecto, las diatomitas, limos y arcillas se comportan de manera plástica y expansiva sobretodo en presencia de agua. Esto se puede ver en San Clemente, donde por efecto del sismo del 15 de agosto, las construcciones realizadas sobre diatomitas han colapsado, incluyendo las de concreto.

Los estratos de la Formación Pisco no están horizontales sino inclinados producto de la deformación que han sufrido las rocas. Así en San Clemente se presenta un sinclinal en cuyos flancos aflora la Formación Pisco y en el núcleo la Formación Cañete. En la zona de San Clemente donde fue levantada la columna estratigráfica las capas buzanan preferentemente hacia el E en promedio con 50° (Figura 5.1). Este buzamiento relativamente alto

que difiere del buzamiento de la formación a nivel regional, se debe a la existencia de una flexura muy marcada observada en el Puente Huamaní cuya génesis se le asocia a una falla inversa sinsedimentaria a lo largo de toda la zona (Machare, 1981). Es por el buzamiento y la deformación que estos afloramientos se meten en profundidad y se hallan bajo la ciudad Pisco.



Foto 5.1: Vista del afloramiento de la Formación Pisco donde se levanto la columna estratigráfica, al W de San Clemente.



Foto 5.2: Vista de la Formación Pisco al norte del poblado de San Miguel.

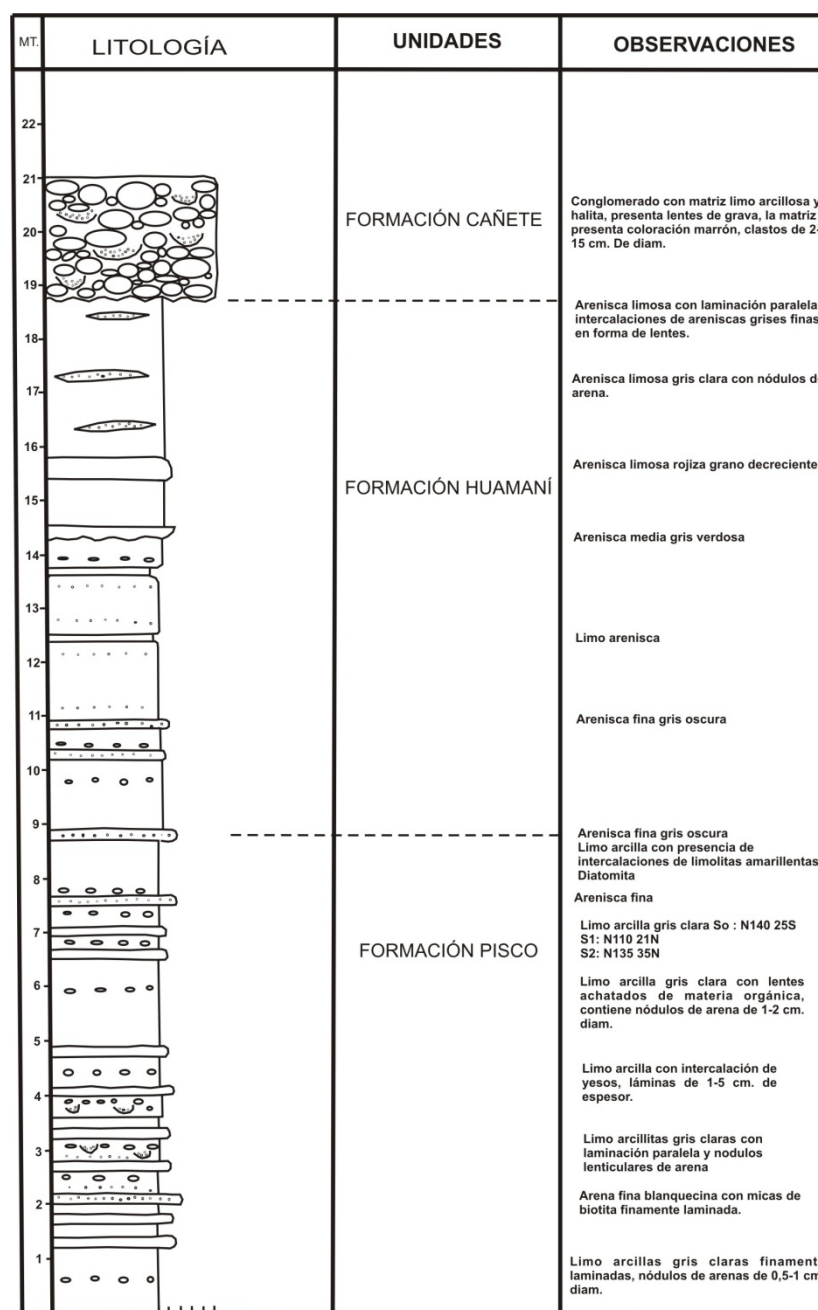


Figura 5.1: Columna estratigráfica en la margen derecha del río Pisco, hacia el W de San Clemente.

### Formación Huamaní (Plioceno superior):

La Formación Huamaní sobreyace concordantemente a la Formación Pisco y aflora en Tupac Amaru y principalmente cerca al puente Huamaní de donde proviene su nombre. Está constituida por areniscas arcillosas, de grano fino que alternan con arcillas y con niveles de grava fina. Estas rocas se han depositado en un ambiente marino somero con mucha influencia terrígena continental cercana, que indica un rápido levantamiento de la cuenca (Machare, 1981).

Las secuencias de areniscas son de color amarillo, se hallan intercaladas con niveles de gravas cuya matriz es limo arcillosa; y con niveles de conglomerados con clastos de 3 a 5 cm. de diámetro dentro de una matriz limosa. Es frecuente encontrar niveles de sal (halita) o a manera de costras,

con espesores de hasta 50 cm. Estos niveles nos permiten separar la Formación Huamaní de la Formación Cañete. El espesor de la unidad es variable pero en promedio se puede considerar unos 15 m.

Estas rocas se hallan igualmente fracturas, alteradas y ocasionalmente muy intemperizadas. Sus características mecánicas son malas a regulares. La presencia de sal que puede estar también como cemento en los conglomerados, le da una compactación fuerte, por eso que los pobladores de San Clemente, al hacer sus cimentaciones y encontrar estos niveles muy duros, le echan agua fría o caliente para poder disolverlas y suavizarlas y recién hacer sus zanjas; por lo que se deduce que en condiciones húmedas, estas rocas son resistencia a la compresión simple blanda, Ver Foto 5.3 y Figura 5.2



Foto 5.3: Vista de Afloramiento de la Formación Huamaní, infrayacente en discordancia erosiva a los conglomerados de la Formación Cañete.

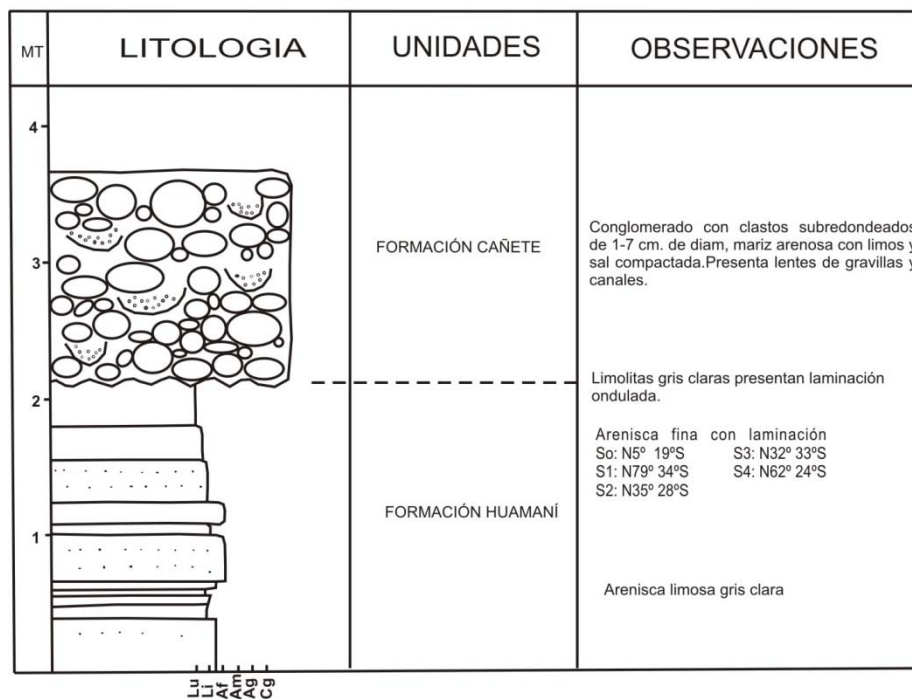


Figura 5.2: Columna estratigráfica en la entrada de San Clemente.

### **Formación Cañete (Pleistoceno):**

La Formación Cañete aflora principalmente en San Clemente donde sobreyace a la Formación Huamaní o directamente a la Formación Pisco a través de una discordancia erosional. Esta compuesta principalmente por conglomerados de origen fluvial. Los clastos son redondeados a sub-redondeados, con diámetros de 1 a 7 cm en una matriz areno-limosa y ocasionalmente sal como cemento. Esta unidad se caracteriza por ser muy compacta, a excepción de los afloramientos superiores en las cumbres de las lomadas donde se hallan muy intemperizadas y los clastos sueltos. El espesor medio es de 12 m.

Se presentan medianamente consolidados a consolidados y reúnen buenas características como terrenos de fundación.

### **Depósitos eólicos (Cuaternario reciente):**

Son depósitos de arenas depositadas por el viento y pueden tener forma de dunas. Estos se localizan ampliamente en Tupac Amaru y su prolongación al sur, donde sobreyacen, sea sobre la Formación Pisco o sobre depósitos de las terrazas Tf-1 y Tf-2. Igualmente se presentan como cuerpos pequeños con una longitud de 100 a 200 m, sobreyaciendo a depósitos de la Terraza Tf-2e.

Están compuestos por arenas sueltas con poco o nada de matriz, por lo que sus características mecánicas son malas ya que pueden licuarse muy fácilmente en presencia de agua.

En el campo se han podido identificar dos tipos de depósitos eólicos

Dunas antiguas asociadas a cubierta eólica delgada (Q-e<sub>1</sub>): Estas dunas están distribuidas sobre la terraza fluvial Tf-2 de manera aislada y de forma irregular, conformada de arenas y limos, la mayoría de estas dunas no son activas (no tienen movimiento) pues tienen barreras naturales y antrópicas que en muchos casos han modificado la forma original de las dunas.

Dunas y cubierta eólica activa (Q-e<sub>0</sub>): Caracterizada por ser activas, y de formas regulares a manera de una gran cubierta que se extiende bordeando y cubriendo los afloramientos de la Formación Pisco. Esto se puede observar en el asentamiento humano de Túpac Amaru, prolongándose hacia el sur aparentemente sobre la terraza fluvial Tf-2.

### **Depósitos fluviales:**

Son los depósitos dejados por los ríos y que ahora se presentan a manera de terrazas. En la zona de estudio se han identificado tres terrazas: T0, T1 y T2

Terraza T0: Corresponde al lecho actual del río Pisco, tiene un ancho entre 200 y 300 m, aunque se angosta en el Puente Huamaní a solo 50 m. Este espacio es ocupado por el río en época de lluvias. Está conformada por conglomerados fluviales con una matriz de arenas y limos. Son materiales poco o nada compactos y no recomendables para hacer construcciones en este espacio del río, por el peligro a inundaciones y también a efectos sísmicos. Ver Foto N° 5.4



Foto 5.4: Vista panorámica de la terraza fluvial T-0 en el puente Huamaní.

Terraza T1: Ubicada a una altura de aproximadamente un metro del lecho actual del río. El ancho es variable y va de unos 3 km a ambos márgenes del río Pisco, cerca al mar, hasta cero en la margen derecha en el Puente Huamaní. La litología predominantemente es limo arcillosos, lentes de arenas y en menor proporción gravas con clastos de hasta 8 cm de diámetro, sub-angulosos dentro de una matriz limosa (Fotos 5.5 y 5.6).

La mitad norte de la ciudad de Pisco se ha fundado sobre estos materiales finos de la Terraza Tf-1 que tienen características mecánicas malas. Igualmente, la mayoría de terrenos de cultivo de la zona yacen sobre esta terraza. Ver Figura 5.3



Fotos 5.5 y 5.6: Terraza Fluvial T1, Alto el Molino.

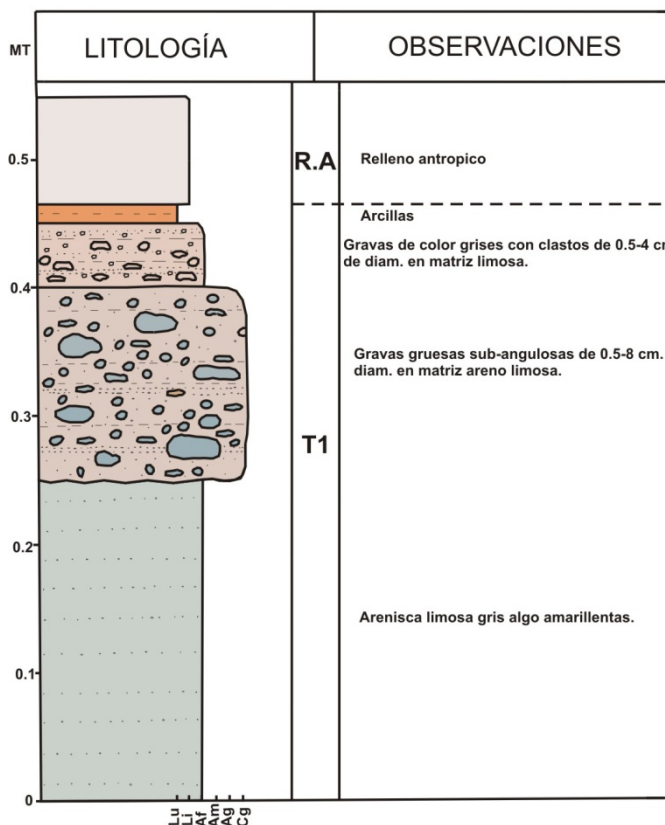


Figura 5.3. Columna estratigráfica T1

Terraza T2: La terraza fluvial T-2 tiene un desnivel variable respecto a T-1, desde 1 hasta aproximadamente 6 m, presentando una gran extensión.

La composición litológica de esta terraza es variada, así tenemos, por una parte limos arenosos de características mecánicas regulares a malas, y por otra parte zonas con predominancia de gravas de buen comportamiento mecánico. La parte mitad sur de la ciudad de Pisco se emplaza sobre depósitos de gravas de esta terraza y la parte central sobre limos arenosos. Estos cambios litológicos coinciden en gran medida con los daños sísmicos en la ciudad de Pisco, en respuesta a las características mecánicas de los depósitos mencionados.

Los conglomerados tienen clastos redondeados a subredondeados, con diámetros de 1 a 15 cm en una matriz limoarcillosa, intercalado con lentes de arena. El espesor aflorante varía de 1 a 6 m pero en el subsuelo puede pasar los 20 m. Ver Fotos N° 5.7 y Figura N° 5.4





Fotos 5.7: Terraza Fluvial T2, en Aceros Arequipa.

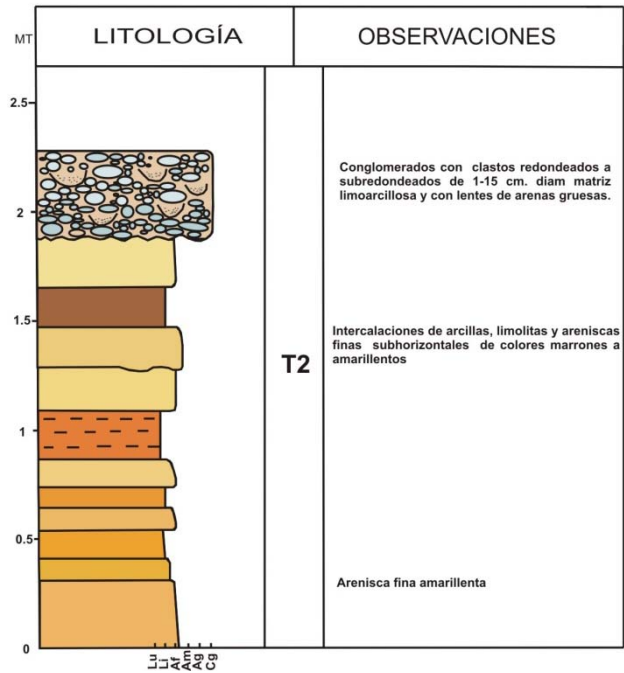


Figura 5.4: Columna estratigráfica T2

#### Depósitos marinos:

A partir de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y trabajo de campo, en la zona litoral de Pisco, se han podido identificar tres terrazas marinas (Qm-1a, Qm-1b, Qm-1c). En general, estas terrazas están constituidas casi siempre por arena de playa mal clasificada mezclada con fragmentos de concha marina; se hallan casi siempre saturadas de agua y por lo tanto tienen características mecánicas malas.

#### Humedales

Los humedales son definidos aquí como zonas donde la superficie se satura permanentemente de agua. Así se han cartografiado humedales al noroeste de San Clemente (Foto 5.8), en Pisco y Túpac Amaru. En muchos casos estos humedales han sido, y aun siguen siendo rellenos por material de desmonte, para construir viviendas, constituyendo así zonas potencialmente altas a los sismos.



Foto 5.8: Humedal, en la entrada de San Clemente.

### **Depósitos antropicos**

Son aquellos depósitos de escombros que han sido utilizados por el hombre, para rellenar algunas depresiones o tapar zonas húmedas y poder realizar sus construcciones. Este material poco compacto y de composición variable, desde arcillas gravosas o arenas, son de muy mala calidad mecánica ya que durante un sismo son las que muestran generalmente más daño, como lo ocurrido en la ciudad de Moquegua el año 2002. Estos depósitos se localizan en Pisco Playa, Tupac Amaru y en la zona de el Molino. Ver Foto 5.9



Foto 5.9: Relleno, Pisco Playa

## **5.1.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

Los estratos de las formaciones Pisco, Huamaní y Cañete no están horizontales sino inclinados producto de la deformación que han sufrido estas las rocas. Así en San Clemente se presenta un sinclinal en cuyos flancos aflora la Formación Pisco y en el núcleo la Formación Cañete. Este sinclinal tiene una dirección norte-sur, pero que cambia hacia el sur donde se hace noroeste-sureste, aflorando solo el flanco oeste. La deformación de las capas formando estructuras es la causa de los relieves existentes que permiten aflorar estas formaciones.

Por otra parte, durante la cartografía se ha levantado sistemas de agrietamientos en los suelos producto o efecto del sismo, estos en general tienen direcciones norte-sur y aparentemente hay un control estructural de las

estructuras mayores. Es por el buzamiento y la deformación que estos afloramientos se meten en profundidad y se hallan bajo la ciudad Pisco. Ver Fotos N° 10 y 11

El sinclinal que se tiene en San Clemente, muestra que el flanco oeste tiene mayor inclinación de los estratos por comparación al flanco Este y esto se debería a la existencia de una flexura muy marcada observada en el Puente Huamaní cuya génesis se le asocia a una falla inversa sinsedimentaria a lo largo de toda la zona, pero que no sale a superficie (Machare, 1981).



Foto 5.10. Vista de fracturamiento de dirección N 170° observado en la carretera hacia Pisco



Foto 5.11. Salto de 10 cm. de falla a la derecha de la carretera hacia Pisco.

## 5.2 FORMACIONES SUPERFICIALES

El objetivo de este Capítulo, es individualizar, caracterizar, clasificar y representar cartográficamente los diversos tipos de materiales superficiales encontrados en el área de estudio, depósitos poco o nada coherentes, de naturaleza, espesor y extensión variables y sus límites, en algunos sectores, no están bien definidos.

### 5.2.1 ÁREA DE ESTUDIO

Esta zona se ubica de oeste a este sobre una faja litoral con playas angostas, acantilados y planicies costaneras disectadas por valles y terrazas. Localmente se aprecian zonas de humedales con nivel freático superficial y acumulaciones eólicas, hacia el sector sur sobresale una penillanura costanera compuesta por lomadas, pampas, colinas bajas y campos de dunas (INGEMMET, 2003). Comprende la ciudad de Pisco, los distritos de San Clemente, Tupac Amaru y sus alrededores.

En la ciudad de Pisco y sus alrededores los aspectos geológicos están ligados a la presencia de conglomerados alterados y areniscas de la Formación Cañete, así como diatomitas, limonitas y areniscas de la Formación Pisco (Mioceno-Plioceno), estas dos formaciones están unidas por un nivel transicional. En cuanto al tipo de suelos que componen la ciudad de Pisco predominan niveles de arena limosa, conglomerados alterados, así como áreas cubiertas por relleno antrópico.

Los materiales superficiales que cubren la mayor parte del área estudiada son de origen aluvial, relacionados a la evolución del río Pisco, así como a los materiales coluvio -aluviales provenientes de los abanicos y los conos de deyección situados en las proximidades. También se tiene la presencia importante de arenas eólicas localizadas en las afueras de la ciudad. Otros materiales como los limos y arcillas están distribuidos en menor proporción en el área de estudio.

Las diatomitas, lutitas y conglomerado alterado pertenecen al material superficial producto de la alteración de rocas preexistentes, estas se ubican en zonas urbanas importantes como San Clemente y Tupac Amaru.

### 5.2.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para realizar este estudio se hizo un trabajo de gabinete previo sobre fotografías aéreas de vuelo alto (1:54,000 aprox.) y mapas topográficos a escala 1:10,000 y 1:25,000. La salida de campo se realizó entre el 15 al 22 de setiembre del año en curso, en el se cartografió la geología y la geomorfología de la zona. También se realizaron perfiles en calicatas y zanjas ubicadas en el área de estudio. En el trabajo de gabinete posterior, se trabajó con la información de calicatas tanto de CESEL (27) e INDECI (29) e imágenes de satélites pancromáticas, posteriores al sismo, aportadas por CONIDA. Ver MAPA N° 5.2: Mapa de Materiales superficiales.

### 5.2.3 DESCRIPCIÓN

#### **Diatomitas – Lutitas (DL):**

Se presentan muy alterados y son producto de la meteorización y alteración de la Formación Pisco (Ver Mapa N° 5.1), son de color gris blanquecino,

formando suelos limosos muy finos y de consistencia blanda (ML). Dada su baja consistencia se puede excavar fácilmente con herramientas manuales. Se presentan en las localidades de Tupac Amaru y al Este San Clemente.

**Areniscas meteorizadas (AM):**

En el área de estudio, estos materiales areno limosos (SM) son producto de la alteración de la Formación Huamaní (Ver Mapa N° 2). Se presentan de color gris, sueltas a medianamente sueltas. Pueden presentar problemas como materiales de fundación en relación a la licuación, asentamientos y capacidad de carga. Se pueden excavar fácilmente con herramientas manuales. (Foto N° 5.12)



Foto N° 5.12: Secuencia que muestra al conglomerado alterado con matriz arenosa, cubriendo a las arenas poco compactas.

**Conglomerado alterado (CA):**

Conformado por materiales de origen fluvial relacionados a la Formación Cañete (Ver Mapa N° 2), compuestos por bloques sub redondeados de diámetro mayor entre 0,45 y 0,50 m, gravas, gravilla en una matriz arenosa, se localizan lentes de arenas mal gradadas. Se presentan de color gris a gris claras, sueltas a medianamente compactas, presencia de sales. Superficialmente pueden tener problemas por la falta de cohesión, se pueden excavar fácilmente con herramientas manuales de excavación y en algunos sectores mediante medios mecánicos (retroexcavadoras) (Fotos N° 5.13 y 5.14)



Foto N° 5.13: Asentamiento Humano en San Clemente



Foto N° 5.14: Las viviendas del Asentamiento Humano están ubicadas sobre materiales superficiales como el conglomerado alterado, nótese que bajo este se ubican diatomitas y lutitas

#### **Gravas (GP):**

Estos materiales se distribuyen de modo irregular al sureste de la Ciudad de Pisco, extendiéndose hacia el suroeste del área de estudio. Corresponden a las terrazas fluviales Tf-1 y Tf2-g (Ver Mapa N° 2). Son Cantos de hasta 0.30 m de diámetro y gravas redondeadas a sub redondeadas, pobremente gradadas, en una matriz arenosa; medianamente consolidados. Con una potencia entre 1.30. a 1.80 m. Generalmente ofrecen buenas características como material e fundación. Para su excavación es apropiado el empleo de medios mecánicos. (Foto N° 5.15)

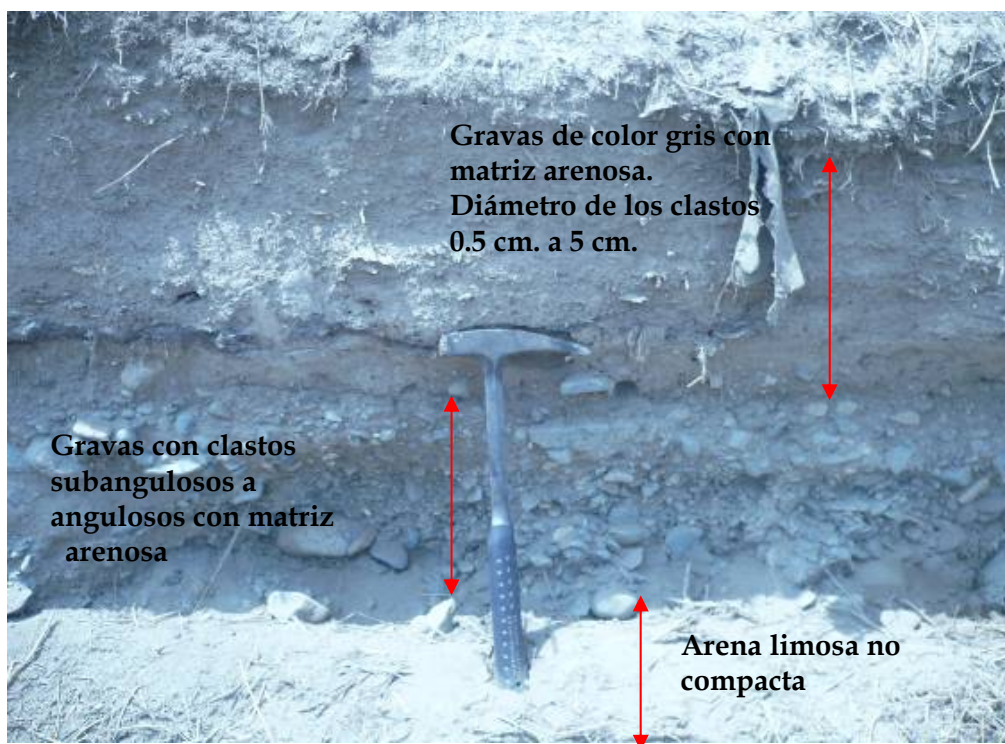


Foto 5.15: Gravas sobre arenas limosas, materiales localizados en los límites de terrazas.

**Arena limosa sobre gravas (SM/GP):**

Arenas de origen eólico (SM), sueltas, de color beige claro. Se localizan al suroeste de Pisco, cerca al litoral, con potencias entre 0,80 a 1,20 m. cubriendo a gravas arenosas medianamente consolidadas. Presentan problemas como materiales de fundación, especialmente con la susceptibilidad a la licuación. Se puede excavar fácilmente con herramientas manuales.

**Arena Limosa (SM):**

De origen eólico (SM), sueltas, de color beige claro. En algunos sectores cerca al litoral esta capa se torna muy delgada (0.40 cm., 0.90 cm.) cubriendo a gravas arenosas medianamente consolidadas. Estos materiales pueden presentar problemas como suelos de fundación en relación a la licuación, asentamientos y capacidad de carga, excavándose fácilmente con herramientas manuales de excavación. Se extiende de oeste a este, abarcando el centro de Pisco así como el distrito de Tupac Amaru y sectores al este de San Clemente. (Foto N° 5.16).



Foto N° 5.16: Arena limosa que se extiende desde los terrenos de cultivo cerca de Tupac Amaru y llega a cubrir un área grande en la ciudad de Pisco.

#### **Arenas medias sueltas (SP1):**

Corresponden a arenas finas a medias de origen eólico, de color gris oscuro a blanco. Presenta espesores variables (entre 8,0 a 10,00 m). y muestra la dirección de los vientos predominantes. Ocupan un área bastante grande al sur del área de estudio. Presentan problemas como materiales de fundación, especialmente en relación a la susceptibilidad de licuación y a su grado de compresibilidad y resistencia (asentamientos y capacidad de carga). Debido a que estos materiales no presentan ninguna cementación, se puede excavar fácilmente con herramientas manuales.

#### **Arena (SP2):**

Corresponden a arenas finas a medias, sueltas, de color gris, húmedas. Su origen a esta ligado a la acción marina y se ubican en el borde litoral. Presentan problemas como materiales de fundación, especialmente en relación a la susceptibilidad de licuación y a su grado de compresibilidad y resistencia (asentamientos y capacidad de carga). Ver Figura 5.5



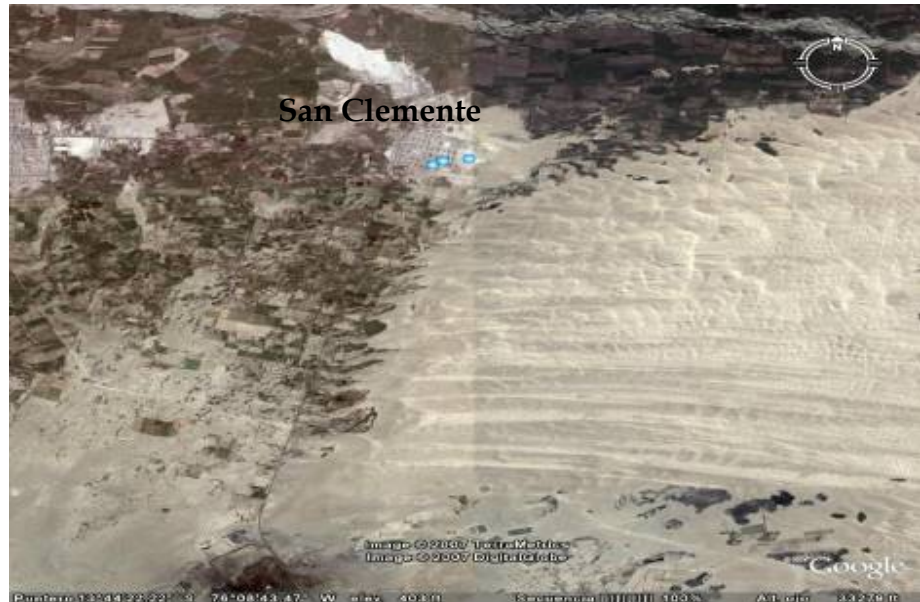


Figura 5.5: Imagen donde se muestra la disposición de la arena eólica en la zona de estudio (Fuente Google Earth)

**Limo arcillosos (ML1):**

Forman una una capa de limos orgánicos de coloración gris claro, de baja plasticidad, medianamente blandos. Estos alternan con gravas y gravillas inconsolidadas. Ocupa un área restringida en las cercanías del distrito de Tupac Amaru, así como en terrenos de cultivo en las afueras de ese distrito. Se pueden excavar fácilmente con herramientas manuales. (Foto N° 5.17)



Foto N° 5.17: Limo arcilloso en terrenos de cultivo en los alrededores del distrito de Tupac Amaru.

**Arcilla limosa (CL):**

Materiales de origen fluvial, de color marrón oscuro a beige claro, medianamente plásticas, húmedas, medianamente duras, con espesores que varían entre 0,40 y 0,50 m. Generalmente se alternan con gravas y gravilla. Se les localiza en la parte norte de la ciudad. Se pueden excavar fácilmente con herramientas manuales.

**Limo arenoso (ML2):**

Limos arenosos de color beige claro, de baja plasticidad, blandos y ligeramente húmedos. Se localizan al norte de la ciudad de Pisco cubriendo un pequeño sector, con espesores de hasta 2,50 m. Se pueden excavar fácilmente con herramientas manuales.

**Relleno antrópico (Ra):**

Corresponde a acumulaciones de materiales efectuados por el hombre, tales como terraplenes, basura, materiales demolición de construcciones antiguas, etc. Son depósitos heterogéneos sin selección, constituidos por diversos materiales que van desde gravas, arenas, finos hasta escombros, maderas y desechos. Estos materiales presentan mal comportamiento frente a sollicitaciones sísmicas y se agrava en sectores con presencia de agua subterránea superficial, se recomienda su remoción total. Se puede excavar fácilmente con herramientas manuales de excavación. Presentan espesores que varían entre 0.80 - 1.20 m. (Foto N° 5.18).

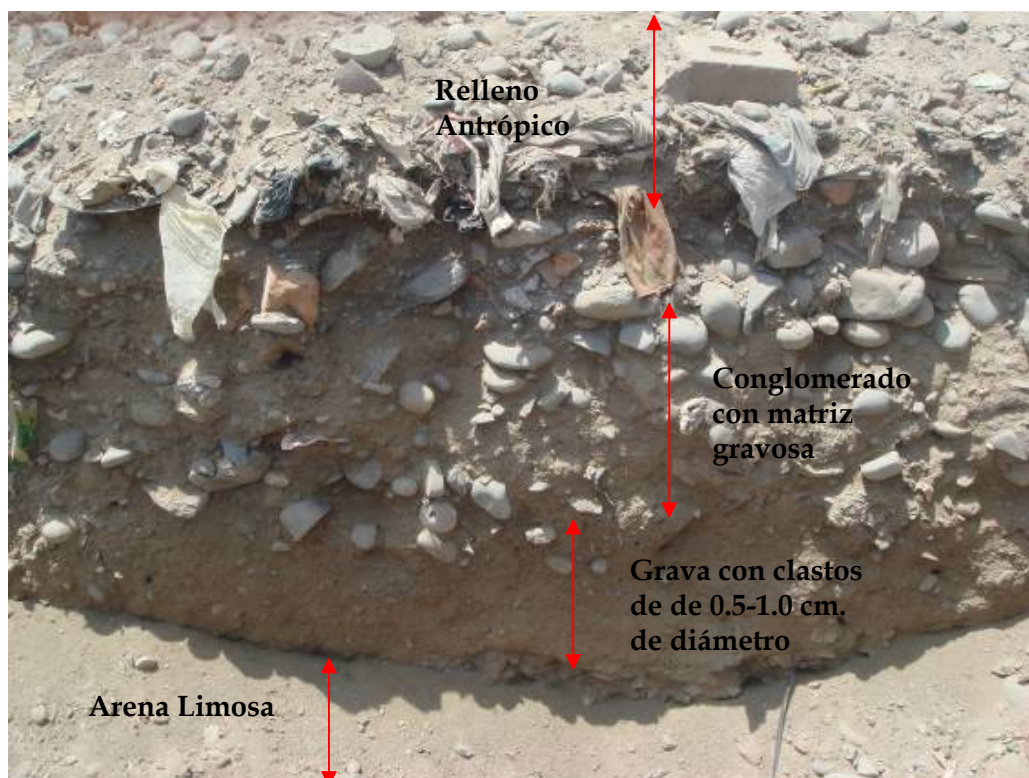


Foto N° 5.18: Secuencia donde se observa la composición y disposición del relleno antrópico: gravas, basura, desmonte, etc.

**Humedal (HUM):** Zonas donde los materiales superficiales se presentan totalmente saturados, debido a que el nivel freático alcanza la superficie. Se localizan en la zona de San Clemente, al Noreste de la ciudad de Pisco y en las afueras, colindante con los depósitos de arenas de origen eólico. Presentan problemas debido al nivel freático superficial. No se recomienda estos sectores como zonas de habilitación urbana. Ver Foto N° 5.19



Foto N° 5.19: Humedal, en la entrada de San clemente.

## 5.3 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

### 5.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES CURSOS DE AGUA

El río Pisco se caracteriza por ser un torrente de régimen variable. Las variaciones que presenta en sus descargas son notables tanto a nivel diario, como mensual y anual. En el periodo de avenidas (Noviembre a Marzo), el río Pisco presenta repuntes bastante altos y de muy corta duración, sucediéndose altibajos en sus descargas. Durante el periodo de estiaje (Mayo a Agosto), no llega a secarse, presentado durante los meses de Octubre, Noviembre y parte de Diciembre un ligero incremento en las descargas por el aporte de lagunas que se encuentran reguladas en la parte alta de la cuenca.

El régimen de descargas del río Pisco es una consecuencia directa del comportamiento de las precipitaciones que se presentan en su cuenca húmeda, siendo muy poco afectado por las obras de regulación construidas en la parte alta. La fisiografía de la cuenca receptora, caracterizada por fuertes pendientes y superficie accidentada, así como su bajo poder de retención debido a la escasa cobertura vegetal, determinan que la precipitación se convierta en forma inmediata en descarga superficial del río.

### 5.3.2 CAUDALES MÁXIMOS

El río Pisco cuenta sólo con la estación de aforos de Letrayoc, ubicada en la cabecera del valle agrícola. Aguas arriba de esta estación, existen aproximadamente unas 3,000 Has. bajo riego, cuyo consumo, si bien con poca incidencia, hace disminuir el caudal del escurrimiento natural de la cuenca. La estación de Letrayoc controla una cuenca de 3,496 Km<sup>2</sup> de extensión, que incluye la totalidad de la “cuenca húmeda”, delimitada inferiormente por la cota de los 2,500 m.s.n.m. y cuya extensión es de 2,736 Km<sup>2</sup>.

En el CUADRO N° 5.1 se presenta el registro de caudales medios, mínimos y máximos del río Pisco para el periodo comprendido entre 1922 a 1974; los mismos que fueron medidos en la estación hidrométrica Letrayoc, la cual tiene las siguientes características:

#### Ubicación

|                |                           |
|----------------|---------------------------|
| Latitud sur    | : 13° 40'                 |
| Longitud oeste | : 75° 46'                 |
| Altitud        | : 630.00 m.s.n.m.         |
| Área de cuenca | : 3,496.0 Km <sup>2</sup> |
| Fuente         | : SENAMHI                 |

### CUADRO Nº 5.1

Caudales anuales del rio Pisco para el periodo 1922-1974

| AÑO  | CAUDAL MEDIO (m3/s) | CAUDAL MAXIMO (m3/s) | CAUDAL MINIMO (m3/s) |
|------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1922 | 19.565              | 185.100              | 1.700                |
| 1923 | 19.596              | 234.000              | 1.940                |
| 1924 | 19.536              | 214.100              | 1.869                |
| 1926 | 20.085              | 208.000              | 2.005                |
| 1927 | 22.924              | 218.300              | 1.100                |
| 1928 | 22.875              | 215.200              | 1.400                |
| 1929 | 20.030              | 139.600              | 0.700                |
| 1930 | 17.755              | 136.400              | 0.600                |
| 1931 | 4.733               | 43.200               | 0.550                |
| 1932 | 33.824              | 300.000              | 0.600                |
| 1933 | 36.623              | 350.000              | 1.300                |
| 1934 | 38.931              | 264.500              | 1.480                |
| 1935 | 31.423              | 311.000              | 1.631                |
| 1936 | 24.869              | 301.000              | 1.125                |
| 1937 | 17.990              | 145.240              | 1.537                |
| 1938 | 25.993              | 253.700              | 1.020                |
| 1939 | 34.811              | 328.673              | 1.728                |
| 1940 | 18.478              | 155.341              | 1.358                |
| 1941 | 18.726              | 212.253              | 0.932                |
| 1942 | 22.690              | 326.791              | 1.106                |
| 1943 | 34.363              | 301.932              | 1.804                |
| 1944 | 25.959              | 250.009              | 1.385                |
| 1946 | 34.220              | 244.300              | 1.774                |
| 1947 | 16.758              | 136.774              | 1.304                |
| 1948 | 30.919              | 255.301              | 2.204                |
| 1950 | 22.301              | 156.325              | 1.590                |
| 1951 | 34.477              | 284.093              | 1.590                |
| 1952 | 29.313              | 209.983              | 1.891                |
| 1953 | 34.604              | 427.200              | 1.378                |
| 1954 | 29.582              | 536.641              | 1.405                |
| 1955 | 33.876              | 403.418              | 1.100                |
| 1956 | 26.107              | 330.993              | 0.791                |
| 1957 | 26.218              | 256.194              | 0.780                |
| 1958 | 14.426              | 169.093              | 0.674                |
| 1959 | 28.701              | 378.213              | 0.680                |
| 1960 | 18.641              | 312.848              | 0.953                |
| 1961 | 42.447              | 272.000              | 0.938                |
| 1962 | 32.353              | 423.057              | 1.553                |
| 1963 | 35.239              | 231.802              | 1.407                |
| 1964 | 15.266              | 238.446              | 0.847                |
| 1965 | 13.550              | 162.438              | 0.977                |
| 1966 | 17.741              | 192.298              | 0.707                |
| 1967 | 52.719              | 522.000              | 2.380                |
| 1968 | 15.207              | 184.179              | 1.423                |
| 1969 | 16.705              | 132.924              | 0.594                |
| 1970 | 25.543              | 454.309              | 1.109                |
| 1971 | 24.688              | 178.831              | 1.263                |
| 1972 | 44.144              | 509.872              | 1.698                |
| 1973 | s/d                 | 293.618              | s/d                  |
| 1974 | s/d                 | 194.675              | s/d                  |

**NOTA:** A partir del año 1948 se incrementan los caudales con aporte de agua de las lagunas.

La descarga máxima media del río Pisco en el periodo 1926 al 1974 ha sido de 536.64 m<sup>3</sup>/s en el año 1954 y la mínima mínimorum de 0.55 m<sup>3</sup>/s en el año 1931 y el caudal medio es de 25.61 m<sup>3</sup>/s.

Los caudales máximos o descargas excepcionales del río coinciden con los años en que se ha producido la presencia del Fenómeno del Niño como el registrado en 1998 que llegó hasta una descarga máxima de 800 m<sup>3</sup>/seg.

Para la estimación de los caudales máximos instantáneos del río Pisco hasta su confluencia con el Océano Pacífico, en donde se tiene un área de cuenca de 4,376.0 Km<sup>2</sup> se ha utilizado las ecuaciones regionales propuestas por el SENAMHI para el territorio peruano; habiéndose obtenido los resultados que se presentan en la Tabla N° 5.1.

**TABLA N° 5.1**  
 Caudales máximos instantáneos del río Pisco para diferentes periodos de retorno  
 (Según ecuaciones regionales del SENAMHI)

| PERIODO DE RETORNO<br>(años) | CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|------------------------------|--|
| 100                          | 1,624.91   |
| 200                          | 1,869.48   |
| 300                          | 2,012.48   |
| 400                          | 2,113.98   |
| 500                          | 2,192.79   |
| 1000                         | 2,437.36   |

De los resultados presentados en la Tabla anterior, se desprende que el caudal máximo instantáneo sobre el río Pisco a su paso por el área de estudio, con un periodo de retorno de 500 años es igual a 2,192.79 m<sup>3</sup>/s (Probabilidad de ocurrencia del 10% durante una vida útil de 50 años).

#### 5.4 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Estos aspectos inciden de manera directa e indirecta en las condiciones constructivas de los terrenos. Teniendo en cuenta la permeabilidad, drenaje y la profundidad de la napa freática.

Los trabajos realizados tuvieron los siguientes objetivos: Evaluar la variación del nivel freático causado por el sismo, elaborar el mapa hidrogeológico, elaborar el mapa de isopropundidad de agua subterránea y peligros por nivel freático superficial.

##### 5.4.1 METODOLOGÍA

###### Trabajo de Campo:

El trabajo de campo consistió en la medición de los niveles estáticos a los pozos que pertenecen a la red piezométrica; para efectuar las mediciones se hizo uso de la sonda eléctrica, así mismo se realizó la medición de los parámetros fisicoquímicos (pH, CE, T°, TDS ) de los pozos pertenecientes a

la red hidrogeoquímica. Estos pozos son administrados por el Instituto Nacional De Recursos Naturales (INRENA).

En esta fase se tuvo varios problemas, debido a que varios de los pozos de la red piezométrica se encuentran en constante operación imposibilitando la medición del nivel freático.

Trabajo de Gabinete:

En esta fase se procedió a consolidar la información obtenida de las mediciones hechas en campo y datos de calicatas y DPL realizados por INDECI y CESEL. Este trabajo consistió en la elaboración del mapa hidrogeológico con sus respectivas líneas hidroisohipsas y dirección de flujo del agua subterránea, además se elaboro el mapa de isoprofundidad de agua subterránea y peligro por nivel freático.

#### 5.4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

##### **Morfología del techo de la napa:**

En base a la información obtenida de la red piezométrica (INRENA, 2006) y de las calicatas y DPL de CESEL e INDECI, se realizó el estudio de la superficie piezométrica de los sectores de San Clemente, Tupac Amaru, Pisco y San Andrés, cuyos resultados se muestran en el Mapa Hidrogeológico (Mapa N° 5.3)

- **Sector I:** San Clemente

Ubicada en la parte nor-este de la zona de estudio. En este sector, el sentido del flujo predominante es de este a oeste con un gradiente hidráulico de 1.05% presentando cotas del nivel de agua que fluctúan entre 80 y 100 m.s.n.m.

- **Sector II:** Tupac Amaru

Comprende el distrito de Tupac Amaru y alrededores. En este sector, la orientación del flujo subterráneo es de nor-este a sur-oeste y presenta un gradiente hidráulico de 1.90% mientras que las cotas de los niveles de agua fluctúan de 60 y 80 m.s.n.m.

- **Sector III:** Pisco

El sentido de flujo del agua subterránea en este sector es de sur-este a nor-oeste y el gradiente hidráulico es de 0.7% mientras que las cotas de los niveles de agua fluctúan de 15 a 50 m.s.n.m.

- **Sector IV:** San Andrés

Esta zona ubicada al sur del distrito de Pisco presenta un sentido de flujo de agua subterránea predominantemente sur-este a nor-oeste y un gradiente hidráulico de 1.20%, las cotas del nivel del agua varían de 5 a 50 m.s.n.m.

### 5.4.3 PROFUNDIDAD DEL TECHO DE LA NAPA

La profundidad del nivel freático en la zona de estudio según los datos obtenidos de los piezómetros, calicatas, DPL e investigaciones geofísicas varían de 0.01 (zonas de humedales y terrazas marinas) a 13 m.

El análisis del Mapa de Isoprofundidad de Agua Subterránea, Mapa N° 5.4, es el siguiente:

- **Zona A:** En esta zona la profundidad del nivel freático fluctúa entre 0.01 m y 0.80 m, siendo muy desfavorables e casos de sismos por sus características de nivel freático alto.
- **Zona B:** La profundidad del nivel freático en esta zona se encuentra entre 0.80 m. y 1.20 m. Esta fluctuación del nivel freático caracteriza a esta zona como un lugar de alto riesgo.
- **Zona C:** En esta zona, las profundidades de las aguas subterráneas se ubican entre 1.20 m. y 1.40 m. siendo calificada como una zona de riesgo moderado.
- **Zona D:** La profundidad del nivel freático se encuentra entre 1.40 m. y 2.00 m. Zona de bajo riesgo por nivel freático.
- **Zona E:** Este sector ha sido calificado como una zona de muy bajo riesgo, puesto que la profundidad del nivel freático es mayor a 2.00 m.

### 5.4.4 FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO

Según el informe del Monitoreo de las Aguas Subterráneas en el Valle de Pisco (INRENA, 2006) las variaciones de los niveles freáticos generalmente se comportan de acuerdo a las estaciones del año; elevándose hacia la superficie mayormente en los meses de verano (enero – marzo), debido principalmente a las precipitaciones en las partes altas; sucediendo lo contrario en época de estiaje, donde los niveles de agua subterránea descienden.

Sin embargo las consecuencias del Sismo del 15 de Agosto son adversas ya que en algunos casos el nivel freático a descendido y en otros a aumentado como es el caso del Sector de San Clemente y en las Zonas de Playa. Esta variación del nivel freático por las sacudidas sísmicas está en función del acuífero ya que existen lugares en donde el acuífero es semiconfinado por niveles impermeables superiores.

### 5.4.5 VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

No se evidencia variación de la calidad del agua por efectos del sismo del día 15 de agosto de 2007, de acuerdo a las mediciones de campo de la Conductividad Eléctrica CE (contenido total de sales), y su comparación con los registros históricos en el mismo período.

Cabe señalar que los parámetros medidos en el campo se ha comparado con los registros de los meses de agosto de años anteriores de la base de datos del INRENA, con el fin de comparar, aproximadamente, la misma época del proceso de recarga del acuífero a lo largo del año.

Sin embargo el movimiento sísmico causó el arenamiento y asentamiento en algunos pozos del valle de Pisco, debido al descenso de la grava usada como filtro en dichos pozos.



## 5.5 CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS

Para realizar la instrumentación geofísica en la ciudad de Pisco, se utilizaron los siguientes equipos: un sismógrafo de banda ancha y alta sensibilidad GURALAP, para la medición de microtemores (ruido natural del suelo), un sismógrafo de refracción SmartSeis proporcionado por CESEL Ingenieros, para conocer la las capas de las que esta compuesto el suelo y el Georadar Pulse EKKO PRO, para determinar la profundidad del nivel freático y las capas superficiales del suelo. Ver Figura 5.6

Los sondeos eléctricos verticales (SEV), realizados por el Equipo Consultor de INDECI han alcanzado hasta una profundidad máxima de 10.0 m. y han permitido por correlaciones empíricas y por el uso de un método gráfico, la interpretación del tipo de suelo. Esto permite determinar con suficiente precisión ingenieril, el perfil del suelo hasta una profundidad máxima de 10.0 m. y que consiste predominantemente en una cobertura de arena limosa de un espesor entre 1.0 m. a 4.0 m. y que descansa sobre suelo gravo-arenoso de origen aluvial y que en algunos sectores muestra lentes erráticos de arena no mayores a 1.0 m. Los resultados de los sondeos eléctricos verticales (SEV) se presenta detalladamente en el ANEXO N° 01.

Los principales objetivos de estos trabajos fueron: instrumentar con equipos geofísicos la ciudad de Pisco, definir zonas con diferentes niveles de efectos de sitio y elaborar mapas de isofrecuencia y/o isoperiodo; identificar la litología superficial a partir de la variación de velocidad de las ondas sísmicas, determinar la profundidad del nivel freático.

### 5.5.1 REGISTRO DE MICROTREMORES EN LA CIUDAD DE PISCO

Para conocer la respuesta dinámica del suelo, el registro de microtemores, es considerado como uno de los métodos más sencillos, debido a su rapidez, bajo costo y resultados confiables. En la ciudad de Pisco, se seleccionaron los puntos de registro considerando la zona con mayor densidad poblacional y zonas de posible expansión urbana, cada una de ellas con características geológicas variables (limo arcilloso, arenas limosas, gravas, conglomerados, diatomitas).

En la ciudad de Pisco y zonas de expansión urbana (Alto El Molino, Centro Poblado Vista al mar, Casa Blanca y La Yesera), se realizaron un total de 48 puntos de medición de microtemores con ventanas de tiempo variables entre 10 y 15 minutos de registro por punto, dependiendo del nivel de ruido y acceso. Debido a las labores de retiro de escombros producto del colapso de viviendas de adobe, el ruido y acceso en el centro de la ciudad dificultó el registro de microtemores de buena calidad, por lo que el tiempo de registro fue de 15 minutos; mientras que en Alto El Molino, Centro Poblado Vista al mar, Casa Blanca y La Yesera los registros fueron de 10 segundos. En el distrito de Túpac Amaru, ubicado al este de la ciudad de Pisco, se registraron un total de 12 microtemores (TA1 a TA12), con tiempos de registro de 10 minutos. Estos puntos fueron ubicados sobre zonas de relleno y la formación Pisco. Mientras que, en el distrito de San Clemente, ubicado al Noreste de la ciudad de Pisco, se realizaron 25 mediciones de microtemores que incluyó la zona urbana más afectada por el sismo del 15 de agosto y la zona de expansión urbana del distrito (CA1 a CA6). En la Figura 5.7, se presenta el mapa catastral y los puntos de registro de microtemores realizados en la ciudad de Pisco, áreas consideradas para la



Figura 5.6: Equipos utilizados en la instrumentación geofísica. a). Sismógrafo de banda ancha. b). sismógrafo de refracción y c). Equipo de Georadar.

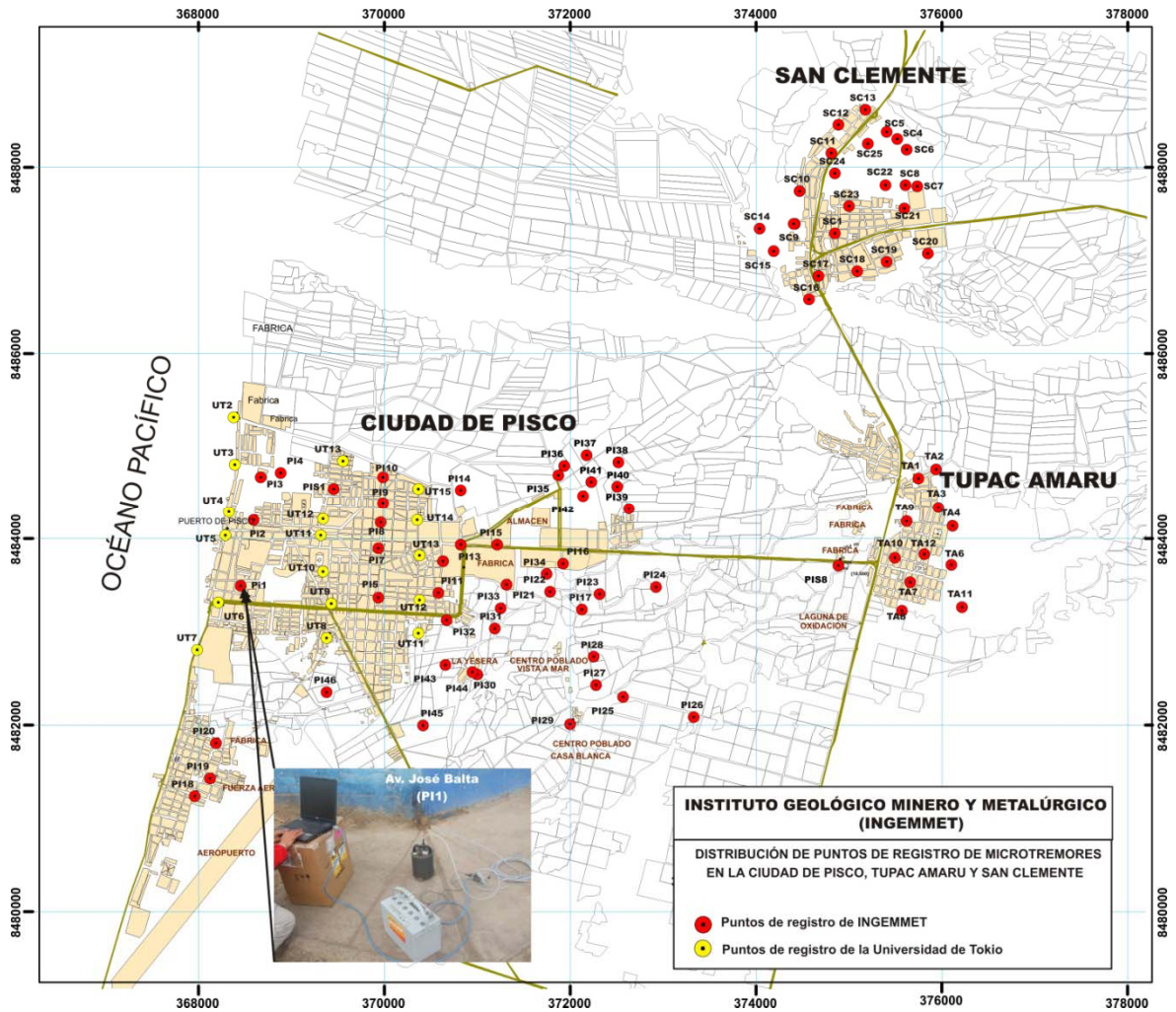


Figura 5.7: Distribución de puntos de medición de microtremores en la ciudad de Pisco y distritos de Túpac Amaru y San Clemente. UT, Universidad de Tokio. PI, Pisco. TA, Túpac Amaru y SC, San Clemente.

expansión urbana y los distritos de Túpac Amaru y San Clemente. La Foto, muestra un ejemplo del registro de microtremor en el punto PI1 ubicado en la Av José Balta (Pisco Playa).

Como ejemplo en la Figura 5.8a, se muestra la señal de 20 segundos registrado el 18 de septiembre del 2007, así como el espectro de Fourier en sus 3 componentes (Z, NS, EO) obtenido para el punto PI4 y en la Figura 5.8b, ejemplos de la obtención de la frecuencia predominante mediante la técnica H/V para los puntos PI1 y PI4. Asimismo, en la Tabla 5.2 se presenta las frecuencias y periodos predominantes obtenidos en cada punto de registro realizado en la ciudad de Pisco, donde se observa que los valores predominantes en frecuencias y periodos varían de 9 a 20 Hz y de 0.05 a 0.52 s respectivamente.

#### **Mapa de Isofrecuencias en la ciudad de Pisco y zonas de expansión urbana:**

En la Figura 5.9, se presenta los valores y curvas de isofrecuencia elaboradas para la ciudad de Pisco, conjuntamente con INDECI. Estos valores han sido sobrepuestos en el mapa geológico elaborado por INGEMMET.

Con el total de valores (28) de frecuencias predominantes obtenidas con la técnica de Nakamura (1989), se realizó las curvas de isofrecuencias. Para obtener una buena densidad de valores de frecuencias en la ciudad de Pisco, se ha adicionado también los obtenidos por la Universidad de Tokio (18) que hacen un total de 46 puntos distribuidos uniformemente. Las curvas de isofrecuencias fueron trazadas considerando la información geológica y geotécnica disponible trabajando conjuntamente con INDECI.

De acuerdo a lo obtenido de las curvas de isofrecuencias, se observan básicamente 2 zonas en la ciudad de Pisco; la primera que involucra la zona de Pisco Playa, Pisco Centro y entrada de Pisco desde la carretera Panamericana, donde los valores de frecuencias predominantes varían entre 8 y 10 Hz. Como puede observarse en la Figura 5.9, esta zona de bajas frecuencias corresponde a depósitos marinos, arenas limosas y de relleno antrópico.

La segunda zona involucra la zona Este y Sureste de Pisco y los valores de frecuencias predominantes varían entre 10 y 20 Hz. Cabe mencionar que los valores altos (16 a 20 Hz) se ubican principalmente en la zona Sureste entre las avenidas Las Américas y Abraham Valdelomar, los centros poblados de La Yesera, Casa Blanca y de manera puntual en Alto El Molino (línea discontinua). La geología de la zona, muestra claramente que las altas frecuencias (16 a 20 Hz) se encuentran sobre las terrazas fluviales gravosas y lentes de arena con limo.

#### **Comentarios:**

Es evidente que el registro y análisis de microtremores permiten caracterizar rápidamente la respuesta del suelo con fines geotécnicos y de microzonificación en la ciudad de Pisco, severamente afectada por el sismo del 15 de agosto del 2007. La información geológica y los valores de frecuencias obtenidas permitieron definir básicamente 2 zonas en la ciudad de Pisco y zonas de expansión urbana (Centros Poblados La Yesera, Casa Blanca y Alto El Molino). La primera, con valores frecuenciales bajos que se

Tabla 5.2: Ubicación de los 48 puntos y los valores predominantes obtenidos en frecuencias (Hz) y periodos (s) para la ciudad de Pisco y zonas de expansión urbana.

| N° | PUNTO | LONGITUD (m) | LATITUD (m) | FRECUENCIA (Hz) | PERIODO (s) |
|----|-------|--------------|-------------|-----------------|-------------|
| 1  |       | 368449       | 8483491     | 9.6             | 0.10        |
| 2  | PI2   | 368587       | 8484198     | 9.0             | 0.11        |
| 3  | PI3   | 368664       | 8484663     | 10.2            | 0.10        |
| 4  | PI4   | 368889       | 8484713     | 8.9             | 0.12        |
| 5  | PI5   | 369931       | 8483364     | 17.3            | 0.06        |
| 6  | PI6   | 369944       | 8433850     | 11.4            | 0.09        |
| 7  | PI7   | 369933       | 8483898     | ***             | ***         |
| 8  | PI8   | 369963       | 8484174     | ***             | ***         |
| 9  | PI9   | 369985       | 8484388     | ***             | ***         |
| 10 | PI10  | 369991       | 8484670     | ***             | ***         |
| 11 | PI11  | 370580       | 8483412     | ***             | ***         |
| 12 | PI12  | 370633       | 8483747     | 14.4            | 0.52        |
| 13 | PI13  | 370822       | 8483929     | 6.6             | 0.15        |
| 14 | PI14  | 370823       | 8484527     |                 |             |
| 15 | PI15  | 371214       | 8483936     | 25.3            | 0.04        |
| 16 | PI16  | 371921       | 8483725     | ***             | ***         |
| 16 | PI17  | 372129       | 8483233     | ***             | ***         |
| 18 | PI18  | 367959       | 8481238     | 16.8            | 0.06        |
| 19 | PI19  | 368119       | 8481418     | 17.0            | 0.06        |
| 20 | PI20  | 368182       | 8481806     | 10.2            | 0.10        |
| 21 | PI21  | 371310       | 8483502     | 13.3            | 0.08        |
| 22 | PI22  | 371781       | 8483424     | ***             | ***         |
| 23 | PI23  | 372317       | 8483402     | 7.7             | 0.13        |
| 24 | PI24  | 372929       | 8483478     | ***             | ***         |
| 25 | PI25  | 372566       | 8482300     | 15.7            | 0.06        |
| 26 | PI26  | 373325       | 8482076     | ***             | ***         |
| 27 | PI27  | 372282       | 8482426     | ***             | ***         |
| 28 | PI28  | 372254       | 8482732     | ***             | ***         |
| 29 | PI29  | 372004       | 8482004     | 12.3            | 0.08        |
| 30 | PI30  | 370993       | 8482540     | 17.4            | 0.06        |
| 31 | PI31  | 371190       | 8483028     | ***             | ***         |
| 32 | PI32  | 370672       | 8483122     | 15.3            | 0.07        |
| 33 | PI33  | 371252       | 8483244     | 12.7            | 0.08        |
| 34 | PI34  | 371740       | 8483618     | 16.0            | 0.06        |
| 35 | PI35  | 371873       | 8484694     | 15.8            | 0.06        |
| 36 | PI36  | 371934       | 8484798     | 12.2            | 0.08        |
| 37 | PI37  | 372176       | 8484900     | ***             | ***         |
| 38 | PI38  | 372520       | 8484834     | ***             | ***         |
| 39 | PI39  | 372630       | 8484328     | 12.5            | 0.08        |
| 40 | PI40  | 372506       | 8484564     | ***             | ***         |
| 41 | PI41  | 372225       | 8484620     | ***             | ***         |
| 42 | PI42  | 372139       | 8484464     | 12.1            | 0.08        |
| 43 | PI43  | 370654       | 8482644     | 16.9            | 0.06        |
| 44 | PI44  | 370945       | 8482558     | 20.8            | 0.05        |
| 45 | PI45  | 370414       | 8481998     | ***             | ***         |
| 46 | PI46  | 369372       | 8482346     | ***             | ***         |
| 47 | PI47  | 369457       | 8484536     | 8.9             | 0.11        |
| 48 | PI48  | 374886       | 8483702     | 10.2            | 0.10        |

En los puntos con asteriscos (\*\*\*) no se obtuvieron registros claros (sin valor).

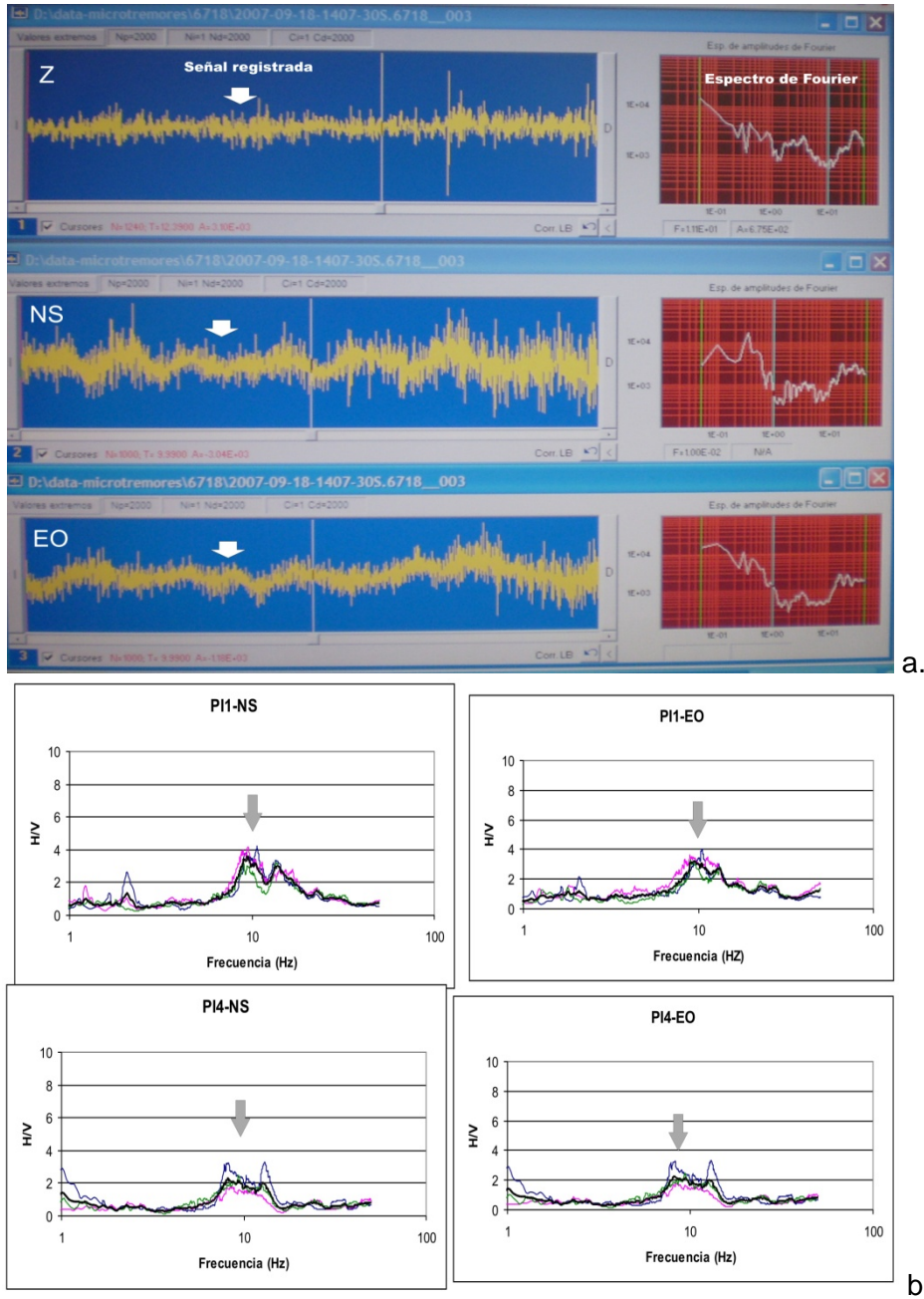


Figura 5.8: a) Señal de microtremor registrado en el punto PI4 y su correspondiente espectro de Fourier para las componentes: vertical (Z), Norte-Sur (NS) y Este-Oeste (EO). b). Frecuencia predominante obtenido a partir de la técnica de Nakamura para los puntos P11 a PI4. La flecha indica la frecuencia obtenida.

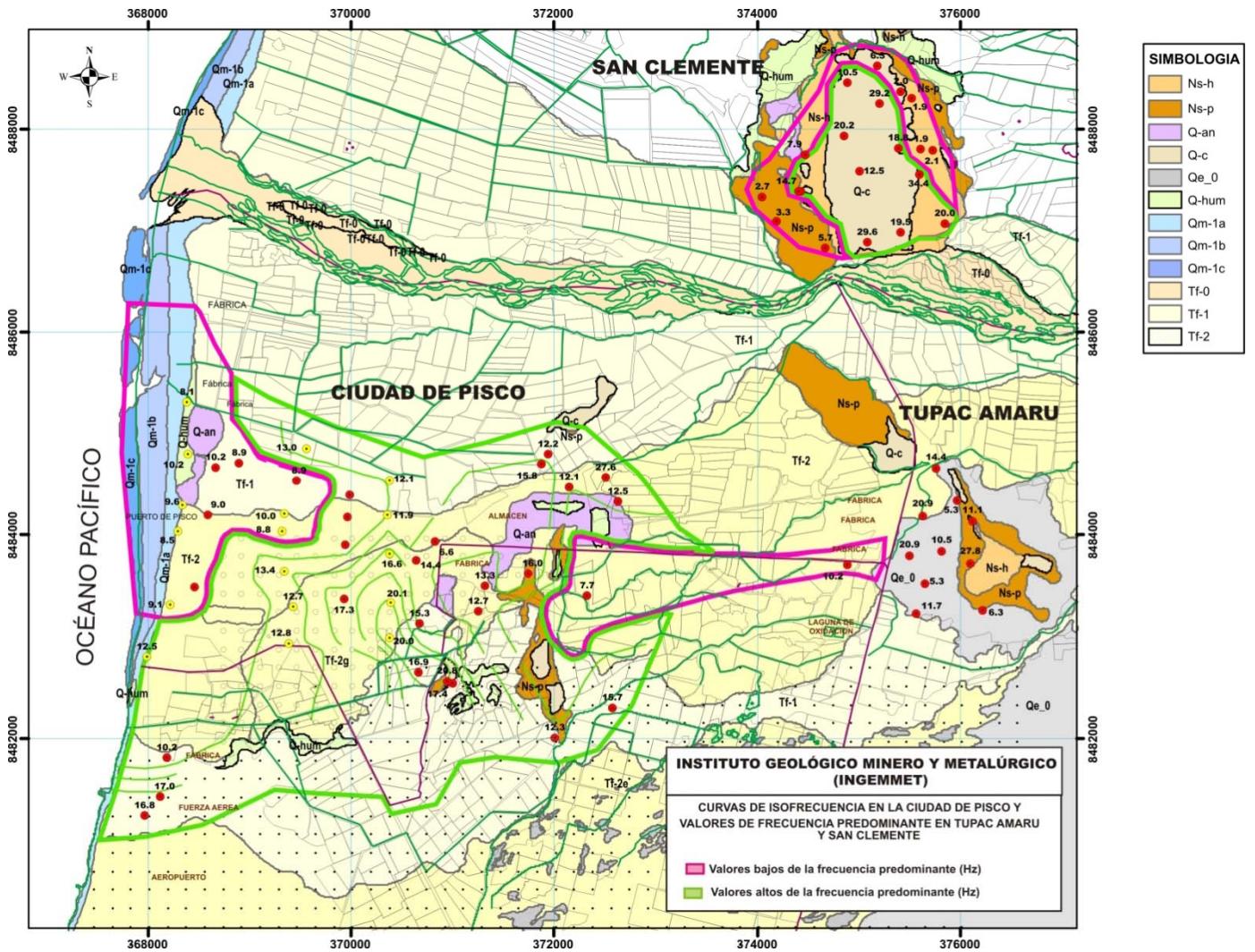


Figura 5.9: Valores y curvas de isofrecuencia en la ciudad de Pisco, Túpac Amaru y San Clemente sobrepuesta en el mapa geológico.

correlacionan bien con los depósitos “blandos” (Nakamura, 1989; Ojeda et al, 2001) donde se incluyen los depósitos marinos, arenas limos y arcillas. La evaluación de daños, evidencia también que en esta zona las construcciones de adobe y concreto colapsaron, adicionándose el fenómeno de licuefacción principalmente en el sector de Pisco Playa. En tanto, la segunda zona, compuesta por materiales más compactos y/o “duros” (Ojeda et al., 2001; Romero et al., 2006), presentan altos valores de frecuencias predominantes como lo observado en la zona Sureste (Av Las Américas y Abraham Valdelomar) donde afloran las gravas. Como era de esperarse la respuesta de este tipo de suelo frente a la ocurrencia del sismo del 15 de agosto fue mejor comparado a la primera zona y los daños en construcciones de adobe fueron menores (observación visual y mapa de daños elaborado por INDECI) y casi ninguno en los de concreto. Los resultados de frecuencias obtenidas en este estudio, son similares a los obtenidos por La Universidad de Tokio y el CISMID y son coherentes con la información geotécnica obtenida por INDECI, CESEL Ingenieros y observaciones in situ.

### **Conclusiones:**

De los resultados obtenidos del análisis de microtemores en la ciudad de Pisco, se concluye que:

- Los valores de frecuencias predominantes obtenidas en la ciudad de Pisco, muestran claramente una correlación con el tipo de material de la que esta compuesto el suelo.
- En la ciudad de Pisco, los valores de 8 a 10 Hz se localizan principalmente donde el suelo esta compuesto por depósitos marinos, arenas limosas y relleno antrópico y los valores altos entre 16 a 20 Hz se ubican principalmente en la zona Sureste entre las avenidas Las Américas y Abraham Valdelomar, los centros poblados de La Yesera, Casa Blanca y de manera puntual en Alto El Molino compuesta por gravas.

### **5.5.2 REFRACCIÓN SÍSMICA EN LA CIUDAD DE PISCO**

El método sísmico se refracción empleado en estudios geotécnicos, permite diferenciar la capa superficial (suelo o cobertura del cuaternario) de la capa más compacta, en base a la variación de velocidades. En los estudios geotécnicos los valores de las velocidades sísmicas observados son útiles por sí mismos, ya que pueden dar una idea acerca de otras propiedades de los materiales subyacentes, como su grado de compactación, sus constantes elásticas, zonas de diferente grado de fracturamiento de roca, etc. Durante el trabajo de campo realizado en la ciudad de Pisco, se contó con el apoyo de la empresa CESEL Ingenieros, tanto con personal técnico y equipo de refracción sísmica. A continuación, se describe las líneas realizadas.

#### **Líneas de Refracción Sísmica en la Ciudad de Pisco**

En la ciudad de Pisco y zonas de expansión urbana, se realizaron 20 líneas de refracción con longitudes de 60 y 120 m. respectivamente, a fin de conocer las propiedades elásticas de los materiales de la que están compuestos y el espesor de los mismos. En la Figura 5.10, se presenta la distribución de las líneas de refracción sísmica (LS) y de Georadar (GPR) de acuerdo al siguiente orden:



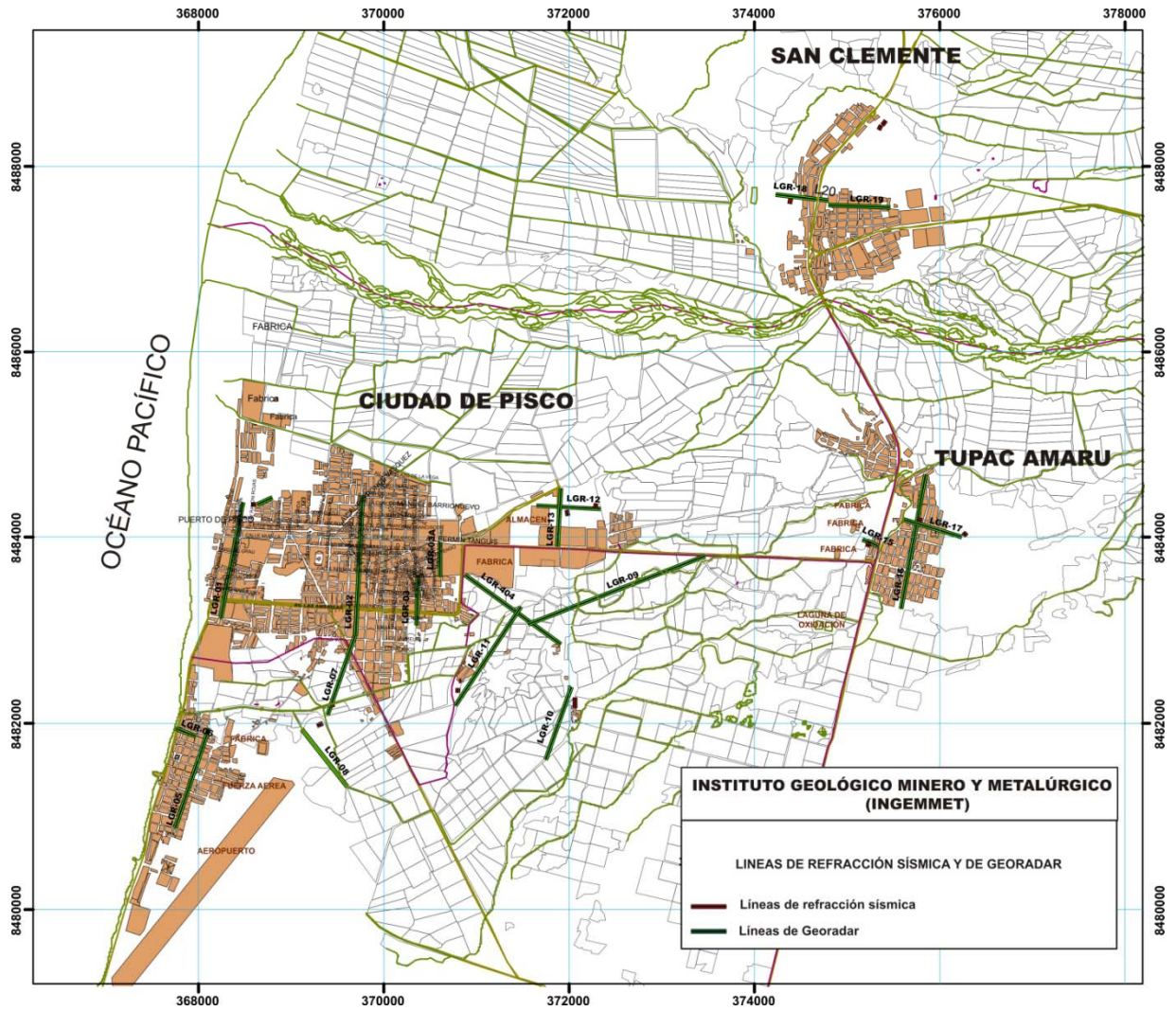


Figura 5.10: Distribución de líneas de refracción sísmica (LS) y de Georadar (LGR).

- a) Perfil elástico LS-13: Ubicado en Pisco Playa. En este perfil se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica Superficial, conformada por los depósitos recientes (cobertura de material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 700$  m/s y espesores que varían entre 3 y 7 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinado por el material de arenas con gravas poco compactas, con velocidad de  $V_2 = 1100$  m/s y espesor mínimo de 19 m. (Figura 5.11a).
- b) Perfil elástico LS-14: Ubicado en pisco Playa. En este perfil se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica Superficial, Conformado por los depósitos recientes (Suelo de Cobertura de material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 700$  m/s y espesores que varían entre 1 m a 7 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinado por el material de arenas con gravas poco compactadas, con velocidad de  $V_2 = 1300$  m/s y espesor mínimo de 18 m. (Figura 11b).
- c) Perfil elástico LS-15: Ubicado en la zona urbana de Pisco en la calle Piedemonte. En este perfil se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica Superficial, Conformado por los depósitos recientes (Suelo de Cobertura de material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 700$  m/seg. y espesores que varían entre 8 m a 11 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinado por el material de arenas con gravas poco compactadas, con velocidad  $V_2 = 1600$  m/s y espesor mínimo de 19 m. (Figura 5.11c).
- d) Perfil elástico LS-16: Ubicado en la zona de expansión Urbana de Pisco. En este perfil se observa la presencia de tres medios elásticos: Capa Elástica Superficial, conformado por los depósitos recientes (material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 800$  m/s. espesores que varían entre 2 y 3 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinado por el material de arenas con gravas poco compactadas, velocidad de  $V_2 = 1800$  m/s. y el espesor de esta capa varia de 2 a 8 m. Capa Elástica Profunda, tercer medio que corresponde a gravas y arenas con mayor grado de compactación y velocidades de  $V_3 = 2800$  m/s. La profundidad a la que se encuentra esta capa varía desde 6 a 10 m. (Figura 5.11d).
- e) Perfil elástico LS-17: Ubicado en la zona de expansión urbana de Pisco, zona Suroeste. En este perfil se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica Superficial, conformada por depósitos recientes (cobertura de material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 1000$  m/s y espesores que varían entre 0.5 m a 2 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinado

por el material de gravas con arenas poco compactas, velocidad de  $V_2 = 1900$  m/s y espesor mínimo de 19 m. (Figura 5.11e).

- f) Perfil elástico LS-07: Ubicado en el Centro Poblado La Yesera. En este perfil se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica Superficial, conformada por los depósitos recientes (cobertura de material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 700$  m/s. y espesores que varían entre 2 m a 3 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinado por el material de gravas con arenas poco compactado, con velocidad de  $V_2 = 1500$  m/s y el espesor mínimo de 19 m. (Figura 5.11f).
- g) Perfil elástico LS-08: Ubicado en el Centro Poblado La Yesera. En este perfil se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica Superficial, conformada por depósitos recientes (cobertura de material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 700$  m/s. y espesores que varían entre 1 m a 9 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinada por gravas con arenas poco compactas, con velocidad de  $V_2 = 1300$  m/s y espesor mínimo de 19 m. (Figura 5.11g).
- h) Perfil elástico LS-09: Ubicado en el Centro Poblado Casa Blanca. En este perfil se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica Superficial, conformada por depósitos recientes (cobertura de material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 700$  m/s y espesores que varían entre 1 m a 3 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinada por gravas y arenas poco compactadas, con velocidad de  $V_2 = 1100$  m/s. y espesor mínimo de 18 m. (Figura 5.11h).
- i) Perfil elástico LS-10: Ubicado en el Centro Poblado de Casa Blanca. Se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica Superficial, conformada por depósitos recientes (cobertura de material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 1200$  m/s. y espesores que varían entre 0.5 a 1 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinado por el material de arenas con gravas poco compactadas, con velocidad de  $V_2 = 1300$  m/s. y espesor mínimo de 18 m. (Figura 5.11i).
- j) Perfil elástico LS-11: Ubicado en el Centro Poblado El Molino. En este perfil se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica Superficial, conformada por depósitos recientes (cobertura de material areno limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 800$  m/s. y espesores que varían entre 1 m a 3 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinado por el material de arenas con gravas poco compactadas, con velocidad de  $V_2 = 1300$  m/seg. y espesor mínimo de 19 m. (Figura 5.11j).
- k) Perfil elástico LS-12: Ubicado en el Alto El Molino transversal a la línea LS-11. Se observa la presencia de dos medios elásticos: Capa Elástica

Superficial, conformada por depósitos recientes (cobertura de material arenoso limoso) del cuaternario, con velocidad del orden de  $V_1 = 600$  m/s. y espesores que varían entre 5 m a 7 m. Capa Elástica Intermedia, segundo medio elástico que está determinado por gravas con arenas poco compactas, con velocidad de  $V_2 = 1400$  m/s. y espesor mínimo de 19 m. (Figura 5.11k).

### Conclusiones y Recomendaciones

- Del comportamiento de los medios se ha mostrado que los valores varían de acuerdo al grado de compactación de sus constituyentes desde:  
Capa elástica 1: con velocidades de 500 m/s (Línea LS-04) a 1200 m/s (Línea LS-10) suelo de cobertura o arenoso-limoso.  
Capa elástica 2: 1201 m/s (Línea LS-03) a 2000 m/s (Línea LS-039) y corresponden a material de arenas con gravas poco compactas.  
Capa elástica 3: con velocidades mayores a 2000 m/s (Línea LS-16) y corresponden a material de gravas compactas.
- Relacionando las velocidades de propagación de las ondas “P” y “S” y los datos de densidades de los materiales en superficie, se ha obtenido las constantes elásticas dinámicas para cada estrato (Tabla 5.3).
- Se recomienda realizar una perforación diamantina de  $\pm 30$  m de profundidad a fin de verificar los valores obtenidos y además sirvan de control litológico-geofísico.
- Se espera que estos valores encontrados sirvan para complementar los trabajos de cimentación de las estructuras analizadas.

### 5.5.3 LINEAS DE GEORADAR EN LA CIUDAD DE PISCO

En la ciudad de Pisco y zonas de expansión urbana, se realizaron 21 líneas con longitudes variables entre 100 a 2110 m. a fin de conocer la profundidad del nivel freático y la constitución geológica de las capas más superficiales de las zonas estudiadas. Considerando que para el estudio se requería información a detalle de los primeros 10 m, se utilizó básicamente la antena de 100 Hz. En la Figura 5.6.5, se presenta la distribución de las líneas y en la Tabla 5.4 sus características principales.

#### Líneas de Georadar en la Ciudad de Pisco

- a) Línea LGR-01 (Av. José Balta-Pisco Playa): Línea paralela al litoral costero con una longitud de 1380 m de extensión se ha determinado una reflexión planar que correspondería al nivel freático en el orden de los 1,4 m. Se han definido tres capas hasta 5 m de profundidad, la primera se trata de material con granulometría fina de arena limosa seca en superficie, y por debajo húmedas con espesores del orden de los 2.6 m. Subyaciendo a esta capa superficial se ha determinado material arenoso limoso con gravas, fragmentos rocosos y se encuentran en zonas puntuales, así, estas reflexiones típicas de este material se encuentran entre los 300 a 380 m y a los 790 m.; la tercera capa, se encuentra a mayor profundidad, esta definida por reflexiones típicas de material más compacto (arenas y gravas ?), dada las mayores velocidades de ondas “P” obtenidas de la refracción sísmica a este nivel (Figura 5.12a).

Tabla 5.3: Constantes elásticas obtenidas a partir de las líneas de refracción sísmica en la ciudad de Pisco

| PERFIL ELÁSTICO | CAPA REFRACTADA | VELOCIDADES |           | POISSON | MÓDULOS               |                       | DENSIDAD (T/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-----------------|-------------|-----------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
|                 |                 | Vp (m/s)    | Vs (m/s)* |         | E (T/m <sup>2</sup> ) | G (T/m <sup>2</sup> ) |                              |
| LS-07           | 1               | 700         | 405       | 0.30    | 56467.0               | 21718.1               | 1.3                          |
| LA YESERA       | 2               | 1500        | 867       | 0.25    | 345204.7              | 138081.9              | 1.8                          |
| LS-08           | 1               | 700         | 405       | 0.30    | 56467.0               | 21718.1               | 1.3                          |
| LA YESERA       | 2               | 1300        | 751       | 0.25    | 259287.1              | 103714.8              | 1.8                          |
| LS-09           | 1               | 600         | 347       | 0.30    | 41485.9               | 15956.1               | 1.3                          |
| Casa Blanca     | 2               | 1600        | 925       | 0.25    | 392766.3              | 157106.5              | 1.8                          |
| LS-10           | 1               | 1300        | 751       | 0.30    | 194753.4              | 74905.2               | 1.3                          |
| Casa Blanca     | 2               | 2000        | 1156      | 0.25    | 613697.3              | 245478.9              | 1.8                          |
| LS-11           | 1               | 800         | 462       | 0.30    | 73752.8               | 28366.5               | 1.3                          |
| El Molino       | 2               | 1800        | 1040      | 0.25    | 497094.8              | 198837.9              | 1.8                          |
| LS-12           | 1               | 600         | 347       | 0.30    | 41485.9               | 15956.1               | 1.3                          |
| El Molino       | 2               | 1400        | 809       | 0.25    | 300711.7              | 120284.7              | 1.8                          |
| LS-13           | 1               | 700         | 405       | 0.30    | 56467.0               | 21718.1               | 1.3                          |
| Pisco Playa     | 2               | 1600        | 925       | 0.25    | 392766.3              | 157106.5              | 1.8                          |
| LS-14           | 1               | 700         | 405       | 0.30    | 56467.0               | 21718.1               | 1.3                          |
| Pisco Playa     | 2               | 1300        | 751       | 0.25    | 259287.1              | 103714.8              | 1.8                          |
| LS-15           | 1               | 600         | 347       | 0.30    | 41485.9               | 15956.1               | 1.3                          |
| Piedemonte      | 2               | 1600        | 925       | 0.25    | 392766.3              | 157106.5              | 1.8                          |
| LS-16           | 1               | 800         | 462       | 0.30    | 73752.8               | 28366.5               | 1.3                          |
| Expa-Pisco      | 2               | 1600        | 925       | 0.27    | 354711.6              | 139650.2              | 1.6                          |
|                 | 3               | 2800        | 1618      | 0.25    | 1202846.7             | 481138.7              | 1.8                          |
| LS-17           | 1               | 1000        | 578       | 0.30    | 115238.7              | 44322.6               | 1.3                          |
| Expa-Pisco      | 2               | 1900        | 1098      | 0.25    | 553861.8              | 221544.7              | 1.8                          |
| LS-19           | 1               | 1000        | 578       | 0.30    | 115238.7              | 44322.6               | 1.3                          |
| Camacho-S.C.    | 2               | 1700        | 983       | 0.25    | 443396.3              | 177358.5              | 1.8                          |

Tabla 5.4: Características principales de las líneas de Georadar realizadas en la ciudad de Pisco

| LÍNEAS | UBICACIÓN                     | COORDENADAS (UTM) |         |             |         | DISTANCIA (m) |
|--------|-------------------------------|-------------------|---------|-------------|---------|---------------|
|        |                               | Punto Inicio      |         | Punto Final |         |               |
|        |                               | LONGITUD          | LATITUD | LONGITUD    | LATITUD |               |
| LGR-01 | Ca. José Balta-Pisco Playa    | 368459            | 8483491 | 368700      | 8484745 | 1350          |
| LGR-02 | Ca. Piedemonte                | 369912            | 8483321 | 369986      | 8484818 | 1580          |
| LGR-03 | Ca. San Clemente              | 370574            | 8483408 | 370590      | 8483951 | 480           |
| LGR-3A | Ca. Ismael Asprillaga         | 370831            | 8483931 | 370833      | 8484308 | 400           |
| LGR-04 | Zona Industrial               | 371096            | 8483950 | 372130      | 8483205 | 1300          |
| LGR-05 | San Andrés                    | 367968            | 8481236 | 368332      | 8482310 | 1140          |
| LGR-06 | San Andrés                    | 368195            | 8482217 | 367955      | 8482307 | 250           |
| LGR-07 | Zona de Expansión Urbana (SO) | 369912            | 8483319 | 369618      | 8482445 | 900           |
| LGR-08 | Zona de Expansión Urbana (SO) | 369828            | 8481670 | 369335      | 8482300 | 800           |
| LGR-09 | Centro Poblado Vista al Mar   | 371775            | 8483424 | 373694      | 8484160 | 2110          |
| LGR-10 | Centro Poblado Casa Blanca    | 372249            | 8482750 | 371963      | 8481969 | 650           |
| LGR-11 | Centro Poblado La Yesera      | 370995            | 8482555 | 371699      | 8483613 | 1270          |
| LGR-12 | Centro Poblado Alto El Molino | 371873            | 8484696 | 372564      | 8484668 | 720           |
| LGR-13 | Centro Poblado Alto El Molino | 372130            | 8484898 | 372097      | 8484260 | 620           |

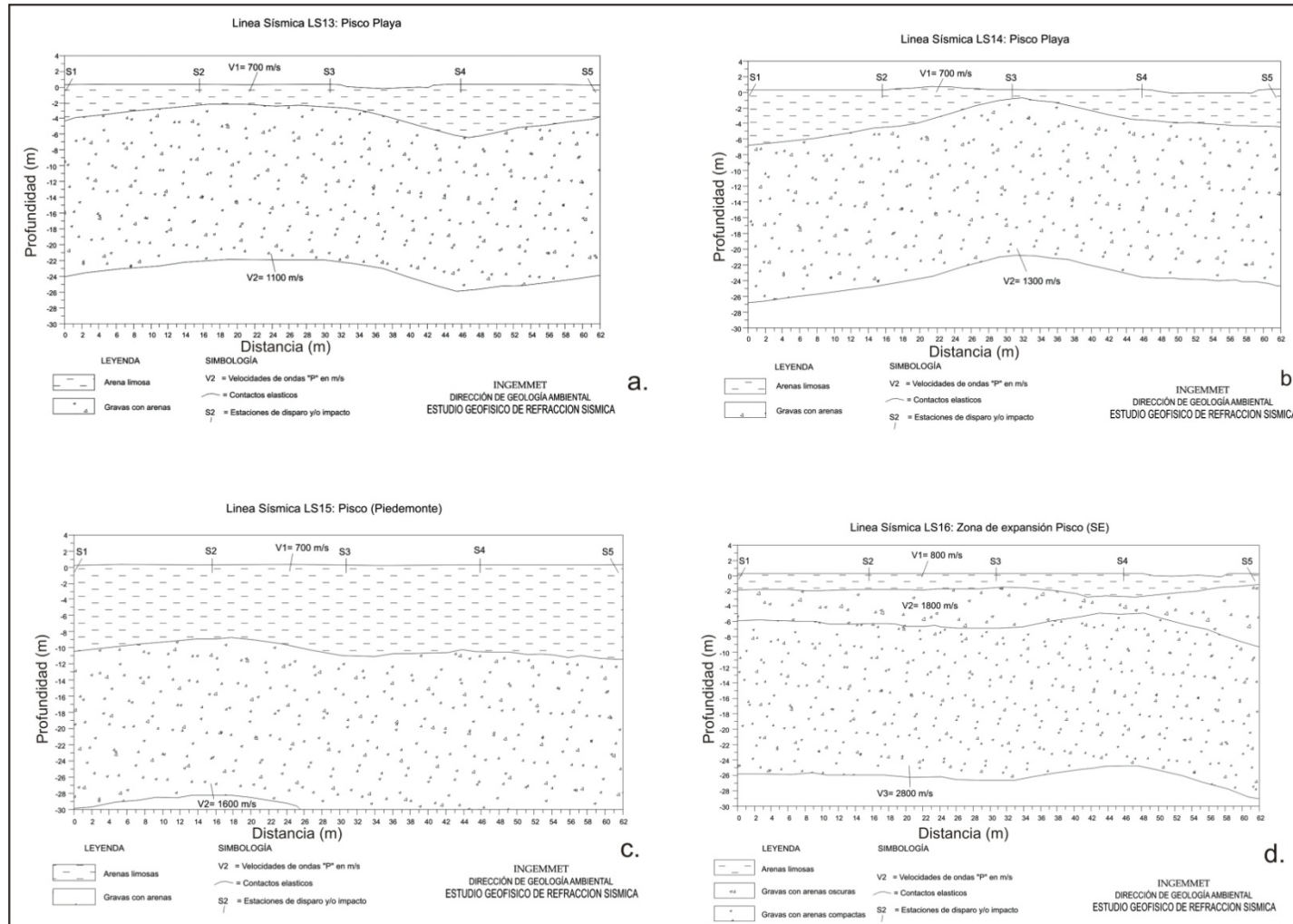


Figura 5.11: Interpretación geofísica de las líneas de refracción sísmica realizadas en la ciudad de Pisco y zonas de expansión urbana. a) y b) en la zona de Pisco Playa, c) en la calle Piedemonte y d) en la zona de expansión urbana (SE).

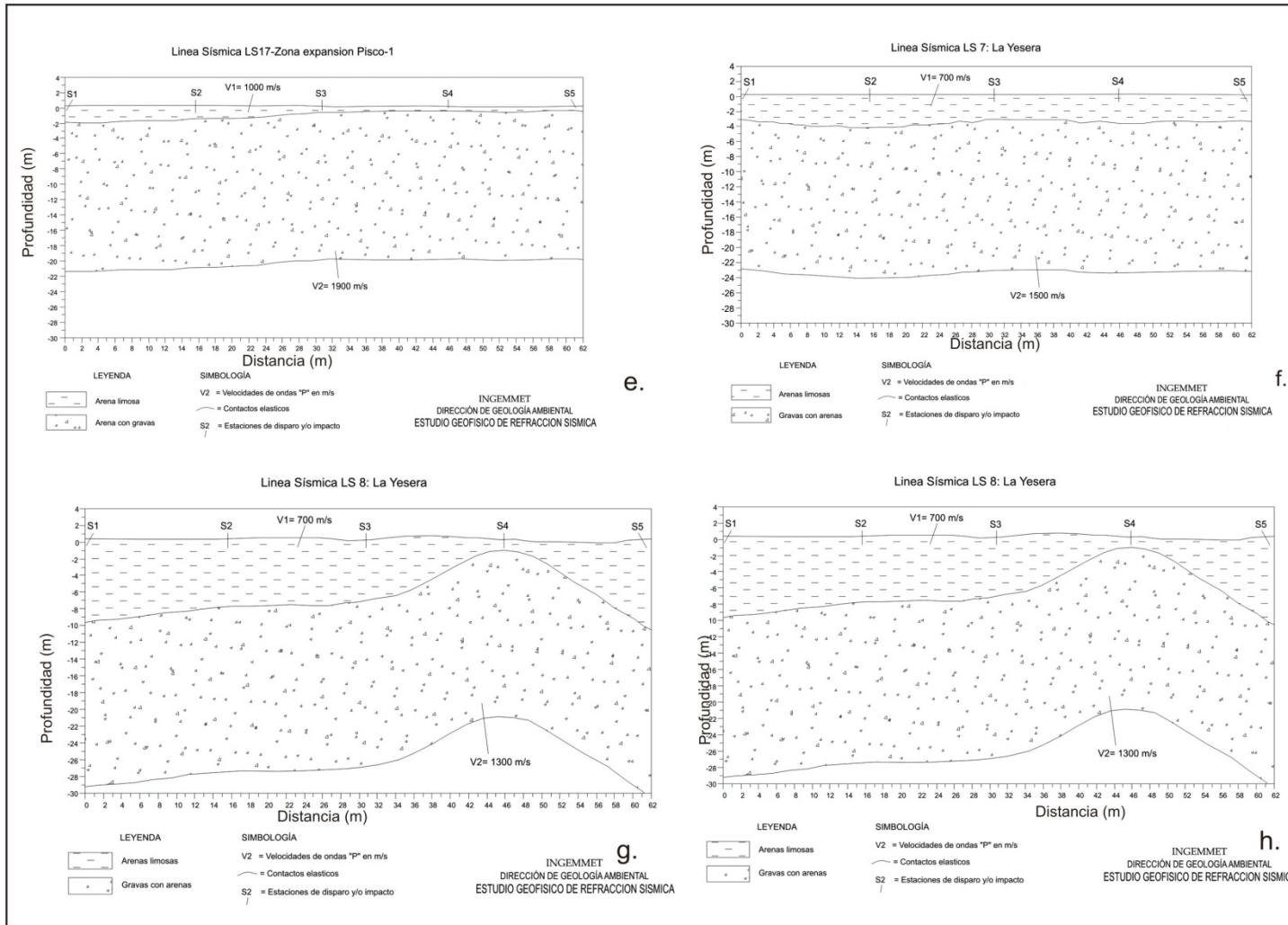


Figura 5.11: Continuación..... e). Zona de expansión urbana de Pisco. f, g y h). En el Centro Poblado de La Yesera.

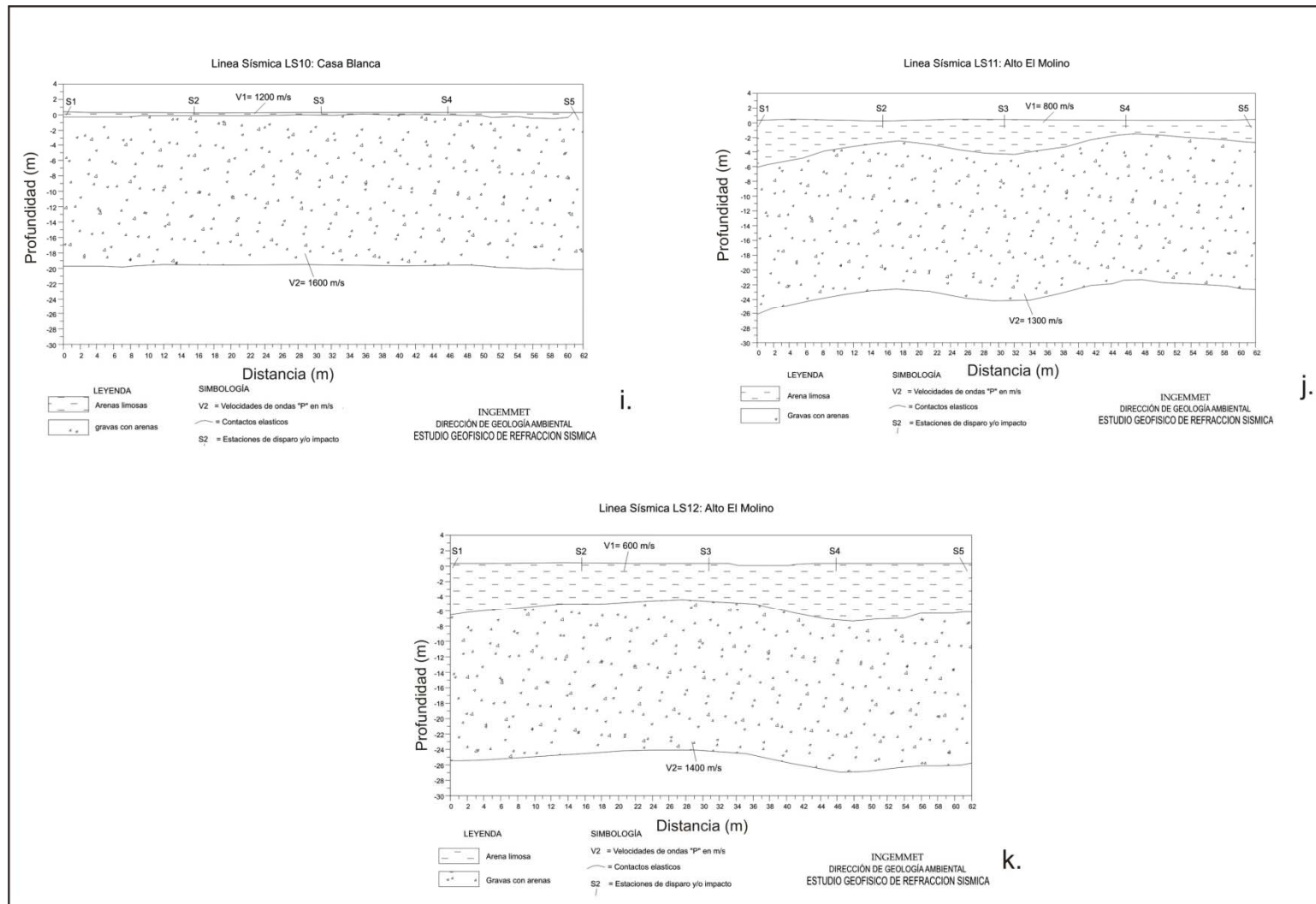


Figura 5.11: Continuación..... i). En el Centro Poblado Casa Blanca. j y k). En el Centro Poblado Alto el Molino



- b) Línea LGR-02: Se ubica de sur a norte, en la calle Piedemonte, con una longitud de 1580 m, la profundidad de la napa freática se encuentra en el orden de los 1.7 m; allí, se ha determinado tres capas: la primera, corresponde a material areno limoso con espesores variables de 2 a 3 m; la segunda capa corresponde a arenas más gruesas con poco fragmento rocoso y se ubica en forma puntual entre las distancias 260 a 300 m, 570 a 700 y 800 a 1050 m; asimismo, se ha determinado anomalías correspondientes a tuberías subterráneas. La tercera capa corresponde a material con mayor grado de compactación y subyace casi en todo el perfil. La información de cobertura es de 5 m. (Figura 5.12b).
- c) Línea LGR-03: Se ubica en la calle San Clemente, paralela a la línea LGR-02 y una longitud de 480 m., el nivel freático se encuentra en el orden de los 1.8 a 1.9 m de profundidad. En esta línea, se diferenciaron tres capas: la primera, constituida por material de cobertura superficial areno limosa seca; la segunda corresponde a arenas con limos y fragmentos rocosos que se encuentran en las distancias 170 a 230 m y 290 a 460 m. Asimismo, se ha determinado tres grupos de anomalías en las distancias 50, 90 y 140 m. que corresponden probablemente a tubos de saneamiento y/o a material conductivo. La tercera capa, corresponde a un material con granulometría más compacta en el rango de los 5 a los 7 m de profundidad a lo largo de toda la sección (Figura 5.12c).
- d) Línea LGR-03 A: Línea que continúa a LGR-03 y se ubica en la calle Asprillaga paralela a la calle San Clemente, con 400 m de longitud. La profundidad del nivel freático se encuentra en el orden de los 2,4 m. También se ha identificado la presencia de una anomalía plana en las distancias 45 a 150 m., a una profundidad de 2 m. Esta línea presenta tres capas: la primera compuesta por arenas limosas con espesores de 1.3 a 1.8 m; la segunda capa, de materiales con granulometría gruesa, arenas gruesas y gravas que se observan en las distancias 95 a 150, 200 a 290 y de 560 m abierto hacia el sector norte. La tercera capa esta compuesta de material mas compacto y el material fino, moderadamente compactado, se localiza a las distancias 0 a 30 m y de 300 a 400 m (Figura 5.12d).
- e) Línea LGR-04: Línea con inicio en la Av. Las Américas hacia el poblado Vista al Mar con una longitud de 1300 m, conocido como zona Industrial. En este sector se encontró que el nivel freático está a 1.8 m de profundidad. Asimismo, se ha determinado tres zonas bien marcadas (no hay influencia de cables eléctricos): la primera capa conformada por material de cobertura constituida por arena limosa, con espesores de 1.5 a 3.2 m; la segunda capa conformada por material con granulometría gruesa y sigue una secuencia uniforme a lo largo del perfil con espesores de 2 a 5.8 m; se ha determinado una zona con mayor contenido de gravas desde 0 a 360 m; la tercera capa con reflexiones uniformes corresponden a material mas compacto (Figura 5.12e).
- f) Línea LGR-05: Esta línea se ubica a 400 metros del litoral costero, en el distrito de San Andrés y se dirige de Sur a Norte con una longitud total de 1140 m. El nivel freático fue determinado a una profundidad de 1,7 m. Está conformada por material areno limoso en la parte superficial, con espesores de 1,2 a 2.3 m; la segunda capa corresponde a arenas con granulometría fina 3.5 a 9 m; la tercera capa conformada por arenas con

gravas, con mayor grado de compactación; asimismo, se ha determinado anomalías correspondientes a tuberías subterráneas y/o materiales conductivos (Figura 5.12f).

- g) Línea LGR-06: Línea transversal a la línea LGR-05 realizado en el distrito de San Andrés, con 250 m de longitud, donde el nivel freático se encuentra a una profundidad aproximada de 1.6 m. Esta línea muestra tres capas: la primera de conformada por arenas limosas de 1.2 a 2.3 m de espesor; la segunda capa corresponden a material de arenas con granulometría fina y la tercera conformada por material arenoso con gravas. El final de esta línea corresponde al nivel del agua de mar (playa), donde se nota las discontinuidades a partir de los 200 m. de distancia debido a la salinidad del agua (Figura 5.12g).
- h) Línea LGR-07: Línea de 900 m de longitud, ubicada muy cerca del AA.HH. Abraham Valdelomar (zona de expansión urbana), en el sector suroeste de la ciudad de Pisco. En esta línea se ha determinado el nivel freático a una profundidad de 1.6 m. y se ha correlacionado con la profundidad del nivel de agua observado en un pozo de agua existente en la zona. Asimismo, se ha determinado dos capas: la primera compuesta por arenas con gravas, donde la zona de gravas se observa casi en todo el perfil con espesores de de entre 1.5 m a 1.9 m y la segunda corresponde a material gravoso más compacto (Figura 5.12h).
- i) Línea LGR-08: Ubicada en el sector Suroeste de Pisco (zona de expansión urbana), con una longitud de 800 m., se ha determinado el nivel freático a una profundidad del 2.4 m se ha determinado una capa de cobertura areno limoso con espesores de 1.5 a 2.6 m; la segunda capa lo conforman el material con granulometría mas gruesa y se ubican a lo largo del perfil con espesores de 2 a 6 m.; la tercera capa definida por arenas y algunos fragmentos rocosos moderadamente mas compactas. Algunas anomalías se observan en las distancias 255 m y 740 m. (Figura 5.12i).
- j) Línea LGR-09: Se ubica en el AA.HH. Vista al Mar, con una longitud de 2110 m. En esta línea el nivel del acuífero se encuentra a una profundidad de 1.8 a 1.9 m; esta conformado por tres capas: la primera de material arena limosa muy suelta con espesores de 1.2 a 2.3 m; la segunda capa definida por gravas y arenas con espesores de 2 a 4 m. y la tercera capa de material mas compacto. Asimismo, se ha determinado zonas con anomalías grandes que podrían corresponder a tubos enterrados y/o ductos. Existen anomalías puntuales que probablemente estén relacionadas a material heterogéneo de bloques de gran tamaño y se ubican entre las distancias 480 a 580 m. y otros entre los 1785 a 1880 m. (Figura 5.12j).
- k) Línea LGR-11: Se ubica en el Centro Poblado La Yesera, con una longitud de 1300 m. La profundidad del nivel freático fue determinado a 1.7 m, que se correlaciona con la calicata C-11. Se han definido tres capas: la primera con reflexiones planas que corresponden a material de granulometría fina arenoso limoso con espesores de 1.4 a 2.2 m. de espesor; la segunda corresponde a material de arenas con fragmentos rocosos que se extienden desde la distancia 280 m hasta los 620 m.; asimismo, existe tres anomalías entre los 520 m, 560 m y 630 m, donde

se observa reflexiones múltiples que corresponden probablemente a gravas y/o a anomalías propias de ductos de saneamiento. La tercera capa corresponde a material mas compacto y se correlaciona con lo obtenido en el DPL47 (Figura 5.12k).

- l) Línea LGR-12: Ubicada en el Centro Poblado Los Molinos, con una longitud de 720 m., se ha correlacionado con el DPL-11 y Calicata C23, donde el nivel freático se encuentra a una profundidad de 2.3 a 3.6 m. En esta línea se diferencié tres capas: la primera de material limo arenoso con espesores de 0.3 a 1.2 m; la segunda de material gravoso y arenas con espesores que varían entre 2 y 7 m; la tercera capa lo conforma el material de arenas más compactas. De acuerdo a las velocidades de la onda P, la zona con bloques de roca se encuentra en el sector sur de la línea entre las distancias 0 y 170 m.; asimismo, existen seis anomalías puntuales que corresponderían a material redondeado de tamaño grande y/o zonas conductivas (Figura 5.12l).
- m) Línea LGR-13: Ubicada de forma transversal a la línea LGR-12 en el Centro Poblado Los Molinos. Correlacionando con el DPL-11 y Calicata C23 y la línea, el nivel freático se encuentra a una profundidad de 3.6 m. Conformada por tres capas: la primera de material areno limoso con espesores de 0.3 a 1.7 m; la segunda que corresponde a material gravoso con arenas de espesores que varían entre 2 a 7 m. y la tercera capa lo conformada por arenas con material mas compacto. La zona de mayor contenido de bloques de roca se encuentra en el sector Norte de la línea entre las distancias 420 m. a 620 m. (Figura 5.12m).

### **Conclusiones**

- Las líneas de Georadar (LGR), muestran patrones de reflexión bien definidas que indican claramente cambios litológicos causados por la constatación de la permitividad y conductividad eléctrica del medio.
- Del análisis de los Radargramas en el sector Pisco se ha determinado dos interfases que definen tres capas litológicas de material cuaternario fluvial. La primera capa constituida por un suelo areno limoso poco consolidado, le subyace una capa constituida de grava fina, gruesa y bloques con matriz arenoso, debajo de ella, se tiene una capa de suelo con mayor grado de compactación y homogeneidad que presenta baja amplitud y poca dispersión. Así mismo se han determinado anomalías de tipo hiperbólico la mayoría localizadas en la zona urbana que corresponderían a ductos o tuberías.

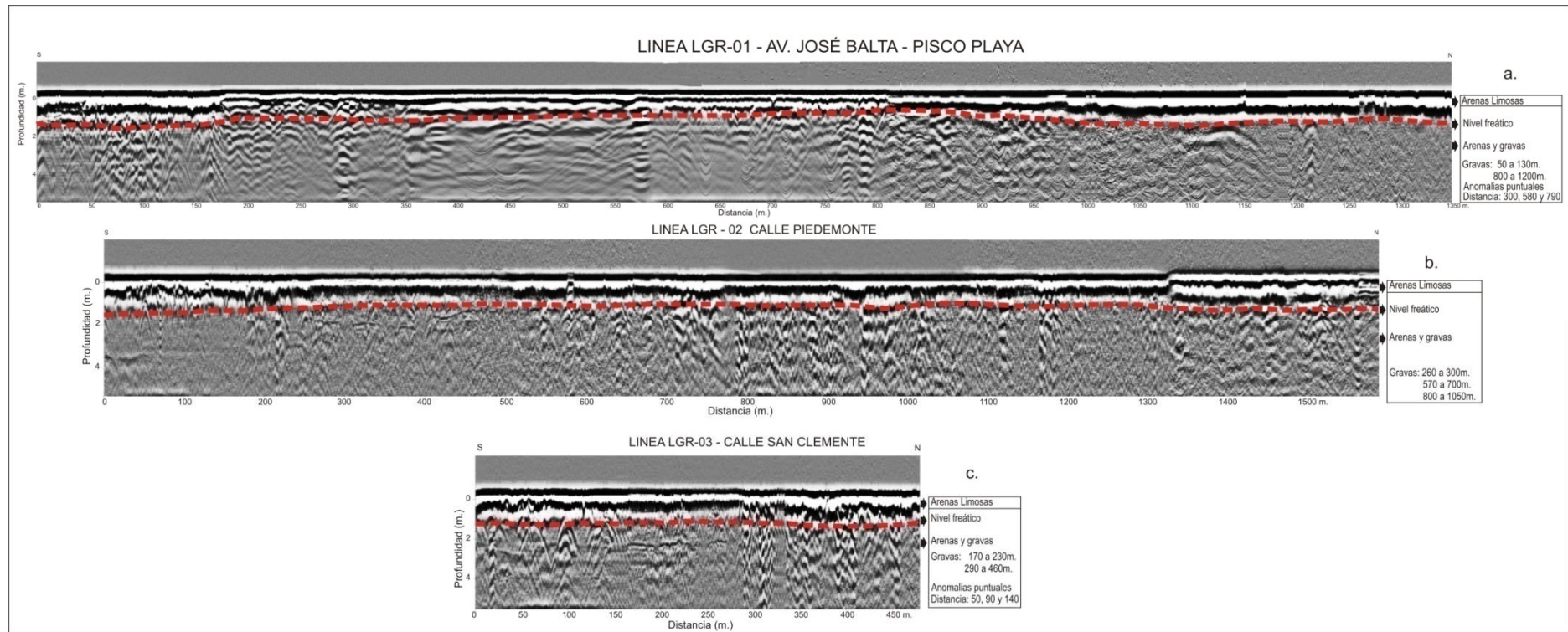


Figura 5.12: Líneas de Georadar realizadas en la ciudad de Pisco y zonas de expansión urbana: a) en la avenida José Balta (Pisco Playa), en dirección Sur (S) a Norte (N); b) en la calle Piedemonte, en dirección S a N y c) en la calle San Clemente en dirección S a N.

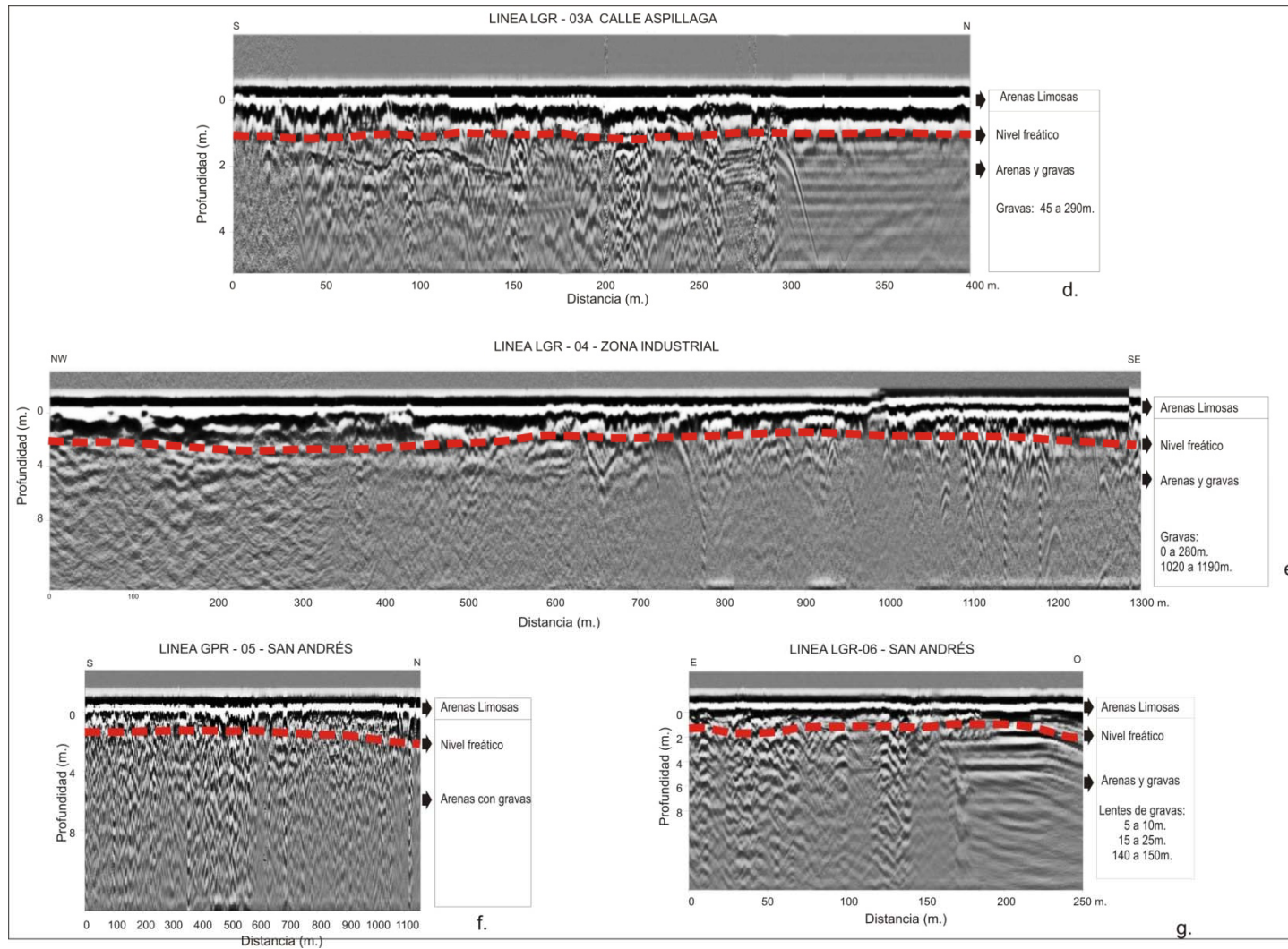


Figura 5.12: Continuación... d) en la calle Asprillaga (Pisco), en dirección S a N; e) en la zona industrial en dirección Noroeste (NO) a Sureste (SE); f) y g) en la zona de San Andrés, en dirección S a N y E a O.

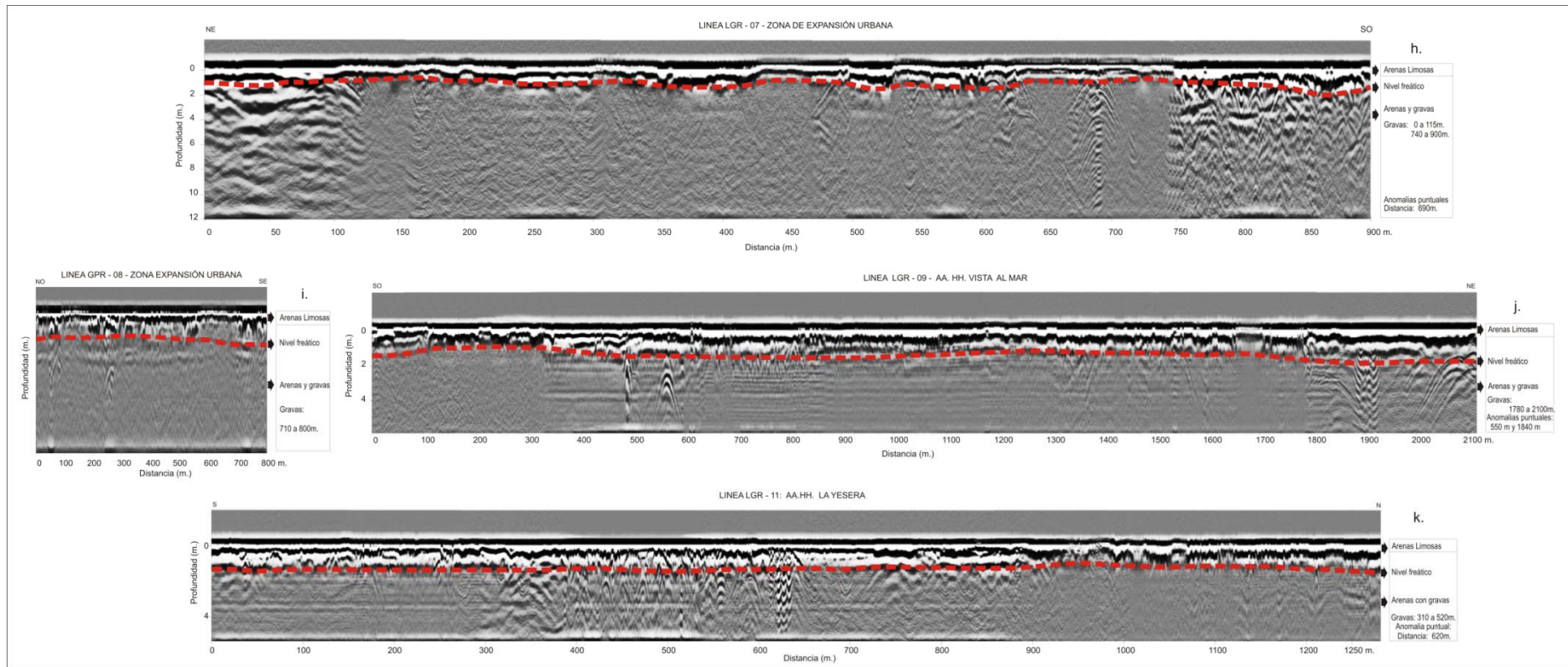


Figura 5.12: Continuación... h) e i) en la zona de expansión urbana, en dirección NE a SO; j) en el Centro Poblado Vista al Mar, en dirección SO a NE y k) en el Centro Poblado de La Yesera, en dirección S a N.

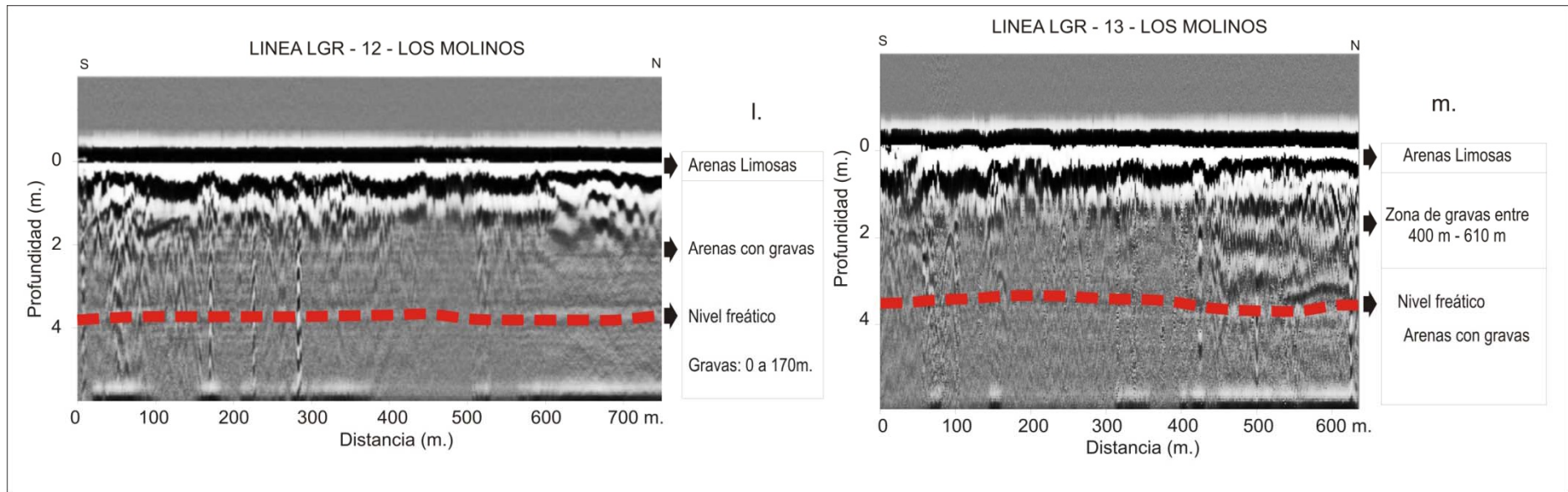


Figura 5.12: Continuación... l) y m) en el Centro Poblado Alto El Molino, en dirección S a N.

## 5.6 SISMICIDAD

### 5.6.1 EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS USANDO TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Diferentes estudios llevados a cabo en el marco de programas de investigación, han permitido estimar y evidenciar la contribución de los sensores remotos usando la tecnología satelital en la evaluación de peligros naturales: sismos, incendios, deslizamiento, erupciones volcánicas, etc. En este sentido la información espacial (imágenes satelitales), es empleada en diferentes etapas que van desde la identificación del peligro y la evaluación de los efectos producidos por el fenómeno natural, hasta las etapas de atención del desastre y eventualmente la planificación para la recuperación de las zonas afectadas. Evidentemente su aplicación, estará en función de la resolución espacial, temporal y espectral de las imágenes.

La costa del Perú, zona altamente sísmica, está sujeta a la frecuente ocurrencia de eventos sísmicos de variable magnitud. El sismo ocurrido en la costa central del Perú el 15 de agosto del 2007 a las 18:41 hora local (23:41 GMT), tuvo una magnitud  $M_w=7.9$ , cuyo epicentro tuvo lugar a 60 km al NO de la ciudad de Pisco ( $76.5^\circ$  W,  $13.3^\circ$  S) y una profundidad del foco sísmico fue de 40 Km<sup>[5]</sup>. Este terremoto afecto a las ciudades de Pisco, Ica, Chincha, Cañete y alrededores, siendo la ciudad de Pisco una de las mas afectadas, tanto en términos de vidas humanas, así como en daños a la infraestructura.

En este capítulo se muestra los resultados que se obtuvieron de la evaluación de los daños, producidos por dicho terremoto, en las viviendas de la ciudad de Pisco, mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución.

#### **Área de estudio y datos empleados**

La ciudad de Pisco es una ciudad relativamente antigua, la mayoría de las construcciones que existían hasta antes del terremoto, fueron hechas principalmente de adobe y quincha, en algunos casos la primera planta de quincha y la segunda de material noble. Según reportes oficiales de INDECI del 04 de octubre del 2007<sup>[4]</sup>, el número de damnificados, afectados y heridos fue de 111,194 personas, mientras que el numero de fallecidos fue de 338; 11,707 viviendas colapsaron y 9,550 viviendas fueron afectadas.

A través del International Charter on Space and Major Disasters, fueron obtenidas (en calidad de donación) dos imágenes pancromáticas del sensor Spot 5 sobre la ciudad de Pisco, adquiridas por el sensor, los días 06 de Octubre 2006 (con una resolución espacial de 5 m y un ángulo de visión de  $10.45^\circ$ ) y 21 Agosto del 2007 (con una resolución espacial de 2.5 m. y un ángulo de visión de  $22.70^\circ$ ), imágenes pre y post evento sísmico respectivamente. Además se recibió también una imagen Quickbird tomada el 3 de Junio del 2007 (de resolución espacial de 0.60 m). En la Figura N° 5.13, se muestra las dos imágenes Spot. Cabe mencionar que la cobertura de nubes en la zona dificulto la toma de escenas Quickbird post-evento, por ello no fue posible que el satélite adquiera imágenes inmediatamente después del sismo.



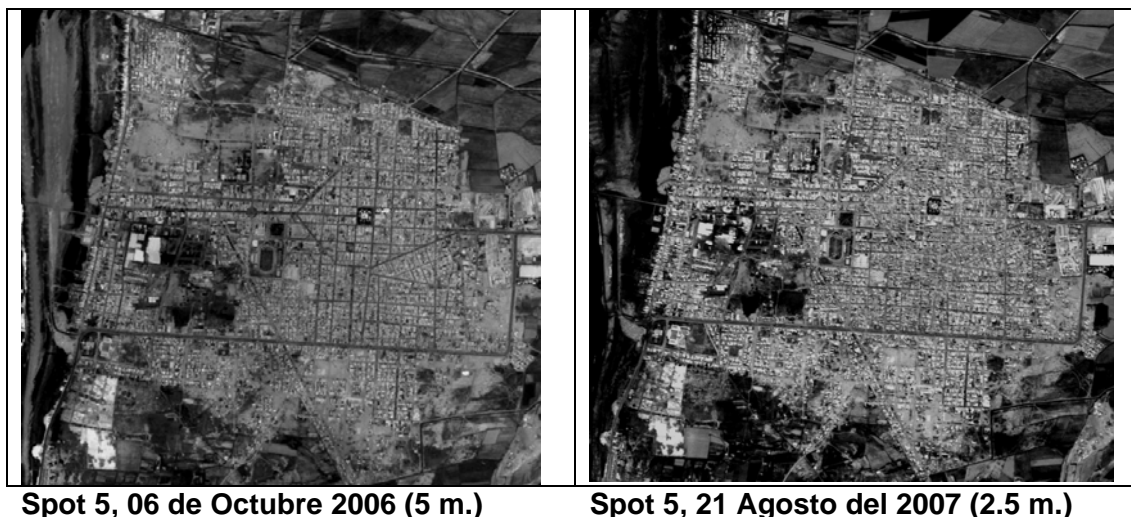


Figura 5.13: Imágenes Spot 5 de la ciudad de Pisco

### **Procesamiento y análisis de datos**

Una de las principales dificultades afrontadas para la adquisición de imágenes satelitales luego del terremoto del 15 de agosto en la ciudad de Pisco fueron las condiciones climáticas en la zona, por lo que la imagen fue adquirida con un elevado ángulo de visión ( $22.70^\circ$ ) y en consecuencia se observaron en la imagen algunas distorsiones geométricas en las construcciones.

Considerando la diferencia en resolución espacial tanto de las imágenes Spot y la Quickbird, se probaron dos técnicas diferentes: la diferencia de imágenes (Spot: pre y post evento) y el análisis de textura (Quickbird: post-evento):

Diferencia de imágenes: Consistió en hacer la diferencia (o “resta”) de las dos imágenes. Para ello fue necesario llevar previamente las dos imágenes a la misma resolución espacial, es decir degradar la imagen Quickbird (pre-evento) a la misma resolución de la imagen Spot 5 (post-evento) y co-registrar ambas imágenes. Posteriormente se estableció un umbral que determine los cambios.

Análisis de textura: Para este tipo de análisis existen diferentes filtros que permiten determinar las variaciones existentes entre los píxel vecinos. Considerando que el terremoto causó severos daños en las viviendas, hasta el punto de haber colapsado, al hacer el análisis digital de la imagen con los filtros de textura, los escombros resultantes de las viviendas colapsadas tendrán una respuesta diferente, que la que tendrían los techos planos (intactos) de las mismas viviendas previamente al terremoto.

Para este procesamiento hemos utilizado únicamente la imagen Spot (post-evento) a la cual hemos aplicado filtros de Co-ocurrencia, y hemos analizado básicamente parámetros como el contraste y la disimilitud. Posteriormente se realizó una clasificación no supervisada, ISODATA.

Para poder estimar el porcentaje de daños por manzana usando este método fue necesario crear una máscara de las zonas que estaban fuera de las manzanas (pistas, veredas, etc.). Se tomó como base la información provista por el INDECI (proyecto Ciudades Sostenibles) para la cobertura de

las manzanas. La imagen Quickbird (pre-evento) en este caso fue de gran utilidad porque permitió actualizar esta cobertura.

### Resultados y evaluación:

Al analizar los resultados de las dos técnicas empleadas, se observó que la segunda mostraba mejores resultados. Por una lado, ya que en la primera técnica hay varios parámetros propios a cada imagen (como el ángulo de incidencia, diferente resolución espacial inicial, condiciones atmosféricas, etc.). Mientras que en el segundo método, estos factores se reducen ya que se considera una sola imagen (post-evento) para el análisis.

Es así que se ha obtenido una clasificación general de los materiales o coberturas de la ciudad basado en el procesamiento digital de las imágenes. En la Figura N° 5.14, la clase de color azul agrupa los daños, escombros y alteración que sufrieron las edificaciones dentro de la manzana, la clase de color rojo es la vegetación, la clase de color marrón identifica estructuras en pie de la ciudad, y finalmente la clase color amarillo es el suelo y la tierra.



Figura 5.14: Clasificación no supervisada ISODATA de la ciudad de Pisco

Los resultados fueron comparados con aerotografías del 16 de agosto brindadas por la DIRAF, con los datos obtenidos de trabajo de campo realizado del 15 al 17 de septiembre (en colaboración con el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET) y con los datos de daños (recolectados directamente para cada manzana) del Instituto Nacional de Defensa Civil, ver Figura N° 5.15. Es necesario considerar que en la fecha en que se realizó el trabajo de campo, muchas construcciones que si bien no habían colapsado, habían sido demolidas lo cual dificultó la verificación.

Según la clasificación obtenida, se calculó la matriz de confusión en base a los datos obtenidos de campo (parcelas de muestreo o regiones de interés

que identificaban cada clase) para determinar la precisión de nuestra clasificación, véase la Tabla 5.5. Finalmente se pudo cuantificar los daños expresados en porcentajes del área de las manzanas con una aceptable probabilidad de acierto, ver Figura 5.16.

**Tabla 5.5 Matriz de confusión, clasificación ISODATA**

| <b>Clases</b>           |   | <b>Vegetación</b> | <b>Daños</b> | <b>Tierra</b> | <b>Edifica.</b> | <b>Total</b> |
|-------------------------|---|-------------------|--------------|---------------|-----------------|--------------|
| No clasificado          |   | 8.3               | 1.18         | 0             | 0               | 1.1          |
| Clase 1 (Vegetación)    | 1 | 91.7              | 0.15         | 0             | 0               | 8.84         |
| Clase 3 (Daños)         |   | 0                 | 73.34        | 24.23         | 0.21            | 21.4         |
| Clase 4 (Suelo/tierra)  | 4 | 0                 | 25.33        | 75.77         | 0.55            | 14.31        |
| Clase 6 (Edificaciones) | 6 | 0                 | 0            | 0             | 99.24           | 54.35        |
| <b>Total</b>            |   | <b>100</b>        | <b>100</b>   | <b>100</b>    | <b>100</b>      | <b>100</b>   |

En la matriz se observa una gran confusión entre las clases “daños” y “suelo/tierra”, lo cual es coherente considerando el tipo de material de las construcciones (Quincha y adobe en su mayoría), sumado a las malas prácticas al momento de construir las viviendas. El coeficiente kappa determinado fue de 0.8323 e indica una precisión total de 89.52%, los errores comisión (inclusión de clase en otras) y omisión (exclusión de la clase en otras) se muestran en la Tabla N° 5.6.

**Tabla 5.6: Error porcentual de Comisión y Omisión**

| <b>Clases</b>           |   | <b>Comisión (%)</b> | <b>Omisión (%)</b> |
|-------------------------|---|---------------------|--------------------|
| Clase 1 (Vegetación)    | 1 | 0.43                | 8.3                |
| Clase 3 (Daños)         |   | 11.7                | 26.66              |
| Clase 4 (Suelo/tierra)  | 4 | 47.75               | 24.23              |
| Clase 6 (Edificaciones) | 6 | 0                   | 0.76               |

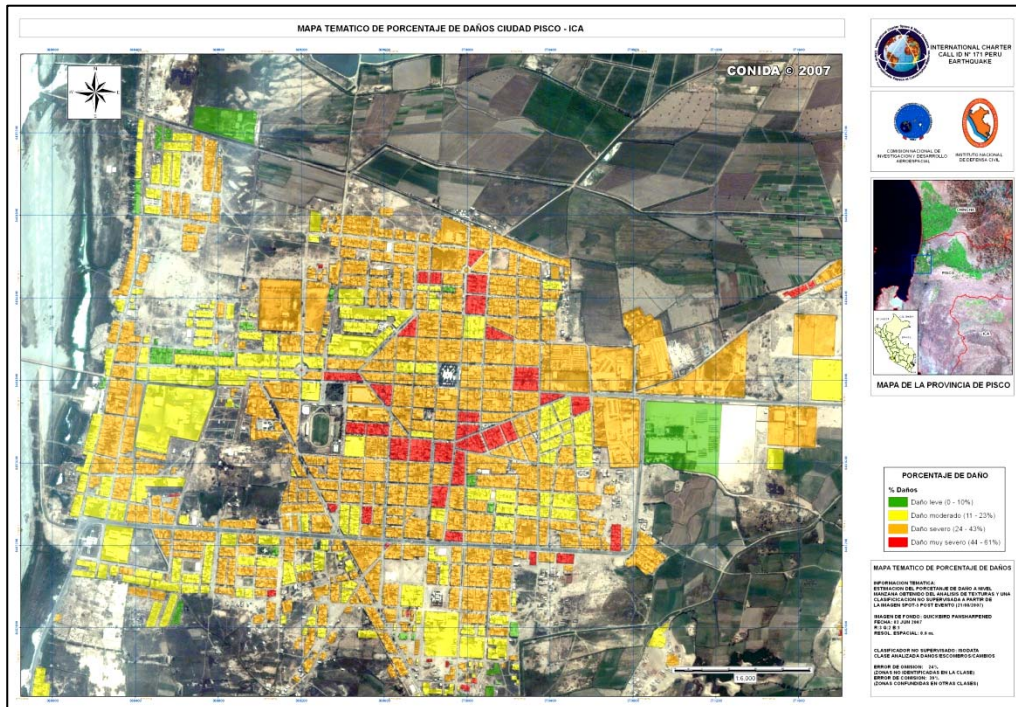


Figura 5.15: Presentación producto final. Mapa de daños expresado en porcentaje.

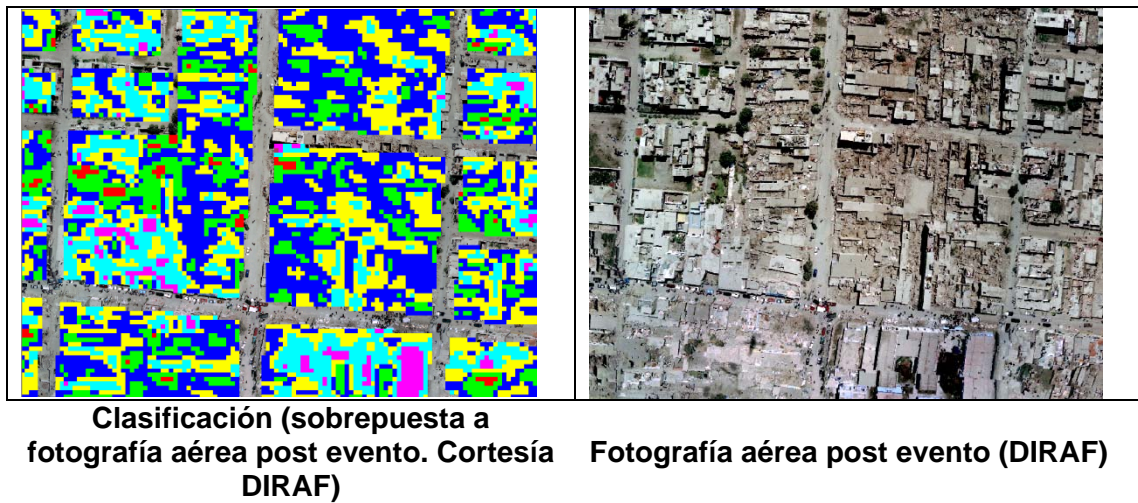


Figura 5.16: Comparación de resultados con aerofotografías

**Conclusiones y recomendaciones:**

- Los resultados obtenidos en la presente publicación, así como el grado de precisión alcanzado a pesar de las limitaciones descritas, refuerzan las posibilidades de aplicación de la tecnología satelital en ámbitos muy variados, siendo uno de ellos el caso de la evaluación preliminar de los efectos producidos por los terremotos.
- Las imágenes de satélite de alta resolución han permitido obtener un mapa de daños preliminar, producidos por el terremoto del 15-08-2007 en la ciudad de Pisco, cuya precisión es aceptable considerando el

grado de coincidencia con los datos obtenidos directamente en campo por el INDECI (sobre toda la mayor parte de la ciudad).

- Es evidente que la precisión de los productos dependerá en gran parte de la resolución espacial del sensor, sin embargo es necesario considerar otras variables externas en la generación de los resultados como son: las condiciones climáticas, la distribución de la ciudad, resolución temporal, el periodo de revisita del satélite, etc.
- La información catastral (especialmente la información geográfica de las manzanas) en este tipo de evaluaciones puede mejorar de manera significativa los resultados, y esto ha quedado demostrado en nuestra evaluación, por ello es prioridad que todas las áreas sísmicas urbanas cuenten con esta información.

### 5.6.2 INTENSIDADES SÍSMICAS

Con la finalidad de determinar las intensidades sísmicas en la escala de Mercalli modificada internacional (MMI) ocurridas en el área de estudio por el sismo del 15/08/07, primeramente se ha realizado una inspección de daños a nivel expeditivo por lotes y manzanas en el área que comprende los distritos de San Andrés y Pisco. Esta inspección ha sido realizada por el Equipo Consultor INDECI en la segunda quincena del mes de Setiembre del 2007.

La inspección se realizó para determinar las cantidades porcentuales por cada nivel de daño y cada tipo de construcción en el total de edificaciones (lotes) dentro de una manzana.

Las categorías utilizadas son las siguientes:

- a).- Edificaciones de material noble sin daño
- b).- Edificaciones de material noble con afectación
- c).- Edificaciones de material noble con daño severo
- d).- Edificaciones de adobe, tapial o similar con afectación
- e).- Edificaciones de adobe, tapial o similar con daño severo o colapsado

El nivel de daño correspondiente a la denominación “con afectación” no compromete el comportamiento estructural del edificio (parapetos derruidos, fisuras en muros u otros), mientras que un nivel de daño severo ya compromete la estabilidad estructural y física del edificio (grietas en muros portantes, colapso de columnas y vigas o asentamiento en parte de la edificación).

Para facilitar el proceso de levantamiento y consolidación de información de campo, se optó por sectorizar Pisco y San Andrés en grandes áreas de trabajo, tal como se presenta en la Figura N° 5.17. El primer sector corresponde a Pisco Playa (I), mientras que los cuatro siguientes sectores corresponden a Pisco Pueblo por encima de la Av. Las Américas (II, III, IV, V). Los sectores sexto y séptimo corresponden al área de expansión urbana de la ciudad de Pisco que está al sur de la Av. Las Américas (VI, VII). El caso del establecimiento urbano de Pachanga se adiciona (Sector VIII). Finalmente la evaluación se completa con la revisión de la zona urbana íntegra del distrito de San Andrés (Sector IX). Los demás establecimientos

que circundan las áreas urbanas descritas y que por ser de reducido tamaño o presentan dispersión de edificaciones, se evaluaron de manera generalizada.

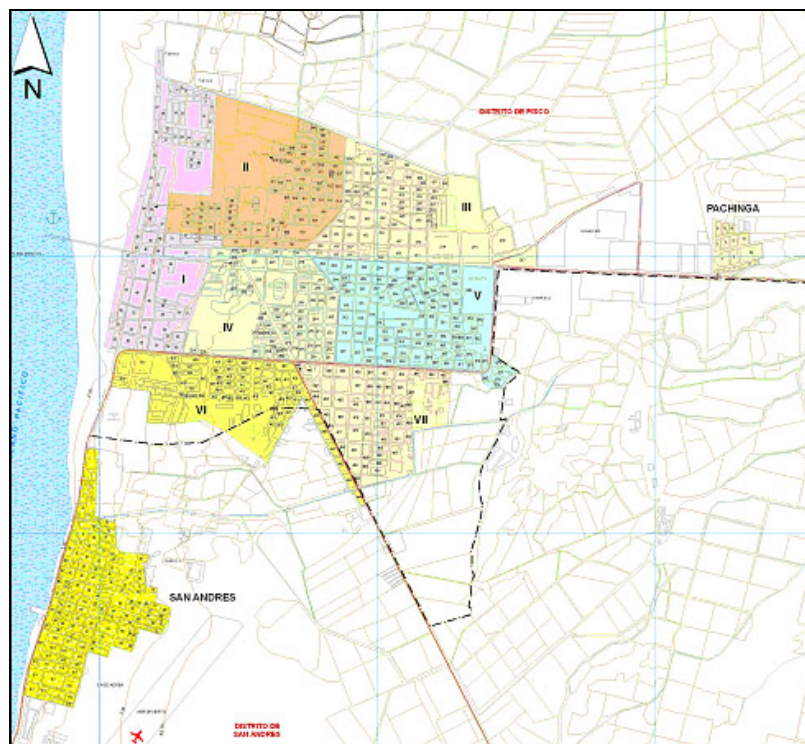


FIGURA N° 5.17: Sectorización para levantamiento de daños en Pisco y San Andrés

La sectorización con la ubicación y codificación de las manzanas evaluadas se muestra en la LAMINA N° 1.1 adjunta en el ANEXO N° 02 del presente informe.

Asimismo, los resultados de la contabilización de predios por tipo de construcción y daño para cada manzana de las áreas urbanas evaluadas se presentan en el CUADRO N° 1.1 adjunto, también en el ANEXO N° 02; donde la numeración de cada manzana está en relación a la codificación de la Lámina.

La determinación de daños producidos por el sismo del 15/08/07 a nivel de manzanas se presenta en el MAPA N° 5.5, y resume los resultados de la inspección realizada al área de estudio.

En las Fotos N° 5.20 al 5.27, se presenta un descripción resumida de daños característicos en edificaciones, por sectores urbanos de Pisco y San Andrés, en el orden seguido en el presente estudio.

Para la determinación de intensidades sísmicas producidas por el sismo del 15/08/07, se ha utilizado la escala de intensidades de Mercalli Modificada Internacional (MMI), concordada y complementada con la escala de Mercalli Modificada para los Países Andinos (MMA-01) relacionada a los niveles identificados.

**Foto 5.20: Inspección de daños en el Sector I correspondiente a Pisco Playa**

---



**Calle Demetrio Miranda**

La zona sur de Pisco Playa es la más densamente poblada de este sector urbano y la que más destrucción presentó. La mayor destrucción está en la zona comprendida entre las calles Demetrio Miranda y Julio Gómez Quiñones. Edificaciones de material noble, sin importar el número de pisos, recibieron un daño severo en su mayoría



**Calle Manuel Pardo**

La zona centro de Pisco Playa es el área más antigua con grandes edificaciones de adobe y quincha. La mayoría de este tipo de edificaciones se derruyó mientras que otras colapsaron perdiendo la verticalidad. Sin embargo, parte importante de las edificaciones de material noble solo tuvieron simples afectaciones por parte del sismo.



**Prolg. Manuel Pardo a la altura de la Urb. Almirante Miguel Grau**

La zona norte de Pisco Playa que concentra las áreas urbanas más recientes (Leticia, Boca del Río, Alm. Miguel Grau) solo muestra daño severo sin distingo del material constructivo en la primera hilera de manzanas paralela al litoral. El resto de las edificaciones tuvieron respuesta al sismo según su constitución constructiva. La mayoría de viviendas de material noble solo tuvieron afectaciones

**Foto 5.21: Inspección de daños en el Sector II correspondiente al área urbana noroeste de Pisco Pueblo**

---



Esta zona de Pisco Pueblo contiene urbanizaciones con el mayor grado de edificaciones completamente construidas y de menor densidad vertical. Hay poca cantidad de viviendas de adobe u otro material rústico, de las cuales la mayoría recibieron un daño muy significativo. En cuanto a las edificaciones de material noble, el número de pisos y la incorrecta continuidad de elementos estructurales hacia niveles superiores permitieron daños significativos con motivo del sismo

**Edificio en la calle Concordia perteneciente a la Urb. Manuel Barrionuevo**

---



La mayoría de las urbanizaciones como La Alborada, Pesca Perú, Manuel Barrionuevo, Manuel Gonzáles Prada y las que rodean al Parque Zonal no contienen mayores daños debido a que casi todas las viviendas son de material noble que no sobrepasan los dos pisos de altura (la mayoría son de un piso)

**Vista de la Urb. La Alborada**

---



---

**Foto 5.22: Inspección de daños en el Sector III correspondiente al área urbana noreste de Pisco Pueblo**

---



**Edificio en la calle San Francisco**

La parte de este sector que pertenece al casco central de la ciudad es la que recibió la mayor del impacto. En este sub-sector, la totalidad de edificaciones de adobe y quincha colapsaron y la mayor parte de las edificaciones de material noble como la que se muestra al costado recibieron un daño severo.



**Hospital de ESSALUD**

La mayoría de las edificaciones de material noble están por encima de los dos pisos en el área céntrica descrita. Sin embargo, hay edificaciones de poca altura que quedaron inutilizados como el Hospital de ESSALUD debido a incorrectos diseño y proceso constructivos



**Vivienda al pie del ovalo de la calle Pedro Penagos**

Las edificaciones que están periféricas al área céntrica de la ciudad (norte y este de este sector) recibieron daños según su constitución constructiva. Un caso peculiar es el área de las inmediaciones del ovalo en la Calle Pedro Penagos, donde las viviendas aun de material noble recibieron daños muy severos.

**Foto 5.23: Inspección de daños en el Sector IV correspondiente al área urbana suroeste de Pisco Pueblo**

---



Esta área contiene el sector de mayor comercio de la ciudad, que principalmente está comprendida entre la calle Beatita de Humay y el Estadio de Pisco. En ella se ubica los mercados de la ciudad. Esto ha traído la proliferación de edificaciones irregulares con el único fin de acoger la actividad comercial en su interior. La mayor parte de estas construcciones son deficientes en su diseño y materiales. El hacinamiento y el desorden han provocado el poco mantenimiento de estas edificaciones que el sismo puso en relieve el grado de vulnerabilidad existente.

**Edificio en la calle Beatita de Humay**

---



**Vista de la calle Callao paralela a la calle San Martín**

---

La zona netamente urbana de este sector ha sufrido daños según el carácter constructivo de cada edificación. De esta manera las viviendas de adobe siempre resultaron ser las mayor afectadas. En el caso de material noble, las afectaciones graves solo se presenciaron en zonas contiguas al centro de Pisco y la calle San Martín y también en los asentamientos 5 de Diciembre, Los Libertadores y Nueva América (problemática de la autoconstrucción)

---

**Foto 5.24: Inspección de daños en el Sector V correspondiente al área urbana sureste de Pisco Pueblo**

---



**Vivienda en la calle Ayacucho**

Este sector presenta edificaciones de las más antiguas de Pisco junto al Sector III y el Sector I de Pisco Playa. La parte céntrica manifiesta el mismo nivel de daño ya descrito en el sector III. No obstante, existe una proliferación de edificaciones con heterogeneidad de materiales constructivos (adobe y material noble). La mayor parte de este tipo de construcciones recibió una afectación media a severa.



**Vivienda en la calle San José**

Existe un sub-sector comprendido entre las calles San Miguel y San José, que se extiende hasta la calle San Clemente hacia al este, donde gran parte de las edificaciones de todo tipo han recibido daños severos. Igualmente la heterogeneidad de los materiales constructivos y el forzamiento de elementos estructurales para levantar más niveles fueron grandes factores.



**Vivienda en el A. H. Beatita de Humay**

En la parte sureste de este sector, colindante a la av. Las Américas existen asentamientos humanos como Beatita de Humay y Pilar Nores, donde las viviendas de adobe muestran daño severo junto a algunas casa de material noble a pesar de ser de un piso. La construcción incompleta y la autoconstrucción sin asesoría técnica merman el comportamiento de estas viviendas

**Foto 5.25: Inspección de daños en el Sector VI correspondiente al área de expansión urbana (lado oeste), al sur de Pisco Pueblo**

---



**Pabellón antiguo del Colegio San Martín**

---

Este sector junto a I sector VII se ubican al sur de la Av. Las Américas. En el lado oeste la parte con mayor afectación se ubica contigua a la avenida mencionada como el caso de del Colegio San Martín (el más extremo) que aparece en la foto del costado. En esta zona casi todas edificaciones de material noble solo sufrieron hasta una afectación media.



**Casa ubicada al este de la Prolg. San Isidro**

---

La mayor parte de este sector, las viviendas son de dos pisos con buen nivel de acabado. El material noble es el predominante y los daños han sido mínimos. La foto del costado muestra una casa sin ningún daño. Las urbanizaciones que se ubican entre la Prolg. San Isidro y la Av. Abraham Valdelomar han tenido igual comportamiento (caso de la urb. Antoniana).



**Edificación colindante a la Urb. Antoniana**

---

El buen comportamiento de las edificaciones de este sector ha sido independiente al número de pisos tal como se muestra en la foto del costado. La fuerza del sismo no ha tenido mayor efecto en esta área al encontrarse edificaciones de adobe, de las pocas que hay, que no lograron fallar o quedar inhabilitadas.

---

**Foto 5.26: Inspección de daños en el Sector VII correspondiente al área de expansión urbana (lado este) y al Sector de Pachinga**

---



**Calle Los Álamos**

En el sector este que corresponde al área de expansión urbana de Pisco (Lotización La Esperanza), las viviendas de material noble no han recibido mayor afectación salvo en algunas sub-sectores. Las viviendas en estos sectores han seguido la autoconstrucción en casi todo los casos y no sobrepasan en su mayoría la primera planta.



**Cruce de las calles Los Álamos y Bolívar**

La afectación media en este patrón de construcciones de material noble que presenta el Sector VII se registra en las inmediaciones de la calle Simón Bolívar. En esta área la autoconstrucción es más deficiente.



**Vivienda mayor afectada de Pachinga**

En Sector urbano de Pachinga, las viviendas de adobe han sufrido severos daños mientras que las de material noble sufrieron una afectación media. Las únicas edificaciones del último tipo que sufrieron daños severos se debieron a factores muy localizados como el caso presentado al costado donde el canal de desagüe que cruza el acceso más grande ha inducido un plano de falla en la casa (posible zanja mal compactada)

---

**Foto 5.27: Inspección de daños en el Sector urbano correspondiente al Distrito de San Andrés**

---



El distrito de San Andrés presenta diversas áreas que presentan distintos de afectación. El área sur, que parte por debajo de la Calle Jorge Chavez, la afectación solo se percibe medianamente en algunas viviendas de adobe.

**Calle Jorge Chávez**

---



En la parte central de San Andrés, la afectación de en viviendas de material noble se concentra en las manzanas centrales al este de la plaza de armas principalmente. Las construcciones rústicas o antiguas han colapsado mediana o totalmente en toda el área central de San Andrés

**Calle al pie de la Plaza de Armas**

---



**Conjuntos habitacionales a la entrada de San Andrés**

---

En el sector norte de San Andrés hay mayor proliferación de conjuntos de vivienda de material noble que presentan en la mayor de los casos ningún daño estructural o menor inclusive

Con los datos obtenidos en la inspección de daños realizada y que se presenta en el MAPA N° 5.4, se ha estimado que las intensidades sísmicas percibidas en Pisco y San Andrés durante el sismo del 15/08/07 están entre un mínimo de grado seis (VI) y hasta un máximo de grado ocho (VIII), de acuerdo a la siguiente descripción:

**Grado VI** : Percibido por todos y muchos corren asustados al aire libre. Daños leves en construcciones. Se producen fisuras en las esquinas de las edificaciones rústicas (adobe y tapial, entre otros) que no sobrepasan los dos milímetros de espesor.

**Grado VII** : Todos corren al aire libre. Los daños a las edificaciones varían dependiendo de la calidad de la edificación. Percibido por conductores de autos. Se producen grietas (espesores mayores a 2 mm.) en las esquinas y parte central en las edificaciones rústicas (adobe y tapial, entre otros).

Pequeñas fisuras en las esquinas de las construcciones de material noble. Desprendimiento de trozos de tarrajeo en las viviendas de quincha. Fisuras en forma de “X” en columnas cortas dentro de edificaciones de concreto armado. Fisuras y grietas en muros de tabiquería en edificaciones de material noble (incluyendo parapetos y cercos)

**Grado VIII** : Caída de tabiquería, chimeneas, monumentos y paredes. Eyección de arena y barro. Perturbación entre los conductores de autos. Colapso parcial de viviendas rústicas. Daños importantes, incluyendo colapso parcial, en edificaciones de albañilería sin columnas y baja densidad de muros. Fisuras en muros de edificaciones de albañilería reforzada.

Fallas visibles en edificios de concreto armado con problema de columnas cortas y otros puntos críticos. Grietas bien pronunciadas en muros de tabiquería

Algunos edificios de concreto armado con varios desperfectos estructurales pueden colapsar y se puede producir el fenómeno de licuación en suelos arenosos saturados.

En el caso de Pisco, se identifican zonas que van desde áreas en transición de intensidad VI a VII hasta claramente intensidad VIII, tal como se presenta en el MAPA N° 5.5.

En las Fotos 5.28 al 5.30, se presenta una descripción resumida de los diversos grados de intensidad sísmica (MM) percibidos en Pisco y San Andrés, durante el sismo del 15/08/07.

Del MAPA N° 5.5, se desprende que los mayores daños ocasionados por el sismo del 15/08/07 se concentran en el casco urbano de Pisco Pueblo (severo a colapso), alrededor de la Plaza de Armas hasta llegar a la Av. Las Américas por el sur; la cual representa un límite físico de una transición gradual de daños desde el severo hasta el leve. Al sur y sur-este de la Av. Las Américas los daños se muestran leves a moderados y es la zona que mejor ha resistido el sismo.

**Foto 5.28: Determinación de zonas de intensidad sísmica de grado VI a VII en los distritos de Pisco y San Andrés**



**Calle N° 2 a dos cuadras de SENATI**

El área de expansión urbana de Pisco que se ubica al sur de la av. Las Américas ofrece una intensidad que transita entre VI y VII, casi en su mayor parte. En esta área la mayoría de las edificaciones de material noble no tienen ninguna afectación. Caso parecido se observa en el área urbana colindante al Parque Zonal de Pisco (urb. La Alborada)



**Casa a espaldas de la Av. A. Valdelomar**

En varios casos de las viviendas de adobe, éstas han quedado habitables después del sismo, tal como se muestra en la foto del costado. Dicha vivienda pertenece al A. H. Abraham Valdelomar ubicada en el área de expansión al sur de Pisco. De esta área urbana de expansión, solo las zonas colindantes a la av. Las Américas y el extremo este se observan intensidades sísmicas mayores



**Primera cuadra perteneciente a San Andrés de la carretera de Pisco a Paracas**

En el caso de San Andrés, los extremos sur y norte, junto a los nuevos asentamientos como Acapulco y Jorge Chávez están sujetas a esta zona de intensidad sísmica. En la foto del costado se muestra una manzana al ingreso de San Andrés (extremo norte), donde hay edificaciones de distinto tipo constructivo presentando daños son muy mínimos



**Foto 5.29: Determinación de zonas de intensidad sísmica de grado VII en los distritos de Pisco y San Andrés**

---



**Casa en la primera cuadra de la calle Fermín Tangüis**

Esta área comprende el caso de las edificaciones de material noble que han sufrido afectación leve a mediana, y normalmente por alguna deficiencia. En la foto del costado se muestra una edificación con grietas en los muros por estar ubicado en la esquina



**Esquina de calles Callao y Castilla**

Mientras que las edificaciones de material sufren recién daños, los de material sufren daños que comprometen seriamente su habitabilidad. La única opción en estos casos es la demolición, tal como ocurre en la mayoría de estas áreas identificadas entre las que se encuentran las zonas urbanas de Barrionuevo, M. Gonzáles Prada, Pesca Perú, San Isidro, Pedregal, La Victoria, Santa Rosa.



**Vista del A. H. Boca del río**

A las áreas mencionadas se agregan los diversos centros poblados y asentamientos aledaños. En el caso de Pisco Playa, la intensidad VII se observó en el A. H. Boca del río y las áreas tierra dentro del C. P. Leticia y la Urb. Almirante Miguel Grau. En el caso de San Andrés, la situación es similar a lo que se muestra en la foto del costado y prácticamente se manifiesta en todo el área central del distrito.

---

**Foto 5.30: Determinación de zonas de intensidad sísmica de grado VIII en los distritos de Pisco y San Andrés**

---



**Edificio en la calle Dos de Mayo**

Esta área compromete todo el sector céntrico de la ciudad de Pisco. El edificio de la foto contigua muestra un daño severo y es aledaño al edificio del Hotel Embassy que ya fue demolido. La deformación de los elementos estructurales en la primera planta (piso blando) y la presencia de columnas cortas han sido de los casos más comunes en este tipo de edificaciones.



**Vivienda en la calle Demetrio Miranda**

En el caso de Pisco Playa, la primera hilera de manzanas paralela al litoral ha tenido una afectación severa para todo tipo de construcción. Mayor parte inducido por la presencia de licuación que ha fracturado parte de la planta de edificaciones, tal como se muestra en la foto contigua donde la última columna trasera y la planta aledaña perdieron la verticalidad y nivel.



**Vista del edificio restante Hospital San Juan de Dios de Pisco**

A pesar del daño que han recibido las edificaciones en la parte céntrica de Pisco, los edificios sismorresistentes no recibieron afectación alguna lo que acredita una intensidad máxima normal de grado VIII. En la foto contigua se muestra el contraste de la parte antigua y moderna del hospital del MINSA en la ciudad.

En el caso de San Andrés, la intensidad VIII apenas se alcanza en su parte central.

Los daños ocasionados por el sismo del 15/08/07 en San Andrés son de leves a moderados en su mayoría; sin embargo, parte del área central presenta estructuras colapsadas o severamente dañadas, debido a la alta vulnerabilidad de las edificaciones existentes.

Del Mapa N° 5.6, se desprende que las mayores intensidades en la escala de Mercalli modificada (MM) producidas por el sismo del 15/08/07 se concentran en el casco urbano de Pisco Pueblo, alrededor de la Plaza de Armas con una intensidad máxima de VIII y que va disminuyendo gradualmente al alejarse, hasta llegar a la Av. Las Américas por el sur con una intensidad máxima de VII. Al sur y sur-este de la Av. Las Américas la intensidad máxima percibida es de VI a VII (Menor grado evaluado) y que coincide con el área de Pisco que mejor ha resistido los efectos del sismo.

Las intensidades sísmicas producidas por el sismo del 15/08/07 en San Andrés son de grado VI a VII en la mayor parte del distrito; sin embargo, parte del área central presenta grados que van de VII a VIII.

### 5.6.3 ACELERACIONES MAXIMAS

El sismo de Pisco fue registrado por un total de 15 acelerómetros pertenecientes a la Red Sísmica Nacional a cargo del IGP, además de otros acelerómetros del CISMID, SEDAPAL, PUCP y CERESIS. De todos estos acelerómetros, solamente uno (Estación Parcona), se encuentra en el departamento de Ica próximo a la zona epicentral (Pisco) y el resto distribuidos en diversos distritos de Lima Metropolitana. En el CUADRO N° 5.2, se presentan los valores máximos de aceleración registradas en cada estación acelerométrica.

El sismo del 15 de agosto de 2007, generó aceleraciones máximas del terreno de 488 cm/seg<sup>2</sup> (Estación PCN) en la zona cercana al epicentro; valor alto que puede ser debido probablemente a que la estación se ubica sobre suelo sedimentario. Este valor se atenuó con la distancia y en la ciudad de Lima se registraron aceleraciones máximas de 22.1 y 22.5 cm/seg<sup>2</sup> en las estaciones de NNA (Ñaña) y E2 (Estanque 2- Atarjea), ambas ubicadas sobre terreno rocoso. En estaciones ubicadas sobre suelos sedimentarios, como RIN (Rinconada-La Molina) y CALLAO (Callao-Hidrografía de la Marina), las aceleraciones alcanzaron valores máximos de 115.2 y 101.9 cm/seg<sup>2</sup> respectivamente. En el distrito de La Molina funcionan 3 acelerómetros (LMO, LA MOLINA y RIN), separados por distancias cortas y en las cuales se obtiene valores máximos de aceleración del suelo de 25.3, 69.1 y 115.2 cm/seg<sup>2</sup>, respectivamente. La estación LMO esta ubicada sobre suelo rocoso y la estación RIN sobre relleno sedimentario, lo cual produce la amplificación de las ondas sísmicas; por lo tanto, habría efectos de sitio.

Las estaciones E1 y E2, se encuentran en el distrito de Santa Anita-Atarjea, separadas por una distancia aproximada de 200 metros. Estas estaciones registraron aceleraciones máximas de 54.8 y 20.5cm/seg<sup>2</sup> respectivamente, estando E2 sobre roca y E1 sobre sedimento.

El resto de estaciones se encuentran distribuidas en el extremo sur de la ciudad de Lima (ANR, CLD-CIP y CER) y presentan valores máximos de 85.26, 58.8 y 58.67 cm/seg<sup>2</sup>, respectivamente. Las estaciones distribuidas en el extremo Norte de la ciudad de Lima (PUCP, MAY y CISMID), tienen valores

máximos de 67.0, 59.7 y 73.9 cm/seg<sup>2</sup>, siendo relativamente próximos a los registrados en el extremo sur de Lima.

### CUADRO Nº 5.2

Aceleración máxima (Amax) registrada por estaciones acelerométricas en Ica y Lima.

| ESTACIONES IGP |                  | ACELERACIONES MAXIMAS (cm/s <sup>2</sup> ) |           |           | A máxima (cm/s <sup>2</sup> ) |
|----------------|------------------|--|-----------|-----------|-------------------------------|
| CODIGO         | LOCALIDAD        | COMP. V                                    | COMP. N-S | COMP. E-O |                               |
| PCN            | Parcona - Ica    | 301.00                                     | 455.00    | 488.00    | 488.00                        |
| MAY            | Mayorazgo - Lima | 31.20                                      | 59.70     | 55.00     | 59.70                         |
| ANC            | Ancón - Lima     | 27.80                                      | 54.70     | 58.40     | 58.40                         |
| LMO            | La Molina - Lima | 14.20                                      | 21.20     | 25.30     | 25.30                         |
| NNA            | Naña - Lima      | 21.60                                      | 18.70     | 22.10     | 22.10                         |

| ESTACIONES CERESIS |                      | ACELERACIONES MAXIMAS (cm/s <sup>2</sup> ) |           |           | A máxima (cm/s <sup>2</sup> ) |
|--------------------|----------------------|--|-----------|-----------|-------------------------------|
| CODIGO             | LOCALIDAD            | COMP. V                                    | COMP. N-S | COMP. E-O |                               |
| RIN                | Rinconada - Lima     | 57.70                                      | 115.00    | 111.00    | 115.00                        |
| ANR                | A. Nacional R.- Lima | 73.50                                      | 65.20     | 85.30     | 85.30                         |
| CER                | Ceresis - Lima       | 37.30                                      | 58.00     | 58.70     | 58.70                         |

| ESTACIONES PUCP |                    | ACELERACIONES MAXIMAS (cm/s <sup>2</sup> ) |           |           | A máxima (cm/s <sup>2</sup> ) |
|-----------------|--------------------|--|-----------|-----------|-------------------------------|
| CODIGO          | LOCALIDAD          | COMP. V                                    | COMP. N-S | COMP. E-O |                               |
| PUCP            | U. Católica - Lima | 39.69                                      | 59.58     | 67.03     | 67.03                         |

| ESTACIONES CISMID |                     | ACELERACIONES MAXIMAS (cm/s <sup>2</sup> ) |           |           | A máxima (cm/s <sup>2</sup> ) |
|-------------------|---------------------|--|-----------|-----------|-------------------------------|
| CODIGO            | LOCALIDAD           | COMP. V                                    | COMP. N-S | COMP. E-O |                               |
| CISMID            | Rímac - Lima        | 32.90                                      | 45.10     | 73.90     | 73.90                         |
| CLD-CIP           | San Isidro - Lima   | 33.05                                      | 58.80     | 54.10     | 58.80                         |
| LA MOLINA         | La Molina - Lima    | 56.80                                      | 69.10     | 78.70     | 78.70                         |
| CALLAO            | DHN - Lima - Callao | 31.60                                      | 101.00    | 95.80     | 101.00                        |

| ESTACIONES SEDPAL |                | ACELERACIONES MAXIMAS (cm/s <sup>2</sup> ) |           |           | A máxima (cm/s <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------|--|-----------|-----------|-------------------------------|
| CODIGO            | LOCALIDAD      | COMP. V                                    | COMP. N-S | COMP. E-O |                               |
| E1                | Atarjea - Lima | 30.38                                      | 49.98     | 54.88     | 54.88                         |
| E2                | Atarjea - Lima | 11.76                                      | 12.74     | 20.58     | 20.58                         |

De acuerdo a las variadas relaciones semiempíricas existentes entre la aceleración sísmica máxima esperada en el suelo y la intensidad del sismo en la escala Mercalli modificada MM (2), se estima que la aceleración máxima del suelo, ocurrida en el área de estudio durante el evento sísmico del 15/08/07 estuvo entre 300 cm/s<sup>2</sup> a 500 cm/s<sup>2</sup>.

#### 5.6.4 PELIGRO SISMICO

Con la finalidad de evaluar el peligro sísmico, se ha desarrollado la metodología siguiente:

- a) Se ha definido una malla de 27 X 27Km representativa para el área de estudio, tomando en cuenta que Pisco, San Andrés y sus áreas de expansión se encuentren dentro de la misma.

- b) Se ha determinado las fuentes sismogénicas a ser utilizadas en el programa RISK, considerando la cercanía de las mismas a la ciudad de Pisco y San Andrés y su incidencia en los movimientos sísmicos de éstas.

Las fuentes sismogénicas usadas son:

Fuentes de subducción: F3, F4, F5, F15, F16, F17, F19 y F20.

Fuentes continentales: F7, F8, F9, F11 y F12.

- c) Definidas las fuentes sismogénicas a ser utilizadas y con conocimiento de su ubicación geográfica y sus parámetros sísmicos que intervienen en los cálculos del programa RISK; se ha procedido a correr este último.
- d) De la salida del programa de cómputo RISK con LMsubd, LMcont y LMsuma, se determina los resultados de aceleración máxima horizontal para sismos con periodos de retorno de 30, 50, 100, 200, 400, 475 y 975 y que se presentan en el CUADRO N° 5.3.

### CUADRO N° 5.3

Resultados de aceleración sísmica máxima para la provincia de Pisco obtenidos con el programa RISK

| Punto | Riesgo      | 0.03333 | 0.02   | 0.01   | 0.005  | 0.0025 | 0.00211 | 0.00105 |
|-------|-------------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
|       | Tr (Años)   | 30      | 50     | 100    | 200    | 400    | 475     | 950     |
| G     | Coordenadas | -76.25  | -14.00 |        |        |        |         |         |
|       | Aceleración | 228.85  | 262.70 | 312.76 | 372.34 | 442.65 | 461.68  | 549.06  |
| H     | Coordenadas | -76.00  | -14.00 |        |        |        |         |         |
|       | Aceleración | 224.94  | 258.34 | 307.26 | 365.43 | 434.19 | 452.78  | 537.99  |
| I     | Coordenadas | -75.75  | -14.00 |        |        |        |         |         |
|       | Aceleración | 210.96  | 242.09 | 288.01 | 341.74 | 405.42 | 422.57  | 501.09  |
| D     | Coordenadas | -76.25  | -13.75 |        |        |        |         |         |
|       | Aceleración | 223.40  | 257.01 | 306.12 | 364.62 | 434.08 | 452.94  | 539.02  |
| E     | Coordenadas | -76.00  | -13.75 |        |        |        |         |         |
|       | Aceleración | 213.98  | 246.21 | 293.29 | 348.93 | 414.93 | 432.73  | 14.33   |
| F     | Coordenadas | -75.75  | -13.75 |        |        |        |         |         |
|       | Aceleración | 198.68  | 227.53 | 271.83 | 322.64 | 382.95 | 399.35  | 473.90  |
| A     | Coordenadas | -76.25  | -13.50 |        |        |        |         |         |
|       | Aceleración | 217.93  | 251.17 | 299.38 | 356.85 | 425.00 | 443.40  | 527.86  |
| B     | Coordenadas | -76.00  | -13.50 |        |        |        |         |         |
|       | Aceleración | 204.68  | 235.20 | 281.26 | 334.78 | 398.49 | 415.61  | 494.08  |
| C     | Coordenadas | -75.75  | -13.50 |        |        |        |         |         |
|       | Aceleración | 186.41  | 213.11 | 255.33 | 303.45 | 360.64 | 376.20  | 446.71  |

Fuente : Elaboración equipo consultor INDECI-PNUD, 2007

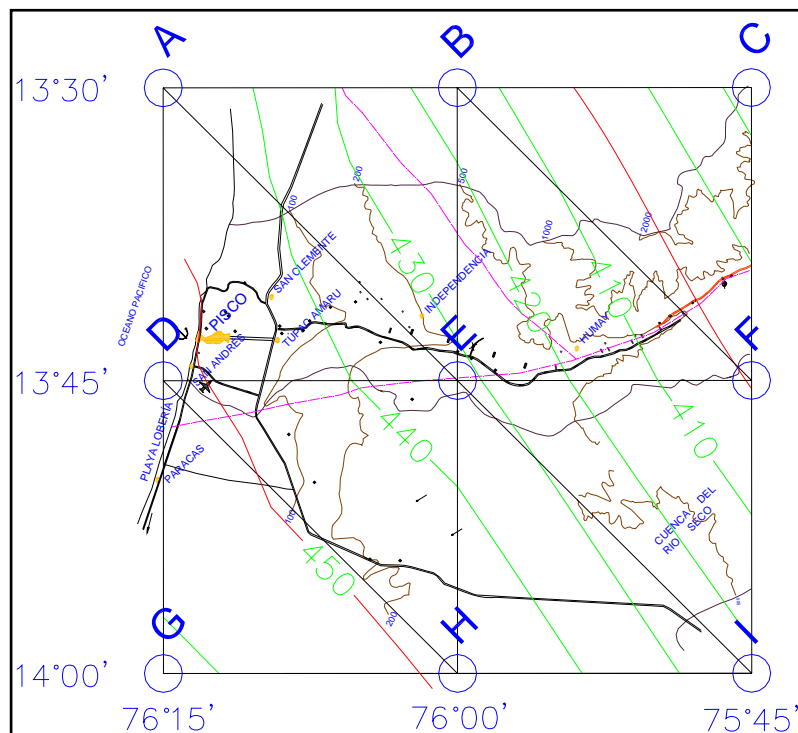
En la FIGURA N° 5.18, se muestra las curvas de igual aceleración sísmica máxima producidas por un sismo con un período de retorno de 475 años y que tiene una probabilidad de ocurrencia de 10% durante una vida útil de 50 años, para la provincia de Pisco, resaltando el punto "D", como el más

cercano al área de estudio propiamente dicha (Distritos de Pisco y San Andrés).

Se observa que los valores más altos de las aceleraciones máximas están localizados a lo largo de toda la costa y van disminuyendo a medida que se avanza hacia el Este. Así las zonas de Paracas, San Andrés y Pisco tienen los valores más altos de aceleración, 0.46g para un sismo con un periodo de retorno de 475 años. Debe considerarse que en estas zonas se han producido históricamente sismos muy grandes y además son las zonas que presentan una mayor tasa de ocurrencia de sismos.

Las curvas de isoaceleraciones prácticamente se muestran paralelas a la costa, lo que coincide con el mecanismo de subducción.

Los valores de aceleraciones máximas deben considerarse como valores medios esperados en suelo firme, donde no se considera la influencia de las condiciones locales del suelo, ni los efectos de la interacción suelo-estructura. Los resultados obtenidos mediante el Programa RISK LM suma para el punto “D”, representativo del área de estudio muestran que la aceleración horizontal para un sismo con periodo de retorno de 475 años es de 452.94 cm/s<sup>2</sup>, valor que se encuentra alrededor de la aceleración máxima estimada para el evento sísmico del 15/08/07 (Entre 300 a 500 cm/s<sup>2</sup>).



Fuente : Elaboración equipo consultor INDECI-PNUD, 2007

FIGURA Nº 5.18: Curva de isoaceleraciones máximas en la provincia de Pisco (Sismo con periodo de retorno de 475 años y 10% de probabilidad de ocurrencia durante 50 años)

## 5.7 GEOTÉCNIA

### 5.7.1 INVESTIGACIONES DE CAMPO

Los puntos de investigación utilizados por el Equipo Consultor INDECI (29 “calicatas”, 48 DPL - penetración dinámica ligera – y 19 SEV – sondeos eléctricos verticales) en Setiembre del año 2007 se han ubicado estratégicamente, tomando en cuenta la información geológica existente, en zonas donde sea posible validar, complementar y extrapolar la información geotécnica existente y en aquellas zonas de probable expansión urbanística (Sector III y V). La ubicación de los puntos de investigación utilizados para el presente estudio (Año 2007), se presenta en el MAPA N° 5.7.

También las investigaciones realizadas por INGEMMET y CESEL Ingenieros, tales como refracción sísmica, georadar, microtrepidaciones (microtremores), así como 27 calicatas en las que se tomaron muestras disturbadas para la ejecución de los ensayos de laboratorio correspondientes y 22 DPL, repartidas en toda el área de estudio, realizadas por el equipo de CESEL Ingenieros.

La exploración de suelos no sólo se ha limitada a zonas específicas en donde se haya tenido un punto de investigación, sino también, se ha extendido a toda el área de estudio, mediante el uso de un GPS Navegador para dar posición a cortes naturales o artificiales que en la fecha de elaboración de los trabajos de campo se encontraban visibles, los cuales han permitido identificar el tipo y características cualitativas del suelo, por medio de una interpretación visual y manual.

En las “calicatas” excavadas se ha efectuado la descripción del perfil estratigráfico y la toma de muestras de los estratos que conforman el subsuelo. Debido a que los suelos encontrados en las ciudades de Pisco y San Andrés son finos, del tipo limo-arenoso en la parte superior, es que se ha extraído muestras inalteradas en Tubos (mit) y en aquellas zonas donde el suelo es gravo-arenoso, se ha extraído muestras alteradas en bolsas (mab).

Los ensayos DPL realizados han alcanzado hasta una profundidad máxima de 5.0 m. y han permitido por correlaciones empíricas comúnmente usadas, la estimación de un valor medio para el N del ensayo SPT. Estos valores de  $N_{SPT}$  a su vez, han permitido determinar el estado de compacidad y el ángulo de fricción interna del suelo <sup>(5)</sup>. Los ensayos DPL han sido de gran utilidad en la investigación de los suelos de cimentación de Pisco, toda vez, que han permitido inferir la profundidad a la que se encuentra el suelo gravo-arenoso medianamente compacto de origen aluvial y determinar el espesor y propiedades geomecánicas de la cobertura areno-limosa suelta a muy suelta que lo cubre.

Los resultados de las investigaciones de campo: Perfil estratigráfico en 29 “calicatas”; perfil estratigráfico,  $N_{SPT}$ , estado de compacidad y ángulo de fricción interna obtenido en los 48 ensayos se presenta detalladamente en el ANEXO N° 03.

Cabe mencionar que los resultados de los ensayos realizados por INGEMMET y CESEL Ingenieros, tales como: Refracción sísmica, Georadar

y Microtrepidaciones; han permitido confirmar el perfil geológico-estratigráfico hasta una profundidad de 25.0 m. (Máxima profundidad de investigación del INGEMMET), el cual consiste en una cobertura de arena-limosa entre 1.0 m. a 5.0 m., para luego continuar con suelo gravo-arenoso con lentes erráticos de arena hasta alcanzar una profundidad máxima de 25.0 m. Los primeros 25.0 m. del suelo donde se encuentra emplazada la ciudad de Pisco están conformados por un material de origen fluvio – aluvional originado por el cono de deyección del río Pisco en su desembocadura al océano Pacífico.

### 5.7.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los resultados obtenidos en los ensayos de Laboratorio de Suelos a las muestras extraídas en cada una de las 29 “calicatas” excavadas, se presentan en el ANEXO N° 04. Estos representan parámetros físicos y mecánicos del suelo de cimentación, que son los siguientes:

- Clasificación SUCS.
- Humedad natural.
- Densidad natural húmeda y seca.
- Límites de Atteberg: Límite líquido, Límite plástico e Índice de plasticidad.
- Parámetros de esfuerzo-deformación: Angulo de fricción interna y cohesión aparente para condiciones críticas a corto plazo.
- Parámetros químicos: PH, contenido de sales totales, sulfatos y cloruros disueltos en el suelo;

Los cuales, se presentan resumidamente en el Cuadro N° 3.1 del ANEXO N° 04.

### 5.7.3 CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE CIMENTACION

Como resultado de las investigaciones de campo y laboratorio, así como trabajos de gabinete con uso de la información cartográfica disponible se ha desarrollado la zonificación de clasificación de suelos según el sistema único de clasificación de suelos (SUCS) para el área de estudio, tal como se presenta en el Mapa N° 5.8.

La mayor parte de Pisco se encuentra asentada sobre suelos de origen fluvio-aluvional conformado predominantemente por una cobertura de arenas-limosas de baja plasticidad (SM), sueltas, con una potencia entre 1.0 m. a 4.0 m. que yace sobre gravas-arenosas pobremente graduadas (GP), con tamaños máximos de 30.0 cm. a 50.0 cm., sueltas a medianamente compactas.

En la zona sur y sur-este de Pisco a partir de la Av. Las Américas, así como en el distrito de San Andrés; la potencia de la cobertura de arenas-limosas (SM) no excede 1.0 m. y a continuación se encuentran gravas-arenosas (GP) medianamente compactas y saturadas; por lo que en esta zona el suelo de cimentación hasta una profundidad estimada de 4.0 m. son gravas. En el zona central de Pisco Pueblo alrededor de la Plaza de armas, la potencia de la cobertura de arena-limosa (SM) suelta a muy suelta es de 3.0 m. a 4.0 m. aproximadamente; por lo que en esta zona el suelo de cimentación y que comprende la zona activa de presiones actuantes de las edificaciones, son arenas-limosas.



Entre la zona central de Pisco Pueblo y la zona sur y sur-este se desarrolla una transición de la profundidad a la que se encuentra el suelo gravo-arenoso (GP) desde un máximo de 4.0 m. hasta un mínimo de 1.0 m., respectivamente; por lo que el suelo de cimentación comprende un poco de arena-limosa (SM) en el primer metro y otro de grava-arenosa (GP) en el restante.

#### 5.7.4 CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE CIMENTACION

Con la información obtenida en los ítems anteriores, se efectúa el cálculo de la capacidad portante de los suelos de cimentación del área de estudio (profundidad activa de presiones entre 1.0 m.y 3.0 m.), tomando en cuenta los procedimientos geotécnicos usuales y el criterio ingenieril, común en este tipo de análisis. El procedimiento seguido para la determinación de la capacidad portante en puntos de investigación tales como “calicatas” y “DPL” es el siguiente:

1. Se asume una edificación urbana típica que corresponde a una casa-habitación de hasta 03 niveles sobre un área total de 160 m<sup>2</sup> a 200 m<sup>2</sup> y que transmite al suelo de cimentación una carga máxima de 30.0 Tn. por zapata. Se asume una profundidad de cimentación mínima de 1.00 m. y dimensión mínima de la zapata cuadrada aislada igual a 1.20 m.
2. Se asume que durante la ocurrencia de un sismo de diseño en la zona, de acuerdo a la Norma E030: Diseño sismorresistente del Reglamento nacional de edificaciones, la zapata es sometida a un momento máximo de 10 Tnxm y una fuerza horizontal de 4.75 Tn.
3. Utilizando la Teoría de Meyerhof <sup>(6)</sup> y los datos antes indicados, se determina la capacidad de carga admisible por falla al corte para una zapata cuadrada aislada en condiciones estáticas (sin sismo) y en condiciones dinámicas (con sismo). Los parámetros geomecánicos del suelo de cimentación necesarios para la determinación de la capacidad portante y que se encuentran involucrados en la Teoría utilizada: peso volumétrico del suelo de cimentación por debajo y por encima del nivel de cimentación y parámetros de resistencia al esfuerzo cortante tales como el ángulo de fricción interna y la cohesión aparente, para la condición crítica a corto plazo, se obtienen con los resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras inalteradas y remoldeadas de las “calicatas” y por la estimación a partir del N<sub>SPT</sub> obtenido en los ensayos DPL.
4. La capacidad de carga admisible por falla al corte se ha calculado para la probabilidad de ocurrencia de una falla de tipo “general”, “local” o “intermedia” en función a su densidad relativa y considerando un factor de seguridad igual a 3 para condiciones estáticas y 2.5 para condiciones dinámicas; para el caso de zapatas cuadradas aisladas en las cuales la presión actuante es igual a la capacidad portante.
5. Utilizando la Teoría de Terzaghi <sup>(7)</sup> y los datos de N<sub>SPT</sub> obtenidos en los ensayos “DPL” , se ha procedido a calcular el esfuerzo actuante sobre una zapata cuadrada aislada cimentada sobre un suelo granular (arena-limosa) para que el asentamiento producido no supere el valor máximo de 2.50 cm., según la Norma E050: Suelos y cimentaciones del RNE.

6. Finalmente el valor de la capacidad portante para cada punto de investigación sea “calicata” o “DPL” ha de ser el mínimo valor de los esfuerzos calculados según el detalle antes indicado.

El cálculo ha sido efectuado para el suelo de cimentación promedio en cada una de las “Calicatas” excavadas y “DPL” realizados y sus resultados se presentan en los Cuadros N° 4.1, N° 4.2, N° 4.3 y N° 4.4 del ANEXO N° 05 y Cuadros N° 4.5, N° 4.6, N° 4.7, N° 4.8 y N° 4.9 del ANEXO N° 05, respectivamente.

Con los valores de capacidad portante obtenidos en cada punto de investigación y ploteados adecuadamente en la cartografía base; se ha desarrollado una zonificación que toma en cuenta las formaciones geológicas existentes, la zonificación de suelos según SUCS, la presencia del agua subterránea y el criterio ingenieril en cuanto al trazado de curvas de iguales valores de capacidad portante. Este trabajo se ha efectuado para el caso de zapatas cuadradas aisladas con ancho mínimo de 1.20 m., cimentadas a una profundidad de 1.00 m. y con una carga máxima de 30 Tn. y cuyo resultado se presenta en el Mapa N° 5.9.

De acuerdo a los resultados presentados tanto en el Mapa N° 5.4, Mapa N° 5.8, así como en el Mapa N° 5.9, se desprende lo siguiente:

- a) En aquellas zonas donde se encuentra predominantemente suelos arenolimosos (SM), de compacidad muy suelta, con nivel freático a no más de 1.0 m. de profundidad; como las que se ubican muy cerca de la orilla de playa, la playa misma y hasta la primera a segunda cuadra urbanizada de Pisco Playa, la capacidad portante está entre 0.50 Kg/cm<sup>2</sup> a 0.75 Kg/cm<sup>2</sup>.
- b) En aquellas zonas donde se encuentra predominantemente suelos arenolimosos (SM), de compacidad muy suelta a suelta, con nivel freático a una profundidad de 2.0 m. a 4.0 m.; como las que se ubican en su mayor parte sobre Pisco Pueblo y a lo largo de la Av. Fermín Tanguis hasta su encuentro con la carretera Panamericana sur, la capacidad portante está entre 0.75 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>.
- c) En aquellas zonas donde se encuentra inicialmente una cobertura promedio de 2 m. de suelos arenolimosos (SM), de compacidad muy suelta a suelta, con nivel freático a una profundidad de 1.0 m. a 3.0 m., para luego continuar un suelo gravo-arenoso (GP) medianamente compacto y saturado; como las que se ubican en el lado sur de Pisco Pueblo antes de la Av. Las Américas, la capacidad portante está entre 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>.
- d) En aquellas zonas donde se encuentra inicialmente una cobertura 0.50 m. a 1.0 m. de suelos arenolimosos (SM), de compacidad muy suelta a suelta, con nivel freático a una profundidad de no mayor a 1.0 m., para luego continuar un suelo gravo-arenoso (GP) medianamente compacto y saturado; como las que se ubican predominantemente hacia el sur de la Av. Las Américas, la capacidad portante está entre 1.00 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup> en el distrito de San Andrés y de 1.50 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.50 Kg/cm<sup>2</sup> en el área sur-este de Pisco (Área de expansión urbana).

### **5.7.5 AGRESION QUIMICA DEL SUELO DE CIMENTACION**

Para efectos de estimar el grado de agresión química de los suelos de cimentación al concreto, se ha tomado en cuenta los criterios contenidos en la Norma E 060: Concreto armado del Reglamento nacional de edificaciones del Perú.

Tomando en cuenta los valores de contenido de sales totales y sulfatos del suelo de cimentación en cada una de las “calicatas” excavadas que se presentan en el Cuadro N° 3.1 del ANEXO N° 04 y los criterios de la Norma E060, es que se ha confeccionado el Mapa N° 5.10.

De la información presentada en el plano antes citado, se desprende que las áreas que se encuentran expuestas a una mayor agresión química del suelo de cimentación, se ubican cerca de la playa y corresponden a las tres primeras manzanas urbanizadas (de oeste a este), tanto en el litoral de Pisco Playa como en el de San Andrés. En esta zona el contenido de sulfatos es mayor a 2,000 ppm, por lo que se hace necesario la utilización del cemento tipo V, para que el concreto pueda soportar la agresión química del suelo. En el resto de la ciudad la agresión química del suelo de cimentación es despreciable y en algunas zonas puntuales es moderada, por lo que generalmente, no es necesario el uso de medidas especiales. Las zonas puntuales de agresión química moderada son casos aislados y manejables con un tratamiento particular cuando se requiera, por lo que no representan mayor problema para el área de la ciudad.

### **5.7.6 CONDICIONES DINAMICAS DE LOS SUELOS**

Las frecuencias predominantes de vibración del perfil de suelo de la ciudad de Pisco y San Andrés, se han obtenido a partir de los resultados de los ensayos de microtrepidaciones realizadas por la Universidad de Tokio<sup>(8)</sup> entre Agosto y Setiembre del 2007 y los realizados por el INGEMMET-Perú en Setiembre del 2007. Estos han utilizados para elaborar los mapas temáticos del caso.

Los resultados resumidos de los ensayos de microtrepidaciones realizados por el INGEMMET se presentan en el Cuadro N° 5.4 y los de la Universidad de Tokio en el Cuadro N° 5.5.

### CUADRO N° 5.4

Resultados de los ensayos de microtrepidaciones en Pisco (INGEMMET)

| N° | PI o PIS | UBICACIÓN GEOMETRICA<br>(Coordenadas UTM) Zona 18 |            | ALTITUD<br>(m.s.n.m) | RESULTADOS PROMEDIO DE LOS ENSAYOS<br>(Valores encontrados por INGEMMET) |                                    |               |
|----|----------|---|------------|----------------------|--|------------------------------------|---------------|
|    |          | Norte (m.)  | Este (m.)  |                      | Frecuencia pico (Hz)   | Periodo predominante del suelo (s) | Amplitud pico |
|    |          |   |            |                      |  |                                    |               |
| 1  | PI 1     | 8,483,491.00                                      | 368,449.00 | s/d                  | 9.640  | 0.104                              | s/d           |
| 2  | PI 2     | 8,484,198.00                                      | 368,587.00 | s/d                  | 8.984  | 0.111                              | s/d           |
| 3  | PI 3     | 8,484,663.00                                      | 368,664.00 | s/d                  | 10.205   | 0.098                              | s/d           |
| 4  | PI 4     | 8,484,713.00                                      | 368,889.00 | s/d                  | 8.887  | 0.113                              | s/d           |
| 5  | PI 5     | 8,483,364.00                                      | 369,931.00 | s/d                  | 17.261   | 0.058                              | s/d           |
| 6  | PI 6     | 8,483,850.00                                      | 369,944.00 | s/d                  | 11.426   | 0.088                              | s/d           |
| 7  | PI 12    | 8,483,747.00                                      | 370,633.00 | s/d                  | 14.380   | 0.070                              | s/d           |
| 8  | PI 13    | 8,483,929.00                                      | 370,822.00 | s/d                  | 6.616  | 0.151                              | s/d           |
| 9  | PI 15    | 8,483,936.00                                      | 371,214.00 | s/d                  | 25.342   | 0.039                              | s/d           |
| 10 | PI 18    | 8,481,238.00                                      | 367,959.00 | s/d                  | 16.748   | 0.060                              | s/d           |
| 11 | PI 19    | 8,481,418.00                                      | 368,119.00 | s/d                  | 16.992   | 0.059                              | s/d           |
| 12 | PI 20    | 8,481,806.00                                      | 368,182.00 | s/d                  | 10.181   | 0.098                              | s/d           |
| 13 | PI 21    | 8,483,502.00                                      | 371,310.00 | s/d                  | 13.257   | 0.075                              | s/d           |
| 14 | PI 23    | 8,483,402.00                                      | 372,317.00 | s/d                  | 7.666  | 0.130                              | s/d           |
| 15 | PI 25    | 8,482,300.00                                      | 372,566.00 | s/d                  | 15.674   | 0.064                              | s/d           |
| 16 | PI 28    | 8,482,732.00                                      | 372,254.00 | s/d                  | 43.481   | 0.023                              | s/d           |
| 17 | PI 29    | 8,482,004.00                                      | 372,004.00 | s/d                  | 12.280   | 0.081                              | s/d           |
| 18 | PI 30    | 8,482,540.00                                      | 370,993.00 | s/d                  | 17.676   | 0.057                              | s/d           |
| 19 | PI 32    | 8,483,122.00                                      | 370,672.00 | s/d                  | 15.332   | 0.065                              | s/d           |
| 20 | PI 33    | 8,483,244.00                                      | 371,252.00 | s/d                  | 12.647   | 0.079                              | s/d           |
| 21 | PI 34    | 8,483,618.00                                      | 371,740.00 | s/d                  | 16.040   | 0.062                              | s/d           |
| 22 | PI 35    | 8,484,694.00                                      | 371,873.00 | s/d                  | 15.772   | 0.063                              | s/d           |
| 23 | PI 36    | 8,484,798.00                                      | 371,934.00 | s/d                  | 12.158   | 0.082                              | s/d           |
| 24 | PI 39    | 8,484,328.00                                      | 372,630.00 | s/d                  | 12.524   | 0.080                              | s/d           |
| 25 | PI 40    | 8,484,564.00                                      | 372,506.00 | s/d                  | 27.637   | 0.036                              | s/d           |
| 26 | PI 42    | 8,484,464.00                                      | 372,139.00 | s/d                  | 12.082   | 0.083                              | s/d           |
| 27 | PI 43    | 8,482,644.00                                      | 370,654.00 | s/d                  | 16.846   | 0.059                              | s/d           |
| 28 | PI 44    | 8,482,558.00                                      | 370,945.00 | s/d                  | 20.775   | 0.048                              | s/d           |
| 29 | PIS 1    | 8,484,536.46                                      | 369,456.93 | s/d                  | 8.936  | 0.112                              | s/d           |
| 30 | PIS 8    | 8,483,701.76                                      | 374,886.49 | s/d                  | 10.158   | 0.098                              | s/d           |

Fuente : INGEMMET (Setiembre,2007)

### CUADRO N° 5.5

Resultados de los ensayos de microtrepidaciones realizados en Pisco por la Universidad de Tokio

| N° | MT    | UBICACIÓN GEOMETRICA<br>(Coordenadas UTM) Zona 18 |            | ALTITUD<br>(m.s.n.m) | RESULTADOS PROMEDIO DE LOS ENSAYOS<br>(Valores encontrados por la Universidad de Tokio) |                                    |               |
|----|-------|---|------------|----------------------|---|------------------------------------|---------------|
|    |       | Norte (m.)  | Este (m.)  |                      | Frecuencia pico (Hz)  | Periodo predominante del suelo (s) | Amplitud pico |
| 1  | MT 2  | 8,485,311.00                                      | 368,381.00 | s/d                  | 8.100   | 0.123                              | 2.500         |
| 2  | MT 3  | 8,484,802.00                                      | 368,391.00 | s/d                  | 10.238  | 0.098                              | 3.000         |
| 3  | MT 4  | 8,484,290.00                                      | 368,332.00 | s/d                  | 9.593   | 0.104                              | 5.490         |
| 4  | MT 5  | 8,484,034.00                                      | 368,285.00 | s/d                  | 8.467   | 0.118                              | 3.840         |
| 5  | MT 6  | 8,483,309.00                                      | 368,211.00 | s/d                  | 9.130   | 0.110                              | 5.500         |
| 6  | MT 7  | 8,482,799.00                                      | 367,982.00 | s/d                  | 12.500  | 0.080                              | 3.050         |
| 7  | MT 8  | 8,482,929.00                                      | 369,383.00 | s/d                  | 12.833  | 0.078                              | 2.270         |
| 8  | MT 9  | 8,483,295.00                                      | 369,424.00 | s/d                  | 12.746  | 0.078                              | 6.680         |
| 9  | MT 10 | 8,483,634.00                                      | 369,334.00 | s/d                  | 13.418  | 0.075                              | 4.440         |
| 10 | MT 11 | 8,484,036.00                                      | 369,319.00 | s/d                  | 8.604   | 0.116                              | 5.260         |
| 11 | MT 12 | 8,484,209.00                                      | 369,342.00 | s/d                  | 8.798   | 0.114                              | 6.070         |
| 12 | MT 13 | 8,484,848.00                                      | 369,557.00 | s/d                  | 13.000  | 0.077                              | 2.300         |
| 13 | MT 14 | 8,484,533.00                                      | 370,370.00 | s/d                  | 12.077  | 0.083                              | 4.490         |
| 14 | MT 15 | 8,484,200.00                                      | 370,354.00 | s/d                  | 11.893  | 0.084                              | 4.590         |
| 15 | MT 16 | 8,483,816.00                                      | 370,375.00 | s/d                  | 16.626  | 0.060                              | 3.190         |
| 16 | MT 17 | 8,483,331.00                                      | 370,384.00 | s/d                  | 20.138  | 0.050                              | 3.160         |
| 17 | MT 18 | 8,482,981.00                                      | 370,370.00 | s/d                  | 20.000  | 0.050                              | 2.000         |

Fuente : Universidad de Tokio (Setiembre,2007)

Con los datos de los cuadros antes citados, utilizando la información cartográfica base y las curvas de igual frecuencia (isofrecuencias) para el área de estudio de la Figura N° 5.9, se desprende lo siguiente:

- a) Las frecuencias obtenidas para el suelo de Pisco y San Andrés determinan que el periodo predominante de vibración sea marcadamente menor a 0.10 s., lo que significa según la calificación de la Norma E030: Diseño sismorresistente, un suelo con perfil tipo S1, donde los efectos de amplificación sísmica debido al suelo son bajas. La Norma considera al perfil tipo S1 como una grava arenosa densa; que en términos promedio es el suelo encontrado en el área de estudio a partir de una profundidad que va desde 1.0 m. hasta 5.0 m.
- b) Los valores mas bajos de frecuencia (10 a 12 Hz) se han obtenido en una zona comprendida entre el este de Pisco Pueblo (límite con la zona industrial) hasta el océano Pacífico por el oeste y en una franja a lo largo de la vía principal que llega a la carretera Panamericana sur, desde aproximadamente el CC PP Pachinga hasta el CC PP Amauta; lo que denota que la cobertura de limo-arenoso suelto a muy suelto con una potencia que va desde 3.0 m. a 4.0 m. en estas áreas, influye negativamente en la respuesta sísmica del suelo de Pisco.
- c) Los valores mas altos de frecuencia (16 a 20 Hz) se han obtenido en una zona que se ubica al sur y sur-este de la Av. Las Américas. En este sector la grava-arenosa empieza prácticamente desde la superficie del terreno, por lo que no hay influencia de la cobertura de arena-limosa en la respuesta sísmica del suelo de Pisco.

- d) Las zonas en Pisco donde se han encontrado las mayores frecuencias de vibración del suelo, coinciden con aquellas que durante el sismo del 15/08/07 han sufrido los menores daños en sus edificaciones: leves a moderados y donde el evento se ha sentido con una intensidad en la escala de Mercalli modificada de VI a VII (Ver Mapa N° 5.6). En estas zonas el suelo gravo-arenoso empieza prácticamente desde la superficie y llega alcanzar una potencia estimada de 25.0 m.
- e) Las zonas en Pisco donde se han encontrado las menores frecuencias de vibración del suelo, coinciden con aquellas que durante el sismo del 15/08/07 han sufrido los mayores daños en sus edificaciones: severo a colapso y donde el evento se ha sentido con una intensidad en la escala de Mercalli modificada de VIII (Ver Mapa N° 5.6). En estas zonas el suelo gravo-arenoso se encuentra a partir de una profundidad promedio de 4.0 m. a 5.0 m. y es cubierto por una arena-limosa muy suelta.

Tomando en cuenta las condiciones geológicas y geotecnicas de los suelos de Pisco y San Andrés descritas en ítems anteriores, es que se ha extrapolado con criterio ingenieril, la información contenida en la Figura N° 5.9, ha permitido definir la zonificación de frecuencias predominantes del suelo que se presenta en el Mapa N° 5.11.

En base al informe de la Universidad de Tokio<sup>(8)</sup>, referencias bibliográficas especializadas relativas al tema<sup>(2)</sup>, los resultados obtenidos en el presente ítem, la geología y geotecnia de Pisco y San Andres, las intensidades locales MM percibidas durante el sismo del 15/08/07 y el criterio ingenieril, se ha realizado una zonificación de las condiciones dinámicas del suelo y amplificación sísmica local del área de estudio que se presenta en el Mapa 5.12 y del cual se desprende lo siguiente:

- a) La zona central de Pisco Pueblo y Pisco Playa se encuentra emplazada sobre un perfil de suelo, que tiene una frecuencia predominante de vibración entre 5 a 12 Hz. y tiene una alta amplificación sísmica, la que es estimada mayor a 4.0 veces la aceleración sobre roca. En esta zona los daños producidos por un evento sísmico suelen ser severos.
- b) La zona de San Andrés y el resto de Pisco (sin incluir la zona sur-este a partir de la Av. Las Américas) se encuentra emplazada sobre un perfil de suelo, que tiene una frecuencia predominante de vibración entre 10 a 16 Hz. y tiene una media amplificación sísmica, la que es estimada entre 2.0 a 4.0 veces la aceleración sobre roca. En esta zona los daños producidos por un evento sísmico suelen ser moderados a severos.
- c) La zona sur-este de Pisco a partir de la Av. Las Américas se encuentra emplazada sobre un perfil de suelo, que tiene una frecuencia predominante de vibración entre 16 a 20 Hz. y tiene una baja a media amplificación sísmica, la que es estimada entre 1.5 a 2.0 veces la aceleración sobre roca. En esta zona los daños producidos por un evento sísmico suelen ser leves a moderados.

### 5.7.7 POTENCIAL DE LICUACION DEL SUELO DE CIMENTACION

A continuación se reporta la historia del fenómeno de licuación en el área de estudio:

**Fecha: 10 de Febrero de 1716**

Terremoto en Pisco que la Barbinais relata ; “ al cuarto de hora tembló de nuevo la tierra, que abriéndose en algunos lugares, expelió chorros de polvo y agua con ruido pavorosos” (Silgado , 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM.

Fuente :J. Alva Hurtado, Breve historia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú

**Fecha: 15 de Agosto del 2007**

Terremoto en Pisco de magnitud 7.0 MI. La zona del litoral de Pisco Playa desde el CC PP Leticia por el norte hasta la Av. Las Américas por el sur, sufrió el fenómeno de licuación a lo largo de las calles Demetrio Miranda y Manuel Pardo. Se produjo el colapso de muchas viviendas ubicadas en este sector. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM.

Fuente : Equipo consultor INDECI, 2007.

Para el cálculo del potencial de licuación de suelos de la ciudad de Pisco y San Andrés, se ha utilizado el método simplificado de Seed e Idriss, con los datos geotécnicos obtenidos en las investigaciones de campo con DPL y los resultados de los ensayos de laboratorio.

El cálculo se ha efectuado para cada uno de los puntos donde se haya realizado un ensayo DPL, tomando en cuenta la presencia del nivel freático y la posibilidad de que este ascienda hasta 1.0 m. por encima de su posición encontrada.

El sismo de diseño considerado tiene las características siguientes:

- Magnitud del sismo: 7.5 (MI)
- Aceleración máxima producida por el sismo:  $320 \text{ cm/s}^2$  (70% de la aceleración máxima para un sismo con periodo de retorno de 475 años).

Los cálculos se presentan en el **ANEXO Nº 06** en los Cuadros Nº 5.1 al Nº 5.32 y con los resultados encontrados, se ha confeccionado el Mapa Nº 5.13, del cual se desprende lo siguiente:

- a) Las zonas con alto potencial de licuación se encuentran localizadas en la playa de San Andrés; y en Pisco Playa, desde la orilla del mar hasta la segunda a tercera manzana urbanizada en dirección oeste-este hacia Pisco Pueblo. En estas zonas la licuación puede llegar hasta los 3.0 m., ya que la compacidad del suelo hasta esta profundidad es muy suelta ( $N_{SPT}$  menor a 5) y el nivel freático se encuentra entre 0.0 m. a 1.0 m. desde la superficie.
- b) Las zonas con moderado a bajo potencial de licuación se encuentran emplazadas desde el casco urbano antiguo de Pisco Pueblo hasta la periferia este de Pisco Playa. En estas zonas la licuación puede ser posible si el nivel freático alcanza la zona activa de presiones (de 1.0 m.a 3.0 m. de profundidad), ya que la cobertura de arena-limosa en esta zona y que tiene una potencia máxima de 4.0 m. es de compacidad suelta a muy suelta ( $N_{SPT}$  menor a 10).
- c) Las zonas con bajo potencial de licuación se encuentran emplazadas en los alrededores de Pisco Pueblo hasta la Av. Las Américas por el sur y

en una franja a lo largo de la vía que conduce hasta la carretera Panamericana sur y el CC PP Amauta. En estas zonas la licuación es poco probable debido a que el nivel freático no llega a alcanzar la zona activa de presiones o porque la grava-arenosa medianamente compacta se encuentra a una profundidad no mayor de 2.0 m.

- d) Las zonas con nulo potencial de licuación son aquellas que se encuentran emplazadas sobre suelos gravo-arenosos saturados medianamente compactos. Comprende la zona sur y sur-este del distrito de Pisco a partir de la Av. Las Américas, y la mayor parte del distrito de San Andrés.

## 5.8 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA-SISMICA

Para el área de estudio se ha elaborado una zonificación geotécnica-sísmica tomando en cuenta los parámetros: geología y geomorfología, clasificación del suelo de cimentación según SUCS, presencia del nivel freático, capacidad portante del suelo de cimentación, agresión química del suelo de cimentación al concreto, potencial de licuación del suelo de cimentación, probabilidad de inundación ante la ocurrencia de un tsunami, y las condiciones dinámicas y amplificación de las ondas sísmicas por efectos locales

Dicha zonificación se presenta en el Mapa N° 5.14 y comprende la presencia de 10 zonas en función de las características antes citadas.

**ZONA I :** Comprende las playas de Pisco y San Andrés y abarca también, la zona norte de Pisco Playa desde el centro poblado Leticia hasta parte del asentamiento humano Miguel Grau. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 0.0 m. a 1.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene muy baja capacidad portante (0.50 a 0.75 Kg/cm<sup>2</sup>), alto potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m., severa agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 5 Hz a 10 Hz, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. La zona queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 3.0 m. a 5.0 m.

**ZONA II :** Comprende la mayor parte del distrito de San Andrés hasta la Av. Las Américas por el sur. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 0.0 m. a 1.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m., severa agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 10 Hz a 16 Hz, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. La zona queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 3.0 m. a 5.0 m.

**ZONA III :** Comprende la zona sur-oeste de Pisco Playa, que está limitada por la Av. José de San Martín al norte y por la Av. Las Américas al sur. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 0.0 m. a 2.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene baja capacidad portante (0.75 a 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>), alto potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m. solo en la parte centro-oeste, severa a moderada agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 5 Hz a 10 Hz, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. La zona en la parte centro-oeste, queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 3.0 m. a 5.0 m.



**ZONA IV :** Comprende la zona noreste de Pisco Playa. Parte del asentamiento humano Miguel Grau y la zona industrial al norte. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 1.0 m. a 2.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene baja capacidad portante (0.75 a 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>), bajo potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m., despreciable agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 10 Hz a 12 Hz, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. La zona en la parte oeste, queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 5.0 m. a 6.0 m.

**ZONA V :** Comprende la zona norte de Pisco Pueblo en la lotización para la nueva Urb. Las Ballestas y parte de la zona este de San Andrés. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 1.0 m. a 2.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m., despreciable agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 12 Hz a 16 Hz, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. La zona en la parte oeste, queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 5.0 m. a 6.0 m.

**ZONA VI :** Comprende la mayor parte del casco urbano de Pisco Pueblo que tiene como límite al sur la Av. Callao y la Av. Fermin Tanguis. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 2.0 m. a 4.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene baja capacidad portante (0.75 a 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>), moderado a bajo potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m. solo en la parte este-oeste, despreciable agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 10 Hz a 12 Hz, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. La zona en la parte oeste, queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 5.0 m. a 6.0 m.

**ZONA VII :** Comprende la zona sur de Pisco Pueblo que tiene como límite al sur la Av. Las Américas y al norte la Av. Callao y la Av. Fermin Tanguis. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad en sus primeros 2.0 m. y a continuación grava-arenosa medianamente compacta (GP), origen aluvial y nivel freático entre 1.0 m. a 3.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), moderado a bajo potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m. solo en la parte oeste-centro, despreciable agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 10 Hz a 16 Hz, peligro sísmico alto y una media a alta amplificación sísmica local. La zona en la parte oeste, queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 5.0 m. a 6.0 m.

**ZONA VIII :** Comprende la zona sur-este de Pisco Pueblo a continuación de la Av. Las Américas y la zona este de San Andrés. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 1.0 m. a 2.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular a buena capacidad portante (1.50 a 2.00 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m., despreciable agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 12 Hz a 20 Hz, peligro sísmico alto y una baja a media amplificación sísmica local. La zona no es inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea hasta de 6.0 m.

**ZONA IX :** Comprende la Av. Fermín Tanguis a la salida del casco urbano de Pisco y un área concéntrica a ésta. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre

suelos gravo-arenosos (GP) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 2.0 m. a 4.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m., despreciable agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 12 Hz a 16 Hz, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. La zona no es inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea hasta de 6.0 m.

**ZONA X** : Comprende una franja a lo largo de la vía, que desde la Av. Fermín Tanguis llega hasta la carretera Panamericana sur. Pasa por la zona industrial, el CC PP Pachinga hasta llegar finalmente al CC PP Amauta. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 2.0 m. a 4.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene baja capacidad portante (0.75 a 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>), bajo potencial de licuación hasta una profundidad de 3.0 m., despreciable agresión química al concreto, frecuencia predominante de vibración de 10 Hz a 12 Hz, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. La zona no es inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea hasta de 6.0 m.

## 6 MAPA DE PELIGROS DE PISCO Y SAN ANDRÉS

### 6.1 MAPA DE PELIGROS GEOLOGICO – GEOTECNICOS

Los fenómenos de origen geológico – geotécnico que se han tomado en cuenta para el análisis de su ocurrencia en Pisco y San Andrés, son los siguientes:

1) **Sismos:** La calificación del grado de peligro sísmico es la siguiente:

**Bajo:** Si la aceleración del suelo producida por un sismo con un periodo de retorno de 475 años no es mayor a  $100 \text{ cm/s}^2$ . Intensidad del sismo según MM menor a VI.

**Medio:** Si la aceleración del suelo producida por un sismo con un periodo de retorno de 475 años está entre  $100 \text{ cm/s}^2$  a  $400 \text{ cm/s}^2$ . Intensidad del sismo según MM entre VI a VIII.

**Alto:** Si la aceleración del suelo producida por un sismo con un periodo de retorno de 475 años está entre  $400 \text{ cm/s}^2$  a  $1000 \text{ cm/s}^2$ . Intensidad del sismo según MM entre VIII a IX.

**Muy Alto:** Si la aceleración del suelo producida por un sismo con un periodo de retorno de 475 años es mayor a  $1000 \text{ cm/s}^2$ . Intensidad del sismo según MM mayor a IX.

2) **Falla por corte y asentamiento del suelo (Capacidad Portante de una cimentación superficial):** La calificación del grado de peligro por capacidad portante de una cimentación superficial es la siguiente:

**Bajo:** Si la capacidad portante del suelo de cimentación para condiciones estáticas y dinámicas es mayor a  $2.50 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Medio:** Si la capacidad portante del suelo de cimentación para condiciones estáticas y dinámicas está entre  $1.00 \text{ Kg/cm}^2$  a  $2.50 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Alto:** Si la capacidad portante del suelo de cimentación para condiciones estáticas y dinámicas está entre  $0.50 \text{ Kg/cm}^2$  a  $1.00 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Muy Alto:** Si la capacidad portante del suelo de cimentación para condiciones estáticas y dinámicas es menor a  $0.50 \text{ Kg/cm}^2$ .

3) **Amplificación sísmica local:** La calificación del grado de peligro por amplificación sísmica local, es la siguiente:

**Bajo:** Si el suelo corresponde al Tipo S1 de la Norma E030 del RNE del Perú. Roca o suelos muy rígidos con un Periodo predominante menor a 0.25 s. y una frecuencia de vibración mayor a 4.0 Hz.

**Medio:** Si el suelo corresponde al Tipo S2 de la Norma E030 del RNE del Perú. Suelos intermedios entre S1 y S3 con un Periodo predominante entre 0.20 s. a 0.6 s. y una frecuencia de vibración entre 1.7 Hz. a 4.0 Hz.

**Alto:** Si el suelo corresponde al Tipo S3 de la Norma E030 del RNE del Perú. Suelos flexibles o con estratos de gran espesor con un Periodo predominante mayor a 0.6 s. y una frecuencia de vibración menor a 1.7 Hz.

**Muy Alto:** Si el suelo corresponde al Tipo S4 de la Norma E030 del RNE del Perú. Suelos excepcionalmente flexibles con un Periodo predominante mayor a 0.6 s. y una frecuencia de vibración menor a 1.7 Hz.

4) **Agresión química del suelo de cimentación:** La calificación del grado de peligro por agresión química del suelo de cimentación al concreto, es la siguiente:

**Bajo:** Si el contenido de sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) del suelo de cimentación es menor a 1,000 p.p.m.

**Medio:** Si el contenido de sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) del suelo de cimentación está entre 1,000 p.p.m. a 2,000 p.p.m.

**Alto:** Si el contenido de sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) del suelo de cimentación está entre 2,000 p.p.m. a 20,000 p.p.m.

**Muy Alto:** Si el contenido de sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) del suelo de cimentación es mayor a 20,000 p.p.m.

**5) Tsunamis:** Para la calificación del grado de peligro por tsunamis, se considerará la cota del terreno que puede quedar inundada por el “run-up” (Ver ítem 2.4) para un sismo de magnitud mayor a 7.0 MI; de acuerdo a la siguiente descripción:

**Peligro Bajo:** A partir de 6 m.s.n.m. Zona que no queda inundada en caso de ocurrir un tsunami.

**Peligro Medio:** Desde 5 hasta 6 m.s.n.m. Zona que es inundada superficialmente ante la ocurrencia de un tsunami. Produce la saturación del suelo.

**Peligro Alto:** Desde 3 hasta 5 m.s.n.m. Zona donde el impacto del “run-up” es leve a moderado.

**Peligro Muy Alto:** Desde el nivel medio del mar hasta la cota de 3 m.s.n.m. Zona donde el impacto de las olas y “run-up” afecta severamente a las edificaciones.

Para la zonificación de los peligros geológico-geotécnicos en Pisco y San Andrés, se ha tomado en cuenta los resultados obtenidos en la Geología y Geotecnia, siendo de especial importancia la zonificación geotécnica – sísmica del Mapa N° 5.14. La zonificación de peligros geológico-geotécnicos se muestra en el Mapa N° 5.15; de acuerdo a la descripción siguiente:

#### **ZONA DE PELIGRO MEDIO:**

Comprende la zona sur-este de Pisco Pueblo a continuación de la Av. Las Américas y parte de la zona este de San Andrés. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 1.0 m. a 2.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular a buena capacidad portante ( $1.50$  a  $2.00 \text{ Kg/cm}^2$ ), despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una baja a media amplificación sísmica local. La zona no es inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea hasta de 6.0 m.

#### **ZONA DE PELIGRO ALTO:**

Zona al centro y este de San Andrés: Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 1.0 m. a 2.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante ( $1.00$  a  $1.50 \text{ Kg/cm}^2$ ), despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. Solo en la parte oeste, la zona queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 5.0 m. a 6.0 m., en el resto no hay posibilidad de inundación.

Zona desde el casco urbano de Pisco Pueblo hasta la carretera Panamericana sur: Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 2.0 m. a 4.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene baja a regular capacidad portante ( $0.75$  a  $1.50 \text{ Kg/cm}^2$ ), despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. Solo en la parte oeste, la zona queda inundada con un

tsunami cuyo “run-up” sea de 5.0 m. a 6.0 m., en el resto no hay posibilidad de inundación.

#### **ZONA DE PELIGRO MUY ALTO:**

Zona al centro y oeste de San Andrés: Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 0.0 m. a 1.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. La zona queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 3.0 m. a 5.0 m.

Zona norte de Pisco Playa desde el centro poblado Leticia hasta parte del asentamiento humano Miguel Grau: Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 0.0 m. a 1.0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene muy baja capacidad portante (0.50 a 0.75 Kg/cm<sup>2</sup>), severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. La zona queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 3.0 m. a 5.0 m.

## **6.2 MAPA DE PELIGROS CLIMATICOS**

El fenómeno de origen climático de mayor importancia en el área de estudio y que puede poner en peligro terrenos ubicados sobre la planicie de inundación en la margen derecha e izquierda del río Pisco, es el siguiente:

### **6.2.1 INUNDACIÓN POR DESBORDE DEL RÍO PISCO**

El río Pisco posee una sección de escurrimiento principal, que corresponde a avenidas anuales, dentro de esta sección el flujo puede ser entrelazado o sinuoso. Cuando se presentan avenidas extraordinarias la sección principal muchas veces no es suficiente para contener el flujo, llegando a desbordar a cauces secundarios o llamadas planicies de inundación. Las planicies de inundación pueden abarcar desde unos cuantos metros hasta kilómetros. La ciudad de Pisco, por estar ubicada en la margen izquierda del río y emplazada sobre el cono de deyección del mismo, no es ajena a este problema.

En el año 1969 por la crecida del caudal del río Pisco, se vio afectado el sector de Figueroa ubicado a 300 m. aguas abajo del puente Huamaní llegando incipientemente hasta la zona rural norte de la ciudad de Pisco.

Luego de haber realizado estimaciones de los caudales máximos instantáneos en épocas de avenidas extraordinarias y comparaciones con los niveles de las marcas de agua de inundaciones históricas, se ha establecido que la zona urbana de Pisco no está expuesta a peligros de inundación por desborde del río del mismo nombre. Las áreas inundables no llegan mas allá de los 200 m. desde la margen izquierda del río y por consecuencia no afectan a la ciudad.

La zonificación de peligros climáticos se ha realizado tomando en cuenta los niveles de daños a ocasionar o pérdidas materiales y humanas, debido a inundación por desborde del río Pisco. La delimitación de estas zonas, fueron inspeccionados en campo, y confirmadas en gabinete mediante cálculos, considerando los antecedentes de las inundaciones ocurridas.

La zonificación de peligros climáticos se presenta en el Mapa N° 5.16; de acuerdo a la descripción siguiente:

**Zona de Peligro Bajo:**

Comprende la zona urbana de Pisco y San Andrés que no se encuentran expuestas a inundación por desborde del río Pisco aún en épocas de avenidas extraordinarias. Se ubica a una distancia mayor de 400.0 m. con respecto a la margen izquierda del río.

**Zona de Peligro Medio:**

Comprende una transición entre aquellas zonas que suelen inundarse en épocas de avenidas extraordinarias y las que no alcanza la inundación. Se ubica entre 200 m. a 400 m. de distancia, con respecto a la margen izquierda del río.

**Zona de Peligro Alto:**

Comprende una franja de terreno que queda inundada por el desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias. Se ubica a 200 m. de distancia como máximo, con respecto a la margen izquierda del río Pisco.

**Zona de Peligro Muy Alto:**

Comprende el actual cauce principal del río Pisco y que comúnmente queda inundado en épocas de avenidas anuales.

### 6.3 MAPA DE PELIGROS GEOLOGICOS – CLIMÁTICOS

El fenómeno de origen geológico de mayor importancia en el área de estudio y que ya ha ocurrido durante el sismo del 15/08/07, afectando a edificaciones construidas cerca de la playa en Pisco, así como en otras localidades costeras; están relacionadas a la licuación de suelos:

#### 6.3.1 LICUACIÓN DEL SUELO DE CIMENTACIÓN:

La calificación del grado de peligro por licuación del suelo de cimentación es la siguiente:

**Bajo** : Suelo gravo-arenoso saturado, no licuable o con muy bajo potencial de licuación ante la ocurrencia de un sismo de magnitud 7.5 MI.

**Medio** : Suelo arenoso a areno-limoso saturado, con bajo potencial de licuación ante la ocurrencia de un sismo de magnitud 7.5 MI.

**Alto** : Suelo arenoso a areno-limoso saturado, con bajo a moderado potencial de licuación ante la ocurrencia de un sismo de magnitud 7.5 MI.

**Muy Alto** : Suelo arenoso a areno-limoso saturado, con alto potencial de licuación ante la ocurrencia de un sismo de magnitud 7.5 MI.

Otro factor a tomar en cuenta en la ocurrencia de fenómenos de origen geológico, es que la ciudad de Pisco y San Andrés se encuentran emplazadas sobre el cono de deyección que forma el río Pisco al llegar al océano Pacífico; por lo que en su historia geológica han sucedido eventos catastróficos de inundación, que han alcanzado y afectado el área de estudio. En la actualidad, el cauce del río Pisco (alejado de la ciudad, por lo menos 2.0 Km.) se encuentra totalmente definido y no hay probabilidad de un evento histórico similar que modifique su curso hacia la ciudad; sin embargo, la influencia del río Pisco en la recarga del agua subterránea en la

zona es importante y por consecuencia en los problemas que ello genera, razón por la cual, se ha de calificar este fenómeno como de peligro medio.

La zonificación de peligros geológico-climáticos se muestra en el Mapa N° 5.17; de acuerdo a la descripción siguiente:

**Zona de Peligro Medio:** Comprende las zonas con bajo potencial de licuación que se encuentran emplazadas en los alrededores de Pisco Pueblo hasta la Av. Las Américas por el sur y en una franja a lo largo de la vía que conduce hasta la carretera Panamericana sur y el CC PP Amauta. También comprende la zona sur y sur-este del distrito de Pisco a partir de la Av. Las Américas, y la mayor parte del distrito de San Andrés, donde el suelo de cimentación gravo-arenoso saturado medianamente compacto es no licuable o con muy bajo potencial de licuación, pero está influenciado por la recarga de agua subterránea proveniente del río Pisco.

**Zona de Peligro Alto:** Comprende áreas con moderado a bajo potencial de licuación que se encuentran emplazadas desde el casco urbano antiguo de Pisco Pueblo hasta la periferia este de Pisco Playa.

**Zona de Peligro Muy Alto:** Comprende áreas con alto potencial de licuación localizadas en la playa de San Andrés; y en Pisco Playa, desde la orilla del mar hasta la segunda a tercera manzana urbanizada en dirección oeste-este hacia Pisco Pueblo.

#### 6.4 MAPA DE PELIGROS MULTIPLES

Luego de la composición, tratamiento y análisis de la serie de mapas temáticos realizados, se ha preparado, utilizando el método de análisis estadístico bivalente, el mapa de peligros múltiples del área de estudio. En este se determina los tipos de peligros que pueden ocurrir con más frecuencia y las condiciones constructivas de los terrenos; así como los aspectos que han sido determinantes en su evaluación.

El Mapa de Peligros Múltiples del área de Pisco y San Andrés presenta tres zonas: Zonas de Peligro Medio – Condiciones Constructivas Aceptables, Zonas de Peligro Alto – Condiciones Constructivas Desfavorables y Zonas de Peligro Muy Alto – Condiciones Constructivas Muy Desfavorables. Ver Mapa N° 5.18

##### 6.4.1 ZONA DE PELIGRO MEDIO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS ACEPTABLES:

Se incluyen aquí aquellos terrenos, que si bien pueden considerarse aceptables desde el punto de vista constructivo, puntualmente pueden presentar algunos problemas de tipo litológico – geotécnico.

**Problemas de tipo Litológico – Geotécnico (Li – Gt):** En su litología predominan las gravas y arenas correspondientes a las terrazas fluviales 1 y 2 depositadas por el río Pisco que forman terrenos con pendiente muy suave (ver Mapa N° 5.1). Hacia el este es importante la presencia de arenas limosas. La capacidad portante puede disminuir hacia el norte debido a la presencia de gravas intercaladas con arenas limosas y hacia el este por la presencia de arenas limosas sueltas a medianamente densas. Las frecuencias de microtemores, en esta zona, varían entre 10,1 a 20,0 Hz.

Comprende la zona sur-este de Pisco Pueblo a continuación de la Av. Las Américas y parte de la zona este de San Andrés. El suelo de cimentación tiene regular a buena capacidad portante (1.50 a 2.00 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto. El peligro sísmico es alto y una baja a media amplificación sísmica local. Los niveles freáticos en este sector varía entre 1,20 m. a 2,00 m.

Zona no inundable por el desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias, así como por tsunamis con “run-up” de hasta de 6,0 m.

Zona recomendada, después de realizar investigaciones geotécnicas normales, para usos urbanos de alta a media densidad y la ubicación de edificaciones indispensables como: Hospitales, Centros Educativos, Cuartel de Bomberos, etc.

#### **6.4.2 ZONA DE PELIGRO ALTO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES:**

Se incluyen en esta denominación aquellos terrenos en los cuales predominan los problemas de tipo litológico – geotécnico, geotécnico, geomorfológico e hidrogeológico; así como una combinación de ellos.

**Problemas de tipo Litológico – Geotécnico (Li – Gt):** En los terrenos desde el casco urbano de Pisco Pueblo hasta la carretera Panamericana Sur, predominan arenas limosas (SM), de baja plasticidad, sueltas a medianamente densas. Al centro y este de San Andrés, predominan gravas y lentes arenosos (GP) de origen fluvial.

Las frecuencias de microtemores varían entre 10,1 a 15,0 Hz, disminuyendo hasta 8,0 Hz hacia el este.

Se localizan también, terrenos con relleno antrópico (terraplenes, basura, materiales de demolición, etc.), ver Mapas 5.1 y 5.2. Estos son depósitos heterogéneos sin selección, constituidos por diversos materiales que van desde gravas, arenas, finos hasta escombros, maderas y desechos. Materiales que presentan mal comportamiento frente a sollicitaciones sísmicas y se agrava en sectores con presencia de agua subterránea superficial. Con frecuencias de microtemores entre 8 a 10 Hz.

**Problemas de tipo Geomorfológico (Ge):** Los terrenos en estos sectores, presentan pendientes muy suaves. Con respecto a las inundaciones, solo en la parte oeste, la zona quedaría inundada por un tsunami cuyo “run-up” este entre 5.0 m. a 6.0 m, no existiendo posibilidad de inundación en el resto del área. A esta zona no le alcanza las inundaciones, por desbordes del río Pisco, en épocas de avenidas extraordinarias.

**Problemas de tipo Hidrogeológico (Hi):** En los terrenos, al centro y este de San Andrés, los niveles freáticos fluctúan entre 1,40 a 2,00 m; en los terrenos localizados, desde el casco urbano de Pisco Pueblo hasta la Carretera Panamericana Sur, el nivel freático varía entre 2,0 m. a 4,0 m, llegando hasta 0,80 m hacia el oeste. Es importante mencionar



la presencia de zonas de humedales (napa freática aflorante) al noroeste, sur y este de Pisco.

Zona al centro y este de San Andrés: El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local.

Zona desde el casco urbano de Pisco Pueblo hasta la Carretera Panamericana Sur: El suelo de cimentación tiene baja a regular capacidad portante (0.50 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), moderado a bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local.

Esta zona es recomendada para usos urbanos de baja a media densidad, luego de realizar investigaciones geotécnicas detalladas.

#### **6.4.3 ZONA DE PELIGRO MUY ALTO – TERRENOS CON CONDICIONES CONSTRUCTIVAS MUY DESFAVORABLES:**

Se incluyen bajo esta denominación aquellos terrenos en los cuales los problemas dominantes son: de tipo geomorfológico – litológico y geomorfológico – hidrológico – geotécnico.

**Problemas de tipo Geomorfológico – Litológico (Ge – Li):** Se incluye aquellos sectores, de pendiente suave, ubicados en el borde litoral y aquellos cuyas alturas no varían con respecto al nivel del mar. Zonas con influencia de mareas y tsunamis. Esta quedaría inundada con un tsunami cuyo “run-up” este entre 3.0 a 5.0 m. No le alcanza la inundación por desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias. Es importante mencionar las zonas cercanas al cauce del río Pisco, que suelen inundarse en épocas de avenidas anuales.

La litología predominante son arenas de origen marino mal gradadas (SP), sueltas y con presencia de sales, hacia el norte se localizan gravas y arenas de origen fluvial, inconsolidadas y re transportados por la acción marina.

En los terrenos al centro y oeste de San Andrés se presentan suelos gravo – arenosos (GP) medianamente consolidados.

En la zona norte de Pisco Playa, desde el centro poblado Leticia hasta parte del asentamiento humano Miguel Grau. Zona sur-oeste de Pisco Playa entre las calles Demetrio Miranda y Julio Quiñones con límite al sur por la Av. Las Américas: Los terrenos están asentados sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, de origen fluvial y marino.

**Problemas de tipo Geomorfológico–Hidrológico–Geotécnico (Ge – Hi – Gt):** Los terrenos incluidos corresponden al borde litoral y área de influencia, zonas con presencia de agua subterránea superficial que varía entre 0,10 a 0,80 m y regular capacidad de drenaje.

Por lo general, los terrenos, esta zona presentan frecuencias bajas de microtemores que varían entre 8 a 10 Hz

Zona al centro y oeste de San Andrés: El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1.00 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación, severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local.

Zona norte de Pisco Playa desde el centro poblado Leticia hasta parte del asentamiento humano Miguel Grau. Zona sur-oeste de Pisco Playa entre las calles Demetrio Miranda y Julio Quiñones con límite al sur por la Av. Las Américas: El suelo de cimentación tiene muy baja capacidad portante (0.50 a 0.75 Kg/cm<sup>2</sup>), alto potencial de licuación, severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local.

Zona no recomendable para usos urbanos. Se recomienda su uso como reservas ecológicas o recreación abierta. Su uso requiere la realización de estudios especializados (sismicidad, geología, geotecnia, etc.) con la finalidad de proponer los proyectos de reducción de vulnerabilidad requeridos en las edificaciones y las medidas de mitigación de desastres.

#### 6.4.4 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se desprende lo siguiente:

- a. La zona expuesta al menor grado de peligros de origen natural en la ciudad de Pisco se localiza al sur y sur-este de Pisco Pueblo, a continuación de la Av. Las Américas. El sismo del 15/08/07 produjo en las edificaciones de esta zona, daños leves a moderados; lo que coincide con el nivel de peligros asignado: Medio.
- b. La zona expuesta al mayor grado de peligros de origen natural en la ciudad de Pisco se localiza a lo largo del litoral costero de Pisco Playa; en la cual, durante la ocurrencia de un sismo de magnitud importante (MI mayor a 7) se produce el fenómeno de licuación de suelos, es inundada por la ola y “run-up” del tsunami y se presenta una alta amplificación local de las ondas sísmicas; lo que coincide plenamente con el nivel de daños : Severo a colapso que ocasionó el sismo del 15/08/07 a las edificaciones de la zona.
- c. El resto de la ciudad de Pisco hasta el CC PP Amauta, presenta un peligro alto influenciado básicamente por la baja a regular capacidad portante existente y por la posibilidad de amplificación local de ondas sísmicas; por lo que en esta zona, si no se toman las medidas de reducción de vulnerabilidad que el caso amerita, las edificaciones pueden sufrir daños severos a colapso ante la ocurrencia de un evento sísmico, tal como ocurrió durante el sismo del 15/08/07 con estructuras altamente vulnerables (adobe, tapial) y con serias deficiencias estructurales (piso blando, columna corta, baja densidad de muros, etc).
- d. Las dos a tres primeras manzanas en dirección oeste-este en la ciudad de San Andrés tienen el mayor grado de peligros: Muy Alto, influenciado predominantemente por la posibilidad de que esta zona quede inundada por efecto de un tsunami cuando se presente un sismo de magnitud

mayor o igual a 7.0 MI. En este caso la altura de ola produce un “run-up” entre 3,0 a 5,0 m.s.n.m.

- e. El resto de la ciudad de San Andrés tiene un peligro alto a medio influenciado por la posibilidad de amplificación local de las ondas sísmicas y la presencia de un nivel freático permanente que procede del flujo subterráneo de la cuenca del río Pisco y de las aguas de retorno del riego en terrenos agrícolas.

## **7 PAUTAS TÉCNICAS DE HABILITACIÓN Y EDIFICACIÓN.**

### **7.1 IDENTIFICACION DE AREAS SEGURAS**

De acuerdo a los resultados obtenidos, se ha identificado para el área de estudio la zona más segura para su habitabilidad; que corresponde a las zonas de menor grado de peligro múltiple y que es la siguiente:

a).- Área de la ciudad de Pisco limitada al norte por la Av. Las Américas , al oeste por el distrito de San Andrés, al sur y sur-este por terrenos agrícolas y al este por el centro poblado la Yesera y terrenos agrícolas. Corresponde al Sector III: Zona sur y sur-este de Pisco Pueblo.

El resto de la ciudad de Pisco y San Andrés; corresponde a zonas menos seguras (Peligro alto a muy alto); pero que pueden ser incorporadas en un programa de expansión y/o densificación urbana; siempre y cuando se tomen en cuenta las recomendaciones y pautas técnicas del presente estudio y se implementen las principales medidas de reducción de la vulnerabilidad estructural para las edificaciones, ante los efectos de los peligros naturales, principalmente los originados por la actividad sísmica.

### **7.2 PAUTAS TECNICAS DE HABILITACION URBANA**

Los procesos de habilitación urbana con fines de ocupación deberán contemplar las siguientes pautas técnicas, con la finalidad de garantizar la estabilidad y seguridad física de las ciudades de Pisco y San Andrés y de sus áreas de expansión urbana, tanto en las habilitaciones urbanas existentes como en las futuras.

#### **7.2.1 PAUTAS TECNICAS DE HABILITACIONES URBANAS EXISTENTES**

a).- Restringir la densificación poblacional en áreas calificadas como de peligro muy alto; ubicadas principalmente a lo largo del litoral en los distritos de Pisco y San Andrés: las dos a tres primeras manzanas en dirección oeste-este de San Andrés y Pisco Playa, Centro poblado Leticia y el Asentamiento humano Miguel Grau.

b).- No autorizar la construcción de nuevos equipamientos urbanos, en áreas calificadas como de peligro alto y muy alto, promoviéndose mas bien el reforzamiento de los ya existentes o su reubicación hacia la zona sur-este de Pisco Pueblo (Sector III) en caso de encontrarse en condiciones críticas después del sismo del 15/08/07.

c).- Planteamiento de proyectos específicos para reducir la vulnerabilidad estructural de las edificaciones existentes emplazadas sobre áreas de peligro muy alto a alto; tomando en cuenta los resultados del presente estudio, particularmente la zonificación geotécnica-sísmica y los mapas de peligros.

d).- Planteamiento integrado de los sistemas de redes (agua, desagüe, energía y vías) en las zonas de peligro muy alto a alto, y que tome en cuenta con el detalle requerido, los fenómenos a que se encuentran expuestos ante la ocurrencia de sismos: inundación por tsunamis, licuación de suelos, deformación permanente del suelo, aceleración sísmica, amplificación local de ondas sísmicas y otros. Cada uno de los sistemas debe tener medidas

específicas de reducción de la vulnerabilidad estructural para sus componentes con la finalidad de obtener una vulnerabilidad baja que permita reducir el riesgo hasta límites tolerables.

### **7.2.2 PAUTAS TÉCNICAS DE HABILITACIONES URBANAS NUEVAS**

- a) Las nuevas habilitaciones urbanas deberán ubicarse en las áreas de expansión urbana previstas y que representan las áreas más seguras a la producción de fenómenos de origen geológico-geotécnico, climático y geológico-climático considerando la seguridad física de la ciudad. Estas áreas de expansión segura se localizan al sur y sur-este de Pisco, de acuerdo a los resultados encontrados en el presente estudio.
- b) Las nuevas habilitaciones urbanas y obras de ingeniería deberán tomar en cuenta los terrenos rellenados (sanitario o desmonte), áreas inundables por tsunamis, con afloramiento de la napa freática y otros; de manera que para estas áreas se tome en cuenta los estudios, proyectos y medidas de reducción de la vulnerabilidad requeridas
- c) No se debe permitir en los sectores calificados de peligro muy alto, el uso del suelo para nuevas habilitaciones urbanas. Las áreas no aptas para fines urbanos deberán ser destinadas a uso recreacional, paisajístico, u otros usos aparentes, que no requieran de altos montos de inversión para su habilitación.
- d) Las habilitaciones urbanas para uso de vivienda deben adecuarse a las condiciones geotécnicas-sísmicas existentes en la ciudades de Pisco y San Andrés, por lo que cada uno de sus componentes debe garantizar una baja vulnerabilidad estructural ante la ocurrencia de un sismo de magnitud 7.5 MI.
- e) En las habilitaciones nuevas se recomienda que la longitud de las manzanas no exceda los 100 m. para lograr una mejor accesibilidad vial.
- f) Los aportes para recreación pública, deben estar debidamente ubicados y distribuidos, de manera tal que permitan un uso funcional y sirvan como área de refugio en caso de producirse un desastre.
- g) El diseño vial debe adecuarse a las condiciones geotécnicas-sísmicas propias de las ciudades de Pisco y San Andrés y la circulación para evacuación necesaria en caso de desastres, particularmente en caso de un tsunami.

### **7.3 PAUTAS TÉCNICAS DE EDIFICACIONES**

A continuación se presentan pautas técnicas generales para orientar el proceso de edificación (diseño y construcción) en las ciudades de Pisco y San Andrés, con la finalidad de que las viviendas, edificios públicos, edificaciones esenciales y otros, tengan una baja vulnerabilidad y estén mejor preparados para afrontar la eventualidad de un nuevo sismo similar o mayor al ocurrido el 15/08/07:

- a) Previamente a las labores de excavación de cimientos, deberá ser eliminado todo el material de desmonte que pudiera encontrarse en el área en donde se va

a construir la edificación. Si el desmonte tiene una profundidad mayor a 1.0 m. se debe desestimar el uso de ésta área.

- b) No debe cimentarse nunca sobre suelos orgánicos, suelos susceptibles a cambios de volumen, suelos colapsables, suelos aluviales muy sueltos, desmonte o relleno sanitario. Estos materiales inadecuados deberán ser removidos en su totalidad, antes de construir la edificación y reemplazados con material de relleno seleccionado (GW y GM preferentemente), controlados y de ingeniería. El relleno debe abarcar la zona activa de presiones de la cimentación.
- c) La profundidad mínima de cimentación recomendada para edificaciones convencionales en la ciudad de Pisco es igual a 1.20 m.; inclusive en los casos que se encuentre agua subterránea, sin embargo, en algunos zonas se deberá analizar la necesidad de llegar hasta 1.50 m., de acuerdo a las condiciones geotécnicas del perfil de suelo encontrado.
- d) La cimentación de las edificaciones debe ser diseñada y construida tomando en cuenta:
- Los valores de capacidad portante del suelo de cimentación
  - La profundidad a la que se encuentra el nivel freático
  - El potencial de licuación del suelo de cimentación
  - La agresión química del suelo de cimentación al concreto
  - Posibilidad de amplificación local de ondas sísmicas

Estos valores se presentan para cada una de las zonas de la ciudad de Pisco y San Andrés en el Mapa N° 5.15, y se resume en el cuadro siguiente:

### CUADRO N° 21

Características a tomar en cuenta en el diseño y construcción de la cimentación

| ZONA | PROFUNDIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA (m.) | CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE CIMENTACION (Kg/cm2) | AGRESION QUÍMICA DEL SUELO DE CIMENTACION AL CONCRETO | POTENCIAL DE LICUACION DEL SUELO DE CIMENTACION              |
|------|---------------------------------------|--|---|--|
| I    | 0.00 a 1.00                           | 0.50 a 0.75  | Severa  | Alto   |
| II   | 0.00 a 1.00                           | 1.00 a 1.50  | Severa  | Muy Bajo   |
| III  | 0.00 a 2.00                           | 0.75 a 1.00  | Severa a Moderada                                     | Alto en la parte centro a oeste Moderado en el resto         |
| IV   | 1.00 a 2.00                           | 0.75 a 1.00  | Despreciable  | Bajo   |
| V    | 1.00 a 2.00                           | 1.00 a 1.50  | Despreciable  | Muy Bajo   |
| VI   | 2.00 a 4.00                           | 0.75 a 1.00  | Despreciable  | Moderado a Bajo en la parte este a oeste. Bajo en el resto   |
| VII  | 1.00 a 3.00                           | 1.00 a 1.50  | Despreciable  | Moderado a Bajo en la parte oeste a centro. Bajo en el resto |
| VIII | 1.00 a 2.00                           | 1.50 a 2.00  | Despreciable  | Muy Bajo   |
| IX   | 2.00 a 4.00                           | 1.00 a 1.50  | Despreciable  | Muy Bajo   |
| X    | 2.00 a 4.00                           | 0.75 a 1.00  | Despreciable  | Bajo   |

La estructura de cimentación que deberá tener características especiales en la ciudad de Pisco (por sus valores geotécnicos encontrados) corresponde a aquella que se ha de proyectar y construir en la zona denominada I: Playas de Pisco y San Andrés, zona norte de Pisco Playa desde el centro poblado Leticia hasta parte del asentamiento humano Miguel Grau.

En esta zona se requiere que la estructuración sea antisísmica con una cimentación en base a plateas con pilotes de 3.0 m. de longitud y el uso del cemento tipo V en la preparación del concreto de la cimentación.

En general, en las zonas de Playa y cercanas a esta, con alto potencial de licuación de suelos, con nivel freático superficial y con alta amplificación sísmica local; para el proyecto y construcción de edificaciones de más de dos pisos es recomendable usar plateas de cimentación y pilotes de por lo menos 3.0 m. de longitud, a fin de reducir los asentamientos diferenciales que pudiera ocasionar la densificación de los suelos, reducir los posibles daños por efectos de licuación de suelos y soportar las cargas de subpresión sobre la cimentación debido al agua subterránea.

Por otro lado, la zona que ofrece las mejores condiciones geotécnicas para la cimentación de las edificaciones es la XIII, ya que en esta área será suficiente con proyectar zapatas aisladas con cimientos corridos armados y una estructuración antisísmica.

Para el resto de la ciudad, se deberá analizar la necesidad del uso de zapatas aisladas conectadas en sus dos direcciones principales, tomando en cuenta que los valores de capacidad portante están entre 0.75 a 1.50 Kg/cm<sup>2</sup>.

En general, para la mayor parte de Pisco, en la construcción y proyecto de edificaciones de más de dos pisos es recomendable usar zapatas conectadas en sus dos direcciones principales con vigas de cimentación, a fin de soportar mejor los efectos producidos por un sismo y el asentamiento diferencial común en suelos limo-arenosos saturados de baja compacidad.

Las especificaciones técnicas de detalle para cada cimentación deberán ser proporcionadas en un Proyecto Geotécnico específico.

- e) En los sectores donde existen arenas y arenas limosas sueltas a medias, se recomienda profundizar la cimentación hasta un mínimo de 1.50 m., luego de lo cual, se ha de colocar un solado con mortero de concreto de 0.10 m. de espesor, previo humedecimiento y compactación del fondo de la cimentación, con un grado de por lo menos igual al 90%.
- f) Cuando el nivel freático se encuentre superficialmente, antes de construir la cimentación se debe colocar un material granular grueso en un espesor de 0.40 m. cuyos fragmentos deben ser de 7.5 cm. a 15 cm. y luego un solado de concreto de 0.10 m. de espesor.
- g) La edificaciones destinadas a las concentraciones de gran número de personas se les debe exigir un Estudio de Mecánica de Suelos y un diseño específico que cumpla con las normas de seguridad física y garantice su uso como área de refugio (hospitales, escuelas, oficinas administrativas, hoteles, restaurantes, salas de baile, almacenes comerciales, edificios industriales, etc.). Para el caso de viviendas comunes será necesario la determinación de los valores

geotécnicos a través de la inspección en campo de un ingeniero civil especialista (incluye investigaciones de campo e informe).

- h) Los edificios destinados para concentraciones de un gran número de personas, deberán considerar libre acceso desde todos sus lados, así como salidas y rutas de evacuación dentro u alrededor del edificio.
- i) Para lograr que las edificaciones resistan desastres naturales originados por un sismo, se recomienda para su proyecto y construcción, lo siguiente:
- Incluir refuerzos laterales: el edificio debe diseñarse para que las paredes, los techos y los pisos se apoyen mutuamente. Una pared debe actuar como refuerzo para otra. El techo y los pisos deberán usarse para dar rigidez horizontal adicional. Deben evitarse las ventanas y las puertas cerca de las esquinas.
  - Ofrecer resistencia a la tensión: para los amarres entre vigas y columnas deben estar fuertes para que no se separen. Los edificios de ladrillo deben estar amarrados con madera o acero. Los techos deben estar firmemente amarrados a las paredes.
  - Fomentar la buena práctica local: la observancia de aspectos como una elección sensata de la ubicación, buenos materiales, y el mantenimiento regular que irá en beneficio de edificios más seguros.
  - Las Directrices de las Naciones Unidas para la seguridad de las edificaciones recomienda formas y disposiciones para los edificios, que si bien atentan contra la libertad del diseño, es conveniente adecuar su aplicación a ciudades como Pisco, por su vulnerabilidad ante desastres originados por sismos. Estas orientaciones son las siguientes:
    - Los edificios deben ser de formas sencillas, manteniéndose la homogeneidad en las formas y el diseño estructural. Se recomiendan las formas horizontal cuadrada o rectangular corta.
    - Se debe evitar:
      - Edificios muy largos
      - Edificios en forma de L o en zig-zag.
      - Alas añadidas a la unidad principal.
    - La configuración del edificio debe ser sencilla evitándose:
      - Grandes diferencias en las alturas de distintas partes del mismo edificio.
      - Torres pesadas y otros elementos decorativos colocados en la parte más alta de los edificios.
- j) Para la instalación de tuberías en suelos sujetos a movimientos fuertes, se deberá emplear materiales dúctiles como el polietileno.
- k) La accesibilidad, circulación y seguridad para los limitados físicos, deben estar garantizadas con el diseño de las vías y accesos a lugares de concentración pública.



## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- a) El área de estudio, las ciudades de Pisco y San Andrés, se ubican en los distritos de Pisco y San Andrés, provincia de Pisco y Región Ica.
- b) El área de estudio se encuentra emplazada sobre depósitos fluviales; ya que forma parte del cono de deyección antiguo del río Pisco a su llegada al océano Pacífico, por lo que en esta zona se encuentra una cobertura de arenas-limosas (SM) sueltas a muy sueltas con una potencia entre 1,0 m. a 4,0 m. y a continuación gravas-arenosas (GP) limpias medianamente compactas hasta una profundidad máxima investigada de 25.0 m. El nivel freático se encuentra entre 0,10 m. a 4,0 m. de profundidad.
- c) Ante la ocurrencia de un sismo de magnitud mayor o igual a 7.0 MI con un epicentro muy cercano al área de estudio, gran parte de la ciudad de Pisco que comprende su casco urbano y Pisco Playa, se encontrarán sujetos a fenómenos tales como: disminución de capacidad portante, licuación de suelos, inundación por tsunami y amplificación local de ondas sísmicas; que de no preverse adecuadamente en el diseño y construcción de las edificaciones, puede ocasionar una emergencia de la magnitud de un Desastre; como fue la que efectivamente ocurrió con el sismo del 15/08/07.
- d) Los mayores daños e intensidades sísmicas ocasionados por el sismo del 15/08/07 se concentran en el casco urbano de Pisco Pueblo (severo a colapso, VIII MM), alrededor de la Plaza de armas hasta llegar a la Av. Las Américas por el sur. Al sur y sur-este de Pisco Pueblo a partir de la Av. Las Américas, los daños se muestran leves a moderados (VI a VII MM) y es la zona que mejor ha resistido el evento sísmico.
- e) Los valores de frecuencias predominantes (microtremores) obtenidas en la ciudad de Pisco, muestran claramente una correlación con el tipo de material de la que esta compuesto el suelo. Los valores de 8 a 10 Hz se localizan principalmente donde el suelo está compuesto por depósitos marinos, arenas limosas y relleno antrópico y los valores altos entre 16 a 20 Hz se ubican principalmente en la zona Sureste entre las avenidas Las Américas y Abraham Valdelomar, los centros poblados de La Yesera, Casa Blanca y de manera puntual en Alto El Molino compuesta por gravas.
- f) Del análisis de los Radargramas en el sector Pisco se ha determinado dos interfases que definen tres capas litológicas de material cuaternario fluvial. La primera capa constituida por un suelo areno limoso poco consolidado, le subyace una capa constituida de grava fina, gruesa y bloques con matriz arenoso, debajo de ella, se tiene una capa de suelo con mayor grado de compactación y homogeneidad que presenta baja amplitud y poca dispersión. Así mismo se han determinado anomalías de tipo hiperbólico la mayoría localizadas en la zona urbana que corresponderían a ductos o tuberías.
- g) La ciudad de Pisco se ha dividido en 03 niveles de peligros múltiples en función a la ocurrencia y magnitud de los fenómenos de origen geológico-geotécnico, climático y geológico-climático; según la descripción siguiente (Ver **MAPA N° 5.18**):

### **ZONA DE PELIGRO MEDIO – CONDICIONES CONSTRUCTIVAS ACEPTABLES:**

Comprende la zona sur-este de Pisco Pueblo a continuación de la Av. Las Américas y parte de la zona este de San Andrés. Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP), origen fluvial y nivel freático entre 1,20 m. a 2,0

m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular a buena capacidad portante (1,50 a 2,00 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una baja a media amplificación sísmica local. La zona no es inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea hasta de 6,0 m. ni tampoco por el desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias. Zona recomendada para usos urbanos de alta a media densidad y la ubicación de edificaciones indispensables como: Hospitales, Centros Educativos, Cuartel de Bomberos; etc después de realizar investigaciones geotécnicas normales.

#### **ZONA DE PELIGRO ALTO – CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES:**

**Zona al centro y este de San Andrés:** Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos con gravas y lentes arenosos (GP), origen fluvial y nivel freático entre 1,4 m. a 2,0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1,00 a 1,50 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. Solo en la parte oeste, la zona queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 5.0 m. a 6.0 m., en el resto no hay posibilidad de inundación. No le alcanza la inundación por desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

**Zona desde el casco urbano de Pisco Pueblo hasta la carretera Panamericana sur:** Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen fluvial y nivel freático entre 2,0 m. a 4,0 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene baja a regular capacidad portante (0,75 a 1,50 Kg/cm<sup>2</sup>), moderado a bajo potencial de licuación, despreciable agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. Solo en la parte oeste, la zona queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 5,0 m. a 6,0 m., en el resto no hay posibilidad de inundación. No le alcanza la inundación por desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

Zona recomendada para usos urbanos de baja a media densidad, luego de realizar investigaciones geotécnicas detalladas y proponer las medidas de reducción de vulnerabilidad estructural requeridas en las edificaciones.

#### **ZONA DE PELIGRO MUY ALTO – CONDICIONES CONSTRUCTIVAS MUY DESFAVORABLES:**

**Zona al centro y oeste de San Andrés:** Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos gravo-arenosos (GP) medianamente consolidadosf origen fluvial y nivel freático entre 0,10 m. a 0,80 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene regular capacidad portante (1,00 a 1,50 Kg/cm<sup>2</sup>), muy bajo potencial de licuación, severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una media amplificación sísmica local. La zona queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 3,0 m. a 5,0 m. No le alcanza la inundación por desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

**Zona norte de Pisco Playa desde el centro poblado Leticia hasta parte del asentamiento humano Miguel Grau. Zona sur-oeste de Pisco Playa entre las calles Demetrio Miranda y Julio Quiñones con límite al sur por la Av. Las Américas:** Terreno de pendiente muy suave, asentado sobre suelos areno-limosos (SM) de baja plasticidad, origen aluvial y nivel freático entre 0,10 m. a 0,80 m. de profundidad. El suelo de cimentación tiene muy baja capacidad portante (0,50 a

0,75 Kg/cm<sup>2</sup>), alto potencial de licuación, severa agresión química al concreto, peligro sísmico alto y una alta amplificación sísmica local. La zona queda inundada con un tsunami cuyo “run-up” sea de 3,0 m. a 5,0 m. No le alcanza la inundación por desborde del río Pisco en épocas de avenidas extraordinarias.

Zona no recomendable para usos urbanos. Se recomienda su uso como reservas ecológicas o recreación abierta. Su uso requiere la realización de estudios especializados (sismicidad, geología, geotecnia, etc.) con la finalidad de proponer los proyectos de reducción de vulnerabilidad requeridos en las edificaciones y las medidas de mitigación de desastres.

- h) La zona expuesta al menor grado de peligros de origen natural en la ciudad de Pisco se localiza al sur y sur-este de Pisco Pueblo, a continuación de la Av. Las Américas. El sismo del 15/08/07 produjo en las edificaciones de esta zona, daños leves a moderados; lo que coincide con el nivel de peligros asignado: Medio.
- i) La zona expuesta al mayor grado de peligros de origen natural en la ciudad de Pisco se localiza a lo largo del litoral costero de Pisco Playa; en la cual, durante la ocurrencia de un sismo de magnitud importante (MI mayor a 7) se produce el fenómeno de licuación de suelos, es inundada por la ola y “run-up” del tsunami y se presenta una alta amplificación local de las ondas sísmicas; lo que coincide plenamente con el nivel de daños : Severo a colapso que ocasionó el sismo del 15/08/07 a las edificaciones de la zona y la calificación de peligros asignado: Muy Alto.
- j) El resto de la ciudad de Pisco hasta el CC PP Amauta, presenta un peligro alto influenciado básicamente por la baja a regular capacidad portante existente y por la posibilidad de amplificación local de ondas sísmicas; por lo que en esta zona, si no se toman las medidas de reducción de vulnerabilidad que el caso amerita, las edificaciones pueden sufrir daños severos a colapso ante la ocurrencia de un evento sísmico, tal como ocurrió durante el sismo del 15/08/07 con estructuras altamente vulnerables (adobe, tapial) y con serias deficiencias estructurales (piso blando, columna corta, baja densidad de muros, etc).
- k) La Propuesta de Usos del Suelo para la ciudad de Pisco realizada en el año 2001 por INDECI, es una herramienta valiosa en el planeamiento del crecimiento ordenado de la ciudad, tomando en cuenta la magnitud de un peligro de origen natural determinado que pudiese ocasionar un Desastre; por lo que debe ser aceptada y cumplida en los planes de crecimiento y expansión urbanística de la ciudad, a cargo del gobierno local. Esta propuesta está basada en un Mapa de peligros (Versión 2001) que coincide marcadamente con los resultados encontrados en el presente estudio (Versión 2007).
- l) Se recomienda utilizar la zonificación geotécnica-sísmica y los mapas de peligros de Pisco y San Andrés elaborados en el presente estudio, como una herramienta fundamental para actualizar y complementar la Propuesta de Usos de Suelos existente, tomando en cuenta el principal requisito de una ciudad sostenible y segura. Aún más, los resultados del presente estudio, utilizados de manera adecuada y en forma oportuna, permitirán la planificación de la reconstrucción de la zona afectada por el sismo del 15/08/07.

## BIBLIOGRAFÍA

Bacon, F. (1986). “Geología aplicada a la ingeniería Civil”; Mc Graw Hill U.S.A., México.

Beverley J. et al. (2003). Application of High-resolution Optical Satellite Imagery for Post-Earthquake Damage Assessment: The 2003 Boumerdes (Algeria) and Ban (Iran) Earthquake. MCEER – Buffalo University.

De la Cruz Uribe, A. (2,000). “Zonificación Geotécnica de la ciudad de Pisco”. Tesis de investigación. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica (UNICA).

[http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/Peru2007/JSCE\\_JAEE\\_Report/Index.htm](http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/Peru2007/JSCE_JAEE_Report/Index.htm). Pisco earthquake, Peru, August 15, 2007. Geotechnical aspects.

INDECI-PNUD-Programa ciudades sostenibles (2001). “Mapa de peligros, Plan de usos del suelo y Propuestas de medidas de mitigación de los efectos producidos por los desastres naturales de la ciudad de Pisco”; Lima

INGEMMET (1981). “Estudio Geológico y Geodinámico de la cuenca del río Pisco”, Boletín N° 17, Serie C. Dirección de Geotécnica. 145p.

Instituto Geofísico del Perú.

[http://khatati.igp.gob.pe/Webs/cns06/pisco2007/terremoto\\_pisco\\_2007.htm](http://khatati.igp.gob.pe/Webs/cns06/pisco2007/terremoto_pisco_2007.htm)

Japan Society of Civil Engineers – JSCE, Japan Association of Earthquake Engineering – JAEE – University of Tokio – UT (2007). Pisco earthquake, Perú, August, 2007; Japan; Setiembre 2007.

Jiménez Salas, J.A. (1981). “Geotecnia y Cimientos” Volumen I, II y III; Editorial Rueda, España, Reimpreso: Madrid, 2000.

Juarez Badillo, E. & Rico Rodriguez, A. (1995). Mecánica de Suelos Tomo II; Editorial LIMUSA, México, 1995, Tercera Edición.

Kramer, Steven L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering.

Kuroiwa Horiuchi, J. (2002). “Reducción de Desastres” Viviendo en armonía con la naturaleza; QUEBECOR WORLD PERU S.A. Lima, Enero 2002

Marina de Guerra del Perú - Dirección de Hidrografía y Navegación (2007). Informe post-tsunami del 15/08/07; Lima. Agosto 2007

Marina de Guerra del Perú - Dirección de Hidrografía y Navegación (2001). Informe Nacional del Sistema de Alerta de Tsunamis en el Perú; Lima

Matos, E., Cangana, R. & Ferro, V. (2005). “Plan de Ordenamiento Territorial de la cuenca baja del río Pisco”. Curso: Taller de Ordenamiento Territorial para el Desarrollo I. Maestría GDDS-UNI.

Matos, E., Cangana, R. y Ferro V. (2005). “Zonificación Geotécnica de la ciudad de Pisco”, Curso: Estudios Territoriales. Maestría GDDS-UNI.

Matsuoka, M. And Yamazaki, E. (1998) Identification of damaged areas due to the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake using satellite optical images, proceeding of the 1998 Asian Conference on Remote Sensing. Gis Development.

Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Qr of rtri, Vol 30, No 1, Feb 1989.

Narader V. & Singh Narpat. (2001) Application of remote sensing and GIS for the study of subsurficial changes in Bhuj and Kathiawar due to Bhuj Earthquake 2001. Gis development.

Ojeda A., S. Martinez, M.L. Martínez y K. Atakan (2001). A new acelerograph network for the Santa Fe de Bogotá and implication for microzonification. ISSUE.

Ordaz, M. y C., Montoya (2000). DEGTRA 2000 ver. 2.0.2. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

Rico Rodríguez, A. & Del Castillo, H. (1998). La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Volumen I y II; Editorial LIMUSA, México. Duodécima reimpresión.

Romero, M., A. Cragno, M. Schmitz, R. Ambrosio (2006). Caracterización de suelos con métodos geofísicos en La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguanera, Estado Vargas, Venezuela. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas –FUNVISIS. IMME v.44, n1. Caracas.

Sánchez Espinoza, J. (2,000). “Zonificación Sísmica de la ciudad de Pisco”. Tesis de Investigación. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica (UNICA).

Silgado, E. (1976). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). Instituto de Geología y Minería-INGEOMIN. 131p

Sistema Nacional e Información para la Prevención y Atención de Desastres – SINPAD.  
<http://sinadeci.indeci.gob.pe/PortalSINPAD/>

Terzaghi, K. & Peck, R. (1980). Mecánica de Suelos en la ingeniería práctica; Editorial El Ateneo; México; Segunda Edición.