



Centro Regional de Sismología para América del Sur



United Nations Educational,
Scientific and Cultural organization

Informe Técnico
Editado por CERESIS

PERÚ

El Terremoto de Pisco-Perú **15 de Agosto de 2007**

F. Giuliani
M. Astroza
S. Barrientos
L. Rodríguez y otros
A. San Bartolomé
D. Huaco y F. Calixto

Distribución Limitada

CERESIS/UNESCO
Lima, 2008



Centro Regional de Sismología para América del Sur



United Nations Educational,
Scientific and Cultural organization

TERREMOTO DE PISCO, PERÚ 15 DE AGOSTO, 2007

INFORME DE LA MISIÓN CERESIS/UNESCO

INDICE

RECONOCIMIENTO REALIZADO EN LA ZONA AFECTADA POR EL SISMO DE PISCO, PERU, DEL 15 DE AGOSTO DE 2007

Francisco Giuliani

ESTUDIO DE LA ZONA AFECTADA POR EL TERREMOTO DEL 15 DE AGOSTO. INTENSIDADES Y DAÑOS DEL TERREMOTO

Maxmiliano Aztroza I.

ALTURAS DE “RUN-UP” ALCANZADAS POR TSUNAMI ASOCIADA AL SISMO DE 15 DE AGOSTO DE 2007, EN LA ZONA DE PISCO PERÚ

Sérgio E. Barrientos

EVIDENCIAS POST-SISMICAS DE INESTABILIDAD GEOLÓGICA, OBSERVADAS EN LA MISION REALIZADA, A CONSECUENCIA DEL SISMO OCURRIDO EL 15 DE AGOSTO DE 2007 AL NORESTE DE PISCO, PERÚ.

Luz M. Rodríguez, Jean Domínguez, Ricardo López, Herbert Rendón

RESPUESTA DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE REFORZADAS EN ICA POR EL PROYECTO CERESIS/PUCP/GTZ EN 1999

Angel San Bartolomé

ESPECTROS DE RESPUESTA DE LAS ACELERACIONES DEL SISMO DE PISCO-AGOSTO 15, 2007.

Daniel Huaco, Frank Calixto.

RECONOCIMIENTO REALIZADO EN LA ZONA AFECTADA POR EL SISMO DE PISCO, PERÚ, DEL 15 DE AGOSTO DE 2007

Francisco L. Giuliani
Comité Técnico de Seguridad de Grandes Presas, ICOLD (Argentina)

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe se refiere al reconocimiento de la zona afectada por el sismo de Pisco, República del Perú, ocurrido el pasado 15 de agosto. El suscripto fue invitado por CERESIS, con el fin de colaborar con dicha Institución en la apreciación de los daños y efectos resultantes del sismo, arribó a Lima el día 21 de agosto por la noche.

2. RECONOCIMIENTOS REALIZADOS

El día 23 de Agosto del 2007 por la tarde, camino a la ciudad de ICA, fue posible visitar las localidades de Lurín, Chilca, Mala, Asís y Coaylo.



Fig.1 Localidades Visitadas.

El día 24 se visitó las localidades de: Guadalupe, Paracas, San Andrés, San Clemente, puente Huamani, Chinchipe Baja, Tambo de Mora, Pisco, Cerro Azul, San Vicente de Cañete y Lunahuaná que aparecen en el mapa de la figura 1. El día 25 por la mañana se visitó la ciudad de ICA y alrededores. El reconocimiento de los lugares se realizó en compañía del Profesor Maximiliano Astroza de Chile, con quien se intercambiaron distintas opiniones y apreciaciones sobre los daños y efectos observados.

Los diferentes tipos de construcción vistos se resumen en: viviendas de adobe con techos de rollizos y quincha, casas y edificios de mampostería hueca o maciza con estructura de hormigón armado, casas y muros divisorios de mampostería sin vinculaciones estructurales, iglesias antiguas de adobe y/o mampostería con techos de madera y quincha, estructuras elevadas de hormigón armado para tanques de agua, puentes, carreteras, postes de alumbrado, otros.

A continuación se describen los efectos y los daños observados en las distintas localidades en el orden en que fueron visitadas.

Lurín: A lo largo del camino se observaron derrumbes generalizados de muros de mampostería de ladrillos sin enmarcado estructural. No se apreciaron daños significativos en la localidad.

Chilca: La iglesia presenta daños en ambos campanarios, habiendo colapsado el sombrerete y la cruz de uno de los ellos, como se muestra en la figura 2.



Fig.2 Iglesia en Chilca.

También pueden observarse fisuras y grietas horizontales y verticales de importancia en ambos. El altar se encuentra fuertemente dañado. El muro de adobe aledaño a la iglesia sufrió derrumbes parciales. Muchas viviendas

de adobe tienen roturas de sus revestimientos y fisuras.

Mala: Se encuentran numerosas construcciones de adobe muy dañadas, con derrumbes parciales y/o totales de sus muros, y en muchos casos, colapsos de techos construidos con rollizos de madera y caña como en la figura 3.



Fig.3 Vivienda en Mala.

En la figura 4 observa un muro de mampostería de ladrillo y columnas de hormigón armado con daño estructural severo.



Fig.4 Vivienda en Mala.

En general las construcciones de mampostería de ladrillos macizos con estructura de hormigón armado, tuvieron un buen comportamiento.

Asia: No se observaron daños significativos en la localidad.

Coaylo: La iglesia presenta daños severos, con colapso parcial de su bóveda de quincha y derrumbes de parte de sus muros. También pueden verse daños y derrumbes en muchas de las construcciones de adobe.

En general se observó menor daño en las viviendas construidas en la ladera del cerro, presumiblemente por influencia de un mejor terreno de fundación.

Guadalupe: La iglesia fue gravemente afectada, con derrumbe de parte de sus muros de adobe y colapso parcial de la bóveda de quincha. Los campanarios se encuentran agrietados como lo muestra la figura 5.



Fig. 5 Iglesia en Guadalupe.

Pueden verse numerosos colapsos de muros de adobe y de techos de madera y quincha de viviendas. En otros casos se observan roturas de revestimientos y fuertes agrietamientos en paredes. En general la construcción de edificios de mampostería de ladrillos macizos, con estructura de hormigón armado, tuvo un buen comportamiento.

Paracas: La costa de Paracas fue afectada por un Tsunami, con sobre-elevación del nivel del mar del orden de dos metros y penetración tierra adentro en el orden de los doscientos metros. La costanera de Paracas sufrió corrimientos del orden de los 0,60 metros y hundimientos del orden de 0,20 metros, evidenciados por fuertes distorsiones del pavimento y la rotura de los pisos de baldosas del lugar (Fig.6).



Fig. 6 Paracas.
Costanera.

Toda la línea de comedores y pequeños negocios de la costa sufrieron en forma notable los efectos mencionados. Pudieron verse varias barcas y botes de pesca que fueron arrojados por el mar sobre la línea de construcciones existentes sobre la playa. Los hundimientos y deformaciones del terreno se atribuyen a densificación del suelo. No se observaron signos de licuación. En la figura 7 se observa un muelle flotante se vio quebrado y trabado aproximadamente dos metros por encima del nivel actual del mar.



Fig. 7 Paracas. Muelle flotante.

Un tramo de pilote de hormigón encamisado en acero, de aproximadamente dos metros de largo y 0,30 metros de diámetro, fue arrojado a la playa con recorrido aproximado superior a los 50 metros.

No obstante la violencia del fenómeno mencionado es importante señalar el buen comportamiento que en general tuvieron la mayoría de las construcciones vecinas, como la casa de la figura 8.



Fig. 8 Paracas. Casas Residencial.

En general pudo observarse que se trata de viviendas residenciales, de mampostería de ladrillo y estructura de hormigón armado, que no sufrieron daños significativos. También existen en el lugar edificios de varios pisos de buena construcción, así como estructuras elevadas de hormigón armado para tanques de agua, que no sufrieron daño alguno. Según pudo recabarse de pobladores del lugar, las construcciones mencionadas se encontrarían fundadas sobre arenas, mediante zapatas corridas, a profundidades del orden de 0,80 metros o más.

San Andrés: La iglesia frente a la plaza central no presenta daños significativos. Sólo se observa una fisura de corte en su frente. Viviendas de adobe frente a la plaza sin daños.

Pisco: El centro de la ciudad sufrió daños muy severos; particularmente, figura 9, toda la construcción de adobe con derrumbes generalizados de muros y el colapso de numerosos techos de viviendas.



Fig. 9 Vivienda en Pisco.

La figura 10 muestra el caso catastrófico, ya profusamente reportado por la prensa, del colapso de la iglesia catedral frente a la plaza de armas.



Fig.10 Catedral. (Foto Ing. Juan Carmona)

Así como la figura 11, en el caso del hotel Embassy.



Fig. 11 Hotel Embassy. (Foto Ing. Juan Carmona)

En la figura 12, el hospital San Juan de Dios fue severamente afectado, con agrietamientos muy importantes de sus muros de mampostería de ladrillo y desprendimientos muy significativos.



Fig. 12 Hospital fuertemente dañado en Pisco.

Resulta muy significativo el buen comportamiento de la parte nueva de dicho hospital. Pueden observarse daños extendidos en las construcciones con muros y tabiques divisorios de mampostería cerámica de ladrillo hueco.

En muchos casos los mismos colapsaron totalmente. También fallaron tabiques en voladizos y balcones por falta de refuerzos y fragilidad. En general puede verse que la construcción de albañilería maciza con estructura hormigón armado tuvo un excelente comportamiento. Así lo evidencian muchos edificios de varios pisos como el de la figura 13, así también como las construcciones elevadas para tanques de agua.

En ambas salidas de Pisco, hacia el norte y hacia el sur, la carretera en distintos tramos sufrió fuertes agrietamientos y asentamientos.



Fig. 13 Pisco. Edificio Céntrico.

San Clemente: En la zona baja se observan mayores daños en viviendas y muros de adobe. En la zona alta se observa mucho menor nivel de daño.

Puente Huamani: Sufrió fuertes daños, particularmente en la pila central, la que presenta roturas de ambos topos sísmicos, con fracturación total y corte de armaduras por el impacto del tablero central en su dirección transversal, tal como se muestra en la figura 14.



Fig. 14 Puente Huamani. Pila Central.

La figura 15 muestra los terraplenes de aproximación al puente que sufrieron asentamientos y agrietamientos muy importantes.



Fig. 15 Asentamiento camino. (Foto Ing. Juan Carmona)

Tambo de Mora: En esta localidad se observaron efectos de licuación del suelo devastadores. Son pocas las referencias bibliográficas que el suscripto conoce con niveles de daños como los ocurridos. Numerosas viviendas sufrieron hundimientos del orden del metro al metro y medio por debajo del nivel de la calle. En la figura 16 se observa que las casas fueron dislocadas y partidas en forma absolutamente extrema. Se destaca que en muchos casos se trata de construcciones de mampostería de ladrillos de relativa buena construcción.



Fig. 16 Tambo de Mora. Vivienda.

Los interiores de estas viviendas sufrieron daños extremos con roturas totales, levantamientos y distorsiones severísimas de sus pisos, así lo muestra la figura 17. Postes y árboles fueron desgajados y literalmente arrancados del suelo.



Fig. 17. Tambo de Mora.

También pudieron observarse vestigios de expulsión violenta de agua con arena hacia la superficie, fenómeno que fue confirmado por pobladores de la localidad. Es claro que la mayoría de las construcciones del lugar fueron fundadas sobre arenas de playa saturadas en estado suelto. La realización de estudios geotécnicos sería particularmente valiosa para confirmar y explicar las apreciaciones señaladas.

Cerro azul: No se observaron daños significativos.

San Vicente de Cañete: No se observaron daños significativos.

Lunahuana: La iglesia presenta fisuras y grietas de cierta significación. Los muros y construcciones de adobe sufrieron daños parciales. Un sector del pavimento a la orilla del camino fue afectado por hundimientos y deslizamientos del terraplén.

ICA:

Edificio de mampostería, esquina de la plaza central: Sus pilares y muros se encuentran fuertemente agrietados y quebrados. Se considera su estado actual cercano al colapso (Figura 18).



Fig. 18 Ica. Edificio esquina frente a la plaza.

Catedral: Con daños importantes en su cúpula y campanarios. El frente de mampostería presenta agrietamiento horizontal en todo el largo. Salvo los casos mencionados no se observan daños significativos en edificios frente a la plaza central.

Iglesia San Jerónimo: Se observan agrietamientos verticales y de corte en la mampostería.

Capilla San Juan de Dios: Con daños en su campanario y en los muros de adobe. Sufrió derrumbe parcial y fisuras varias.

Iglesia del Señor de Luren: Se observan severos daños a la mampostería. Caída de capiteles y fuertes agrietamientos de las torres superiores. La figura 19 muestra la bóveda central colapsada parcialmente.

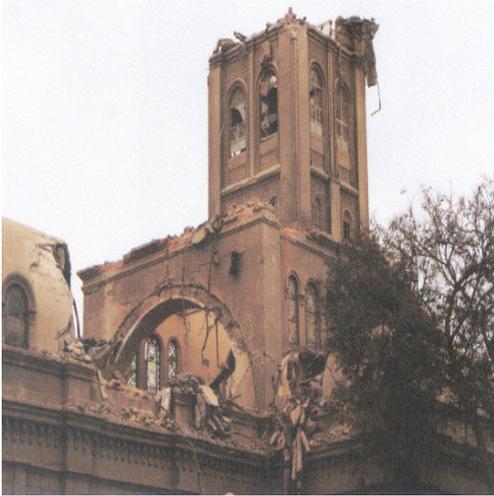


Fig. 19 Ica. Iglesia del Señor de Luren.

Iglesia El Socorro: Su campanario de quincha y madera se encuentra volcado. La mampostería sufrió fuertes daños, con agrietamientos de corte y tracción. Se considera su estado actual próximo al colapso. Hacia el este de la ciudad se observa mucha construcción de mampostería de ladrillo. Las viviendas y negocios de una planta y dos pisos, en general no presentan daños o son de poca significación.

Hacia el sur de la plaza central y en la parte antigua de la ciudad, donde la construcción es mayoritariamente de adobe, se observan muchos derrumbes de casas y muros.

Pachacutec: Construcciones de adobe y quincha sin daños o de poca significación.

3. CONSIDERACIONES VARIAS

Tal como se ha descrito, los efectos y daños producidos por el sismo pudieron observarse en numerosas localidades, ubicadas a lo largo de la ruta Panamericana y frente a la costa, así como en la ciudad de ICA y hacia el interior en la montaña en Coaylo y Lunahuaná. La intensidad del sismo ha sido por cierto muy diferente en las distintas localidades visitadas, siendo como es de conocimiento general la zona más castigada Chíncha y Pisco, así como poblaciones sobre la

costa, como Paracas y muy particularmente Tambo de Mora. Singularmente el pueblo de Coaylo, en la montaña a unos 20 km de la costa, también sufrió fuertes daños, particularmente en su parte baja, mientras que en Asia no se observaron daños significativos. Entre los numerosos tipos de daños sufridos por las distintas localidades pueden mencionarse los siguientes: Derrumbes parciales y/o totales de viviendas y muros de adobe, roturas de muros de mampostería cerámica, agrietamientos y hundimientos en pavimentos, casas hundidas y fracturadas por licuación de suelos, inclinación de postes y árboles caídos, corrimientos y hundimientos del terreno, daños severos y/o derrumbes en iglesias, así como algunas roturas en elementos estructurales de hormigón armado (muy esporádicas) y otros.

Si bien las causas de los daños han sido diversas y en ciertos casos superpuestas, es posible distinguir tres fenómenos de naturaleza y efectos bien diferentes:

- La intensidad de los movimientos vibratorios del terreno
- Los efectos de tsunami
- La licuación de suelos

Es claro que los mayores daños se han producido en viviendas de adobe como lo muestran las figuras 20 y 21, las que en áreas muy extendidas de Pisco, Chíncha, San Clemente y otras localidades, sufrieron derrumbes y/o colapso total.



Fig. 20 Construcción de Adobe. Colapso.

Resulta significativo que el adobe no se encuentra en general partido, a pesar de estar constituido por un limo arenoso de muy baja plasticidad.



Fig. 21 Construcción de Adobe. Colapso.

Se ha observado que en ciertas áreas del epicentro la construcción de adobe no se ha visto tan afectada, encontrándose viviendas en pie con daños poco significativos, circunstancia que únicamente parece explicarse por la influencia de distintos terrenos de fundación. Para una confirmación y/o clarificación en este aspecto ciertamente serán particularmente valiosos los estudios de microzonificación sísmica existentes así como las investigaciones complementarias que pudieran realizarse. Un aspecto notable ha sido la falla generalizada de tabiques y muros de mampostería de ladrillos cerámicos huecos, debido a la fragilidad extrema de los mismos. En general se observa que la construcción de viviendas y edificios de mampostería de ladrillo macizo, con estructura independiente de hormigón armado, ha tenido un buen comportamiento aún en las áreas más castigadas. Deben distinguirse casos singulares como el colapso del hotel Embassy, en el centro de Pisco, donde es posible que la falla de bloque en esquina haya resultado por la conjunción de una planta débil y defectos de fundación. Seguramente estos y otros aspectos serán motivo de una investigación especial. Una cuestión particular son los efectos producidos por el Tsunami en localidades de la costa. Como

ha sido mencionado, frente a Paracas el mar creció intempestivamente de nivel en aproximadamente dos metros y entró tierra adentro en el orden de los doscientos metros, arrastrando con gran fuerza botes y barcazas sobre las construcciones de la costa. Según fue relatado al suscrito por pobladores del lugar las viviendas y edificios en la localidad en general se fundan mediante zapatas corridas en la arena a profundidad de 0,80 metros o superior.

Llama la atención que a pesar de corrimientos del terreno del orden de 0,60 metros y asentamientos de varios centímetros en la costanera, la mayoría de las construcciones no han sufrido daños significativos. En general se trata de viviendas y edificios residenciales de buena construcción. Un capítulo especial merece el análisis de lo sucedido en la localidad de Tambo de Mora, donde como ha sido mencionado, numerosas viviendas sufrieron el efecto devastador de la licuación de suelos. Desde luego se trata de construcciones que fueron fundadas superficialmente sobre arenas finas de playa, sueltas y saturadas. La relación de vacíos de estos suelos, por encima de la crítica, en conjunción con las fuertes aceleraciones y duración del sismo, ciertamente fueron determinantes de los efectos observados. Una valoración objetiva de lo ocurrido sólo podrá realizarse sobre la base de estudios geotécnicos e investigaciones específicas en el lugar.

4. AGRADECIMIENTO

Quien suscribe agradece al Dr. Daniel Huaco Oviedo, a UNESCO y a CERESIS por la oportunidad de colaborar en el reconocimiento del área afectada por el sismo de Pisco, a la vez que desea lo mejor para la más pronta recuperación y bienestar del pueblo peruano.

Ing. Francisco Luis Giuliani

27 de agosto de 2007

ESTUDIO DE LA ZONA AFECTADA POR EL TERREMOTO DEL 15 DE AGOSTO

INTENSIDADES Y DAÑOS DEL TERREMOTO

Maximiliano Astroza I.
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile

1. LOCALIDADES VISITADAS

La inspección de daños se realizó desde la tarde del día jueves 23 de agosto hasta el domingo 26 de agosto. Las 28 localidades visitadas se indican en la Tabla 1, destacando el

Departamento y la Provincia al que pertenecen y sus coordenadas geográficas junto con la altura con respecto del nivel del mar.

Tabla 1. Localidades visitadas y ubicación geográfica.

| | Pueblo | Departamento | Provincia | Ubicación Geográfica | | |
|----|-----------------------|--------------|-----------|----------------------|--------------|----------|
| | | | | Latitud [°] | Longitud [°] | m.s.n.m. |
| 1 | Lurín | Lima | Lima | -12,283 | -76,867 | 4 |
| 2 | Pucusama | Lima | Cañete | -12,483 | -76,800 | 44 |
| 3 | Chilca | Lima | Cañete | -12,533 | -76,733 | 88 |
| 4 | Mala | Lima | Cañete | -12,650 | -76,633 | 130 |
| 5 | Asia | Lima | Cañete | -12,783 | -76,567 | 47 |
| 6 | Coayllo | Lima | Cañete | -12,733 | -76,467 | 363 |
| 7 | Lunahuana | Lima | Cañete | -12,967 | -76,133 | 975 |
| 8 | Cerro Azul | Lima | Cañete | -13,033 | -76,483 | 2 |
| 9 | Pauyo | Lima | Cañete | -13,033 | -76,183 | 655 |
| 10 | San Vicente de Cañete | Lima | Cañete | -13,083 | -76,400 | 33 |
| 11 | Chincha Alta | Ica | Chincha | -13,450 | -76,133 | 72 |
| 12 | Tambo de Mora | Ica | Chincha | -13,467 | -76,200 | 1 |
| 13 | Chincha Baja | Ica | Chincha | -13,467 | -76,167 | 28 |
| 14 | San Clemente | Ica | Pisco | -13,667 | -76,150 | 72 |
| 15 | Pisco | Ica | Pisco | -13,700 | -76,217 | 9 |
| 16 | San Andrés | Ica | Pisco | -13,733 | -76,233 | 1 |
| 17 | Paracas | Ica | Pisco | -13,867 | -76,267 | 23 |
| 18 | Pozo Santo | Ica | Pisco | -13,900 | -76,083 | 156 |
| 19 | Guadalupe | Ica | Ica | -13,967 | -75,767 | 453 |
| 20 | Parcona | Ica | Ica | -14,048 | -75,698 | 467 |
| 21 | Ica | Ica | Ica | -14,068 | -75,726 | 447 |
| 22 | Tate de la Capilla | Ica | Ica | -14,152 | -75,707 | 459 |
| 23 | Santiago | Ica | Ica | -14,189 | -75,714 | 407 |
| 24 | Pachacutec | Ica | Ica | | | |
| 25 | Ocucaje | Ica | Ica | -14,348 | -75,669 | 326 |
| 26 | Palpa | Ica | Palpa | -14,534 | -75,186 | 422 |
| 27 | Nazca | Ica | Nazca | -14,833 | -74,950 | 588 |
| 28 | San Juan | Ica | Nazca | -15,365 | -75,162 | 24 |

En la Figura 1 se muestra con diferentes colores los recorridos realizados durante cada día, destacando en azul el recorrido realizado el día jueves, en verde el día viernes y en rosa los días sábado y domingo.

Las localidades visitadas se ubican principalmente cercanas a la costa, zona de

daño del terremoto. Las localidades visitadas más al interior son Coayllo y Lunahuana.

No se visitaron en esta inspección pueblos ubicados en la sierra debido al tiempo disponible para realizar la inspección y considerando que los daños debían ser menores por su mayor distancia a la zona epicentral del evento.

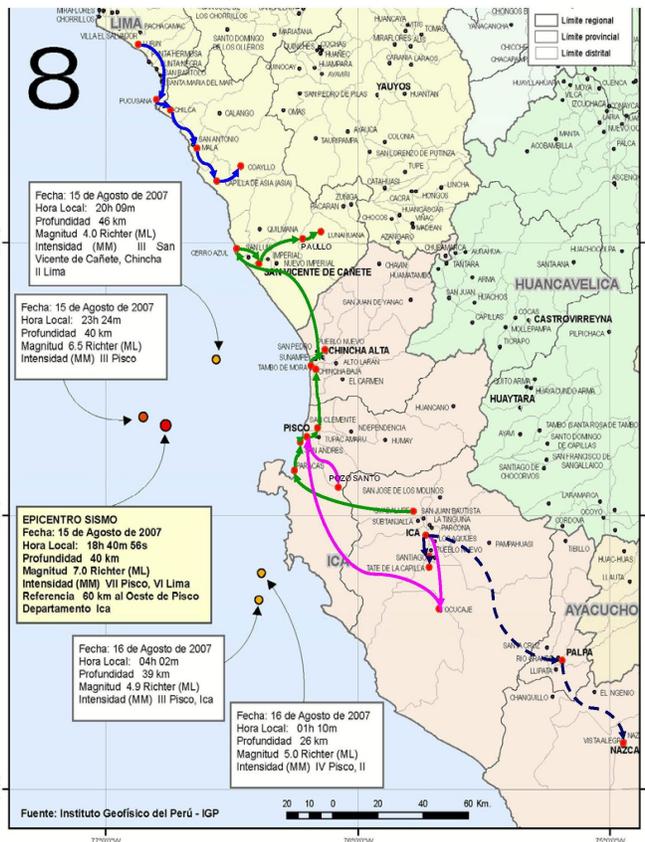


Figura 1. Mapa con la ubicación de las localidades visitadas

2. TIPOS DE EDIFICIOS

En la zona visitada se pudo comprobar la existencia de construcciones de adobe, quincha, albañilería y de hormigón armado.

De acuerdo con los antecedentes del Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú, el número de viviendas por tipo de material en el Departamento de Ica corresponde al indicado en la Tabla 2. Como se aprecia en esta tabla, los tipos de vivienda que más abundan en la zona afectada por el terremoto son las viviendas de adobe y albañilería de ladrillos o bloques.

Tabla 2. Número de viviendas por material en el Departamento de Ica

| Material | Número | % |
|---------------------|---------|-------|
| Ladrillos o bloques | 66 445 | 45.19 |
| Piedra o sillar | 168 | 0.11 |
| Adobe o tapial | 69 946 | 47.57 |
| Quincha | 4 382 | 2.98 |
| Piedra con barro | 171 | 0.12 |
| Madera | 536 | 0.36 |
| Esteras | 5 021 | 3.41 |
| Otras | 364 | 0.25 |
| Total | 147 033 | 100 |

2.1 Viviendas de Adobe

2.1.1. Características de las viviendas de adobe

Durante la inspección se pudo comprobar que este tipo de vivienda es mayoritariamente de un piso y se construye con unidades de barro secadas al sol, fabricadas con una tierra limosa con un contenido importante de arena sin incluir paja en su composición, estos adobes se unen con un mortero de barro fabricado con el mismo tipo de suelo al cual se agrega más arena. El resultado es una albañilería de baja adherencia entre las unidades y el mortero, como se comprueba al observar el estado de los adobes en los muros que han sufrido vaciamiento, ver Figura 2.



Figura 2. Muestra de la baja adherencia en las construcciones de adobe.

Además de la baja adherencia de la albañilería de adobe, se pudo comprobar que las viviendas de adobe se construyen sin ningún tipo de refuerzo que permita conservar la integridad de la estructura una vez que se produce el agrietamiento de los muros o del encuentro entre muros, produciendo inevitablemente el colapso parcial o total de la vivienda. Este colapso parcial o total de los muros fue la causa del derrumbe de los sistemas de piso de las techumbres, lo que se encuentran apoyados directamente sobre los muros. El colapso de los muros y el derrumbe de las techumbres fueron las principales causas del número de las víctimas de este terremoto.

En las figuras 3 y 4 se muestran viviendas de adobe de las zonas urbanas de las ciudades con mayor número de habitantes y de las zonas rurales o de las localidades de menos número de habitantes de la zona visitada. En la Figura 5 se muestran algunos detalles que pueden considerarse como típicos de estas viviendas de adobe.



Figura 3. Viviendas de adobe en sectores urbanos



Figura 4. Viviendas de adobe en sectores rurales



Detalle encuentro de muros sin conexiones dentadas entre si



Detalle encuentro tabique interior-muro



Detalle apoyo techumbre



Detalle apoyo envigados

Figura 5. Detalles de las viviendas de adobe

2.1.2 Daños de las viviendas de adobe

Los daños de las construcciones tanto en adobe como de otros materiales es necesario clasificarlos ya que de acuerdo con los niveles de daño alcanzados y con la distribución de ellos, es

posible estimar el grado de la intensidad sísmica en un lugar determinado (Monge y Astroza, 1989).

Tabla 3: Clasificación de los daños (IGP, 1979)

| Clase | Nivel | Descripción |
|-------|---------------------|--|
| 1 | Daños leves | Fisuras en los revestimientos, caídas de pequeños trozos de revoque. |
| 2 | Daños Moderados | Grietas pequeñas en los muros, caída de grandes trozos de revoque, caída de parapetos, grietas en las chimeneas e incluso derrumbamientos parciales en las mismas. |
| 3 | Daños Severos | Grietas grandes y profundas en los muros, caída de chimeneas. |
| 4 | Destrucción Parcial | Brechas en los muros, derrumbamiento parcial de la edificación; agrietamiento entre distintas partes o secciones de la edificación; desmoronamiento (Colapso) de paredes interiores y muros. |
| 5 | Colapso | Destrucción total de las edificaciones o de sus partes vitales. |

Con este propósito los daños en la zona afectada se clasificaron de acuerdo con la Escala Sísmica de Intensidades MSK-64 (IGP, 1979), reconociendo 5 niveles clases, cuya descripción se entrega en la Tabla 3.

En la Figura 6 se muestran algunos de los daños observados en las viviendas de adobe de las localidades visitadas.

Viviendas de Quincha

Aún cuando el porcentaje de viviendas de quincha en la zona es reducido según los datos estadísticos de la Tabla 2, es conveniente destacar sus características y comportamiento por corresponder a un tipo de construcción muy abundante en la región en el pasado y por lo mismo es conveniente analizar su comportamiento en el contexto actual.

Estas edificaciones corresponden a edificaciones flexibles de madera y caña y de poco peso, y por lo mismo el efecto sísmico y los daños sobre ellas son mucho menores que las pesadas y débiles construcciones de adobe. Las construcciones de este tipo están conformadas por paredes que son una combinación de postes y vigas de madera, tejidos con caña, cubiertos con mortero de barro como acabado. Los techos tienen vigas de madera o cañas gruesas, cubiertas con cañas o planchas fabricadas con material más noble.

En la Figura 7 se muestran algunas viviendas de este tipo y en la Figura 8 se muestran algunos detalles característicos de este tipo de vivienda.



Daño Clase 5 - Pisco



Daño Clase 4 - Coayllo



Daño Clase 2 - Ocucaje



Daño Clase 1 - Pachacutec

Figura 6. Daños en viviendas de adobe



Figura 7. Viviendas de Quincha en Ocucaje



Detalle pared de quincha

Detalle apoyo viga interior sobre pared



Detalle estructura postes

Detalle de techumbre y vigas

Figura 8. Detalles de vivienda de Quincha

En el sector antiguo de la ciudad de Ica se encuentran edificios de dos pisos cuyo segundo piso está construido con Quincha y el primer piso de adobe. Una de estas construcciones se muestra en la Figura 9 con algunos de los detalles de su segundo piso.



Vista del seaundo piso

Pared de quincha



Vista Techumbre

Detalle de quincha

Figura 9. Construcción con segundo piso de quincha.

Durante la inspección realizada se pudo comprobar que las viviendas de quincha permanecieron en pie con muy poco daño, no así construcciones vecinas de adobe, por lo cual se puede aceptar que este tipo de construcción corresponde a una clase de vulnerabilidad diferente a las viviendas de adobe. En la medida que estas construcciones se encuentren en buen estado de conservación y cuando se hayan utilizado en su construcción maderas resistente a la humedad y a la acción de insectos, pueden corresponder a una clase de vulnerabilidad del Tipo C (IGP, 1979, Monge y Astroza, 1989).

Viviendas de Albañilería

En la zona visitada se encuentra un número importante de viviendas de albañilería construidas principalmente con ladrillos cerámicos de fabricación artesanal.

Albañilería reforzada

La mayor parte de estas viviendas son de uno y dos pisos y cuentan con refuerzos de hormigón armado que enmarcan los paños de albañilería sin cumplir con las disposiciones y limitaciones que establecen las normas de diseño y cálculo de edificios de albañilería confinada, especialmente en lo relacionado con los refuerzos de aberturas. Esta situación se produce debido a que en la mayoría de los casos estas viviendas han sido construidas por sus propietarios sin una asesoría técnica.

En la Figura 10 se muestran algunos ejemplos de estas construcciones, comprobándose que muchas de ellas no han sido terminadas debido a que sus propietarios las van construyendo por etapas a medida que reúnen los recursos económicos necesarios.

El uso de estos elementos de refuerzo es una cualidad destacable ya que con ello se logra que la estructura conserve su integridad una vez que se produce el agrietamiento de los paños de albañilería, en la medida que no se presenten defectos en los empalmes y anclajes de las armaduras de los elementos de confinamiento de hormigón armado y en el tratamiento de las juntas de construcción de los elementos de confinamiento.



Vivienda Albañilería
Ocucaje



Vivienda Albañilería
Pachacutec



Vivienda Albañilería
Mala



Construcción de Albañilería
3 pisos-Paracas



Vivienda Albañilería
Ica



Vivienda Albañilería
Guadalupe

Figura 10. Muestra de viviendas reforzadas de albañilería.

Algunos de estos defectos, se observaron en edificios ubicados en la zona epicentral, como se muestran en las fotos superiores de la Figura 11.

Otro daño observado se debe a la falta de la cadena o viga collar (Collarín) en el borde superior de los muros del último piso, normalmente el segundo piso de las viviendas del tipo unifamiliar. Debido a la falta de este elemento, el paño se agrieta producto de las acciones perpendiculares a su plano, como se muestra en las fotos inferiores de la Figura 11.

Teniendo en cuenta el comportamiento observado en este tipo de construcción, se puede considerar que su clasificación corresponde a un tipo C de acuerdo con la escala sísmica de intensidades MSK-64 (IGP, 1979), lo cual se confirma si se considera que en la zona epicentral la mayor parte de los daños en este tipo de edificios fueron de la clase 2 y 1 de la Tabla 3.



Figura 11. Daños en edificios de albañilería reforzada

Una característica preocupante de los edificios de albañilería reforzada es su reducida densidad de muro, especialmente en la dirección paralela a la fachada, esta situación se produce por el escaso frente que poseen los sitios donde se construyen estas viviendas. Esta limitación puede ser crítica en la medida que aumente el número de piso, como es el caso de la construcción ubicada en la ciudad de Ica que se muestra en la Figura 12.



Ica

Figura 12. Ejemplo de edificio de albañilería con reducida densidad de muro en la dirección de su fachada

Albañilería sin refuerzo

Este tipo de albañilería no es muy frecuente de encontrar en la zona visitada debido a que las construcciones de los barrios más antiguos están construidas con adobe y quincha.

Este tipo de albañilería se utiliza principalmente en los tabiques de albañilería existentes en las fachadas de edificios con voladizo, ver Figura 13. En la zona epicentral, especialmente en la ciudad de Pisco se pudo comprobar que un número importante de estos tabiques se dañaron severamente, como se muestra en la Figura 14. El daño observado lo producen las acciones sísmicas que actúan perpendicular al plano de la fachada y se debe a que estos tabiques, por lo general, se apoyan contra tabiques perpendiculares a través de una conexión dentada, como se aprecia en la Figura 13, la que resulta insuficiente para evitar el vaciamiento del tabique.



Figura 13. Muestra de tabiques de fachada en voladizo



Figura 14. Daños en tabiques de fachada en voladizo

La situación anterior se hace más crítica a medida que aumenta el número de pisos, como se pudo comprobar en la ciudad de Pisco y Chíncha Alta al presentarse estos daños en los pisos superiores de los edificios.

Aún cuando estas fachadas en voladizo no forman parte de la estructura sismorresistente, es conveniente que se utilice alguna técnica de refuerzo de modo de evitar su vaciamiento considerando los riesgos que ello representa para los transeúntes.

Edificios de Hormigón Armado.

En la zona de daño del terremoto, se pudo constatar la presencia de edificios de hormigón en las ciudades con mayor población, destacando entre ellas las ciudades de Pisco e Ica.

Los edificios de hormigón armado están estructurados con un sistema de marcos o pórticos con tabiques de relleno de albañilería, construidos después que se desmolda la estructura de hormigón armado con lo cual se logra una interfase débil entre la albañilería y el pórtico.

Como se pudo comprobar durante la visita, la presencia de estas tabiquerías fue fundamental en muchos casos para garantizar la estabilidad del edificio, mientras los tabiques no presentaron destrucción total o parcial. En aquellos casos en los que los tabiques sufrieron destrucción parcial o total, se produjeron serios daños en las columnas de hormigón armado, lo que significó el colapso de alguno de los pisos en los casos más extremos al producirse una falla del tipo “piso blando”. Algunos de los edificios de hormigón armado dañados se muestran en la Figura 15.

En algunos edificios de hormigón armado, la situación destacada se vio favorecida por la falta de vigas en una de las direcciones de la planta, especialmente en los edificios con losas prefabricadas construidas con viguetas y bovedillas. En estos casos, las vigas en la dirección paralela a las viguetas no tienen más altura que el espesor de la losa, disminuyendo con ello la rigidez del edificio en esta dirección y aumentando en forma considerable las demandas de deformación de las columnas producto de sus dimensiones, más bien reducidas, y de su orientación (ejes más débil), situación que generó daños que se pueden clasificar como “destrucción parcial” según la descripción de la Tabla 3.



Pisco



Pisco – Hotel Embassy

Figura 15. Daños en edificios de Hormigón Armado

Teniendo en cuenta el daño observado en los edificios de hormigón armado de la ciudad de Pisco, es necesario revisar el uso de este tipo de sistema estructural como estructura sismorresistente. Lo anterior se destaca debido a que, de acuerdo a los daños observados, su comportamiento fue inferior al observado en las viviendas de albañilería construidas por sus propietarios.

De acuerdo con lo observado en la visita, el uso de muros o pantallas de hormigón armado puede ser el camino a seguir. Ver Figura 16.

Otro tipo de daño observado en estos edificios se produjo por choque con edificios vecinos, como se muestra en la figura 17.



Pisco

Figura 16. Uso de muros de Hormigón Armado



Pisco



Pisco

Figura 17. Choque entre edificios

3. INTENSIDADES E ISOSISTAS EN LA ZONA DE DAÑO

Las intensidades en las localidades visitadas se determinaron por *inspección visual del comportamiento de las viviendas de adobe y albañilería*, considerando la distribución de las Clases de Daño de la Tabla 3 y su relación con la intensidad sísmica para las clases de vulnerabilidad Ay C de la Tabla 4 (Monge y Astroza, 1989).

Los valores de la Tabla 4 corresponden a los establecidos en la escala sísmica de intensidad MSK-64 (Kárník et al., 1984). Esta escala ha sido utilizada tanto en Perú como en Chile para determinar las intensidades de los terremotos ocurridos en los últimos 30 años.

Para establecer las intensidades de acuerdo con éste método se ha aceptado que las construcciones de adobe pertenecen a la Clase A de vulnerabilidad y las de albañilería sin diseño sismorresistente a la Clase C (IGP, 1979, Monge y Astroza, 1989).

Las intensidades se han determinado considerando los daños en los sectores más afectados de cada localidad, por lo que cualquier suceso local que reduzca los efectos del terremoto no ha sido considerado.

Las intensidades que resultan al aplicar el método descrito, se indican en la Tabla 5. Considerando estas intensidades y la información reportada por Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2007), se han trazado isosistas para la zona de daño del terremoto del 15 de Agosto del 2007, las que se muestran en la Figura 18. En esta figura se destacan con rojo las localidades visitadas.

De acuerdo con la Tabla 4, la zona de daño del terremoto corresponde a la región encerrada por la isosista del grado 6, la cual se extiende aproximadamente entre los paralelos -12.5° y -15° de latitud sur. Además se observa que el daño se atenúa rápidamente hacia el sur, lo que puede ser consecuencia de la presencia de la dorsal de Nazca, lo que podría estar representando una barrera para los efectos de propagación del daño.

Tabla 4: Distribución del daño en función del grado de intensidad sísmica para cada Clase de Vulnerabilidad.

| Grado de Intensidad | Clase A | Clase B | Clase C |
|---------------------|---|---|---|
| 5 | 5% Clase 1 95% Clase 0 | 100% Clase 0 | 100% Clase 0 |
| 6 | 5% Clase 2 50% Clase 1 45% Clase 0 | 5% Clase 1 95% Clase 0 | 100% Clase 0 |
| 7 | 5% Clase 4 50% Clase 3 35% Clase 2 10% Clase 1 | 50% Clase 2 35% Clase 1 15% Clase 0 | 50% Clase 1 50% Clase 0 |
| 8 | 5% Clase 5 50% Clase 4 35% Clase 3 10% Clase 2 | 5% Clase 4 50% Clase 3 35% Clase 2 10% Clase 1 | 5% Clase 3 50% Clase 2 35% Clase 1 10% Clase 0 |
| 9 | 50% Clase 5 35% Clase 4 15% Clase 3 | 5% Clase 5 50% Clase 4 35% Clase 3 10% Clase 2 | 5% Clase 4 50% Clase 3 35% Clase 2 10% Clase 1 |
| 10 | 75% Clase 5 25% Clase 4 | 50% Clase 5 35% Clase 4 15% Clase 3 | 5% Clase 5 50% Clase 4 35% Clase 3 10% Clase 2 |
| 11 | 100% Clase 5 | 75% Clase 5 25% Clase 4 | 50% Clase 5 50% Clase 4 |

Tabla 5: Intensidades sísmicas en las localidades visitadas (Escala MSK-64)

| Localidad | MSK | Localidad | MSK | Localidad | MSK |
|------------|-----|-----------------------|-----|--------------------|-------|
| Lurin | 5.5 | San Vicente de Cañete | 7.0 | Guadalupe | 7.5 |
| Pucusama | 5.5 | Chincha Alta | 7.5 | Ica | 7.0 |
| Chilca | 6 | Tambo de Mora | 7.0 | Tate de la Capilla | 6.5 |
| Mala | 6.5 | Chincha Bajo | 7.5 | Santiago | 7.0 |
| Asia | 6.5 | San Clemente | 7.5 | Pachacutec | 6.0 |
| Coayllo | 7.0 | Pisco | 8.0 | Ocucaje | 6.0 |
| Lunahuana | 7.0 | San Andrés | 7.5 | Palpa | < 6.0 |
| Cerro Azul | 6.5 | Paracas | 7.5 | Nazca | < 6.0 |
| Pauyo | 6.0 | Pozo Santo | 7.5 | San Juan | < 6.0 |

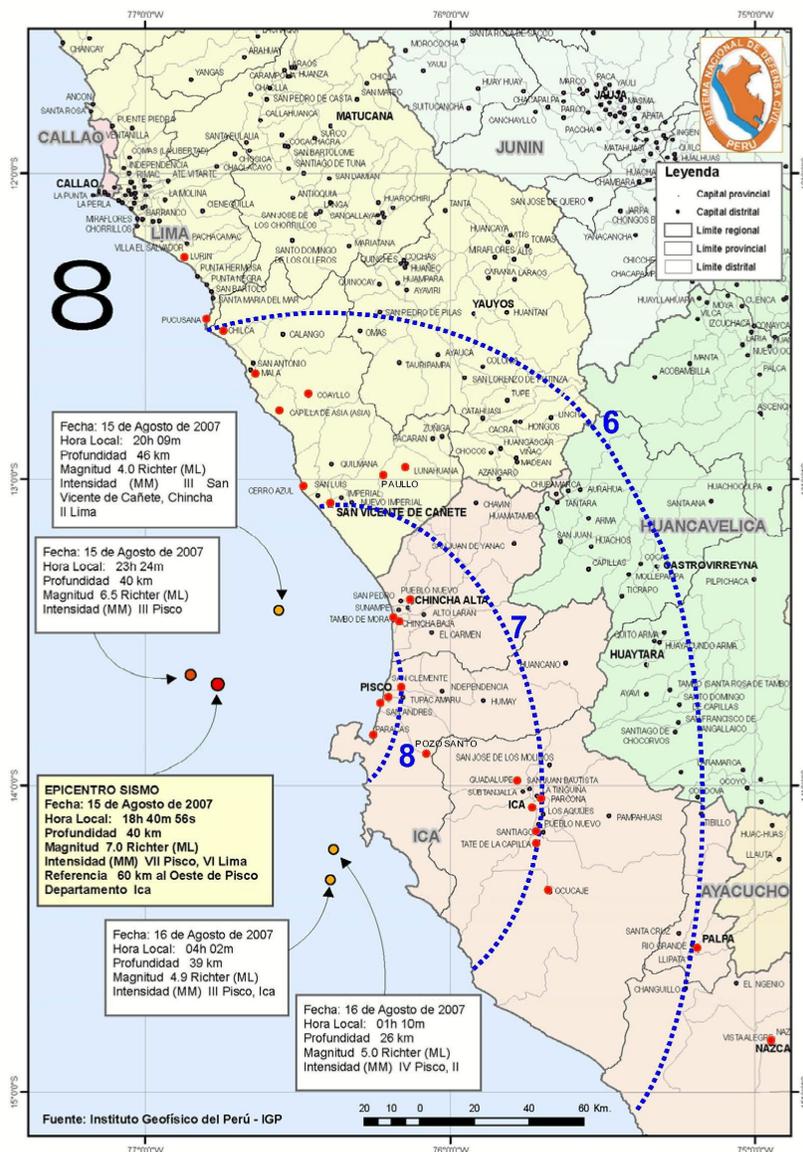


Figura 18. Isoisistas en la zona de daño del terremoto del 15 de agosto del 2007.

3. ATENUACIÓN DE LAS INTENSIDADES

La atenuación de las intensidades con la distancia hipocentral se determina con las intensidades obtenidas de la inspección de los daños y con las intensidades reportadas por el Instituto Geofísico del Perú (Tavera et al., 2007). Estas últimas se obtuvieron a partir de una comunicación telefónica a dos o tres personas de cada ciudad, utilizando la escala de Mercalli Modificada para interpretar la información obtenida.

En la Tabla 7 se detallan las intensidades para 54 localidades y en la Figura 19 se grafican estas intensidades en función de la distancia hipocentral, aceptando que la escala de Mercalli Modificada es equivalente a la escala MSK-64 (Barrientos, 1980, Levret and Mohammadioun, 1984) y que los parámetros del hipocentro son los reportados por el IGP (Tavera et al., 2007), los que se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6: Parámetros hipocentrales del sismo del 15 de agosto del 2007 (IGP, 2007b).

Parámetros

| | |
|-------------|---|
| Latitud Sur | -13.67° |
| Longitud | Oeste -76.76° |
| Profundidad | 40km |
| Magnitud | 7.0 M _L , 7.9 M _w |

En la Figura 19 se dibuja la curva de atenuación de la intensidad que resulta al ajustar por mínimos cuadrados una ecuación del tipo:

$$I = A + B \cdot \log_{10}(R) + C \cdot R$$

Donde: R es la distancia epicentral

Esta ecuación es de la forma de la fórmula de atenuación de intensidades propuesta por Barrientos para terremotos chilenos (Barrientos, 1980), resultando para el terremoto del 15 de agosto del 2007.

$$I_{PISCO-07} = 17.7887 - 5.5093 \cdot \log_{10}(R) + 0.0008 \cdot R$$

Al revisar la Figura 19 se observa que la intensidad de la localidad de Barranca debiera revisarse ya que su valor debiera ser menor por su distancia hipocentral.

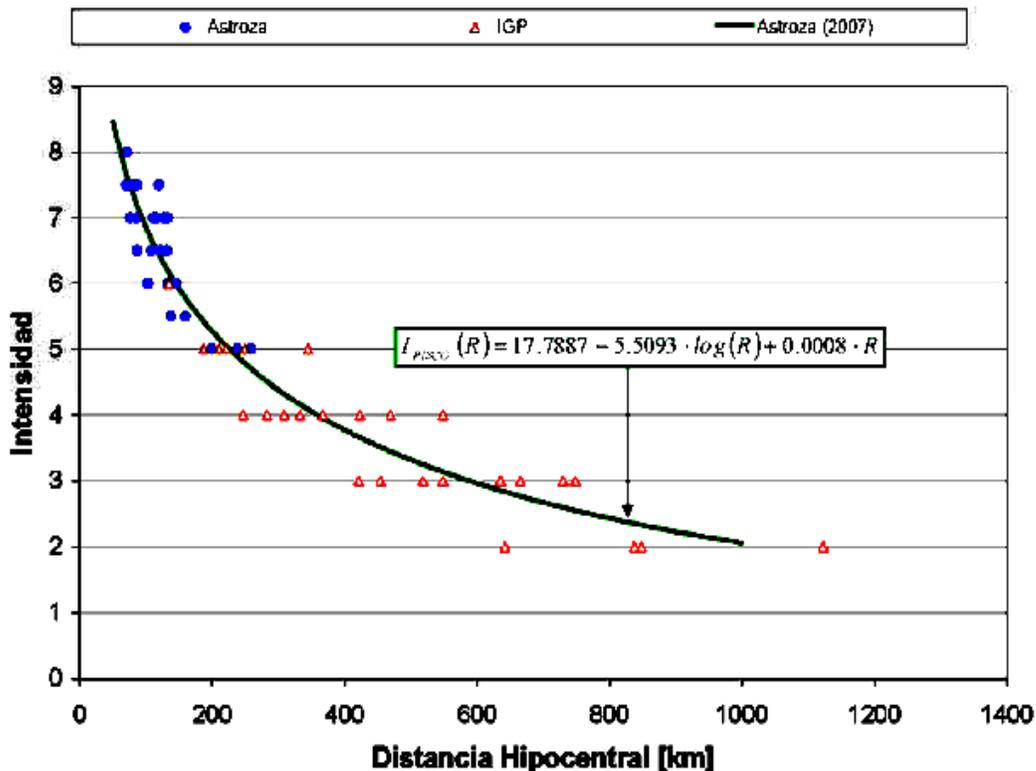


Figura 19. Intensidades del terremoto del 15 de agosto del 2007 en función de la distancia hipocentral.

Tabla 7. Intensidades del sismo del 15 de agosto del 2007

| Pueblo | | Departamento | Provincia | Intensidad | Distancia Hipocentral [km] |
|--------|-----------------------|--------------|------------------|------------|----------------------------|
| 1 | Lurín | Lima | Lima | 5,5 | 159,69 |
| 2 | Pucusama | Lima | Cañete | 5,5 | 137,94 |
| 3 | Chilca | Lima | Cañete | 6 | 132,61 |
| 4 | Maia | Lima | Cañete | 6,5 | 121,07 |
| 5 | Asia | Lima | Cañete | 6,5 | 108,43 |
| 6 | Coaylo | Lima | Cañete | 7 | 116,10 |
| 7 | Lunahuana | Lima | Cañete | 7 | 111,25 |
| 8 | Cerro Azul | Lima | Cañete | 6,5 | 86,63 |
| 9 | Pauyo | Lima | Cañete | 6 | 102,69 |
| 10 | San Vicente de Cañete | Lima | Cañete | 7 | 85,85 |
| 11 | Chincha Alta | Ica | Chincha | 7,5 | 82,38 |
| 12 | Tambo de Mora | Ica | Chincha | 7 | 75,97 |
| 13 | Chincha Baja | Ica | Chincha | 7,5 | 78,88 |
| 14 | San Clemente | Ica | Pisco | 7,5 | 77,13 |
| 15 | Pisco | Ica | Pisco | 8 | 71,11 |
| 16 | San Andrés | Ica | Pisco | 7,5 | 69,91 |
| 17 | Paracas | Ica | Pisco | 7,5 | 70,14 |
| 18 | Pozo Santo | Ica | Pisco | 7,5 | 87,24 |
| 19 | Guadalupe | Ica | Ica | 7,5 | 119,33 |
| 20 | Ica | Ica | Ica | 7 | 126,82 |
| 21 | Tate de la Capilla | Ica | Ica | 6,5 | 132,06 |
| 22 | Santiago | Ica | Ica | 7 | 133,12 |
| 23 | Ocucaje | Ica | Ica | 6 | 145,58 |
| 24 | Palpa | Ica | Palpa | 5 | 199,46 |
| 25 | Nazca | Ica | Nazca | 5 | 237,93 |
| 26 | San Juan | Ica | Nazca | 5 | 258,69 |
| 27 | Talara | Piura | Talara | 2 | 1123,02 |
| 28 | Chiclayo | Lambayeque | Chiclayo | 2 | 836,85 |
| 29 | Cajamarca | Cajamarca | Cajamarca | 3 | 748,74 |
| 30 | Chachapoyas | Amazonas | Chachapoyas | 2 | 838,03 |
| 31 | Moyobamba | San Martín | Moyobamba | 2 | 848,46 |
| 32 | Trujillo | La Libertad | Trujillo | 3 | 665,68 |
| 33 | Chimbote | Ancash | Santa | 4 | 548,78 |
| 34 | Huaraz | Ancash | Huaraz | 4 | 469,43 |
| 35 | Huanuco | Huanuco | Huanuco | 4 | 423,23 |
| 36 | Cotobamba | Loreto | Ucayali | 3 | 730,35 |
| 37 | Pucallpa | Ucayali | Coronel Portillo | 3 | 636,25 |
| 38 | Barranca | Lima | Barranca | 5 | 344,72 |
| 39 | La Merced | Junín | Chanchamayo | 4 | 332,90 |
| 40 | Canta | Lima | Canta | 5 | 249,11 |
| 41 | Matucana | Lima | Huachichino | 5 | 210,45 |
| 42 | Lima | Lima | Lima | 5 | 187,16 |
| 43 | Huancayo | Junín | Huancayo | 4 | 246,72 |
| 44 | Huancavelica | Huancavelica | Huancavelica | 5 | 221,04 |
| 45 | Calango | Lima | Cañete | 6 | 134,64 |
| 46 | Ayacucho | Ayacucho | Huamanga | 4 | 283,08 |
| 47 | Puquio | Ayacucho | Lucanas | 4 | 309,02 |
| 48 | Chala | Arequipa | Caraveli | 4 | 367,30 |
| 49 | Abancay | Apurímac | Abancay | 3 | 421,20 |
| 50 | Cusco | Cusco | Cusco | 3 | 518,68 |
| 51 | Cotahuasi | Arequipa | La Unión | 3 | 454,10 |
| 52 | Camana | Arequipa | Camana | 3 | 548,36 |
| 53 | Arequipa | Arequipa | Arequipa | 2 | 642,23 |
| 54 | Mollendo | Arequipa | Islay | 3 | 635,11 |

3. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Daniel Huaco Oviedo y a CERESIS por la oportunidad de colaborar en el reconocimiento del área afectada por el sismo de Pisco de 15 del 2007. Igualmente se agradece la compañía del Profesor Francisco Giuliani de Argentina, con quien se intercambiaron opiniones y apreciaciones sobre los daños y efectos observados.

Además se agradece la colaboración del Sr. Rodrigo Astroza E., Magíster en Ingeniería Sísmica de la Universidad de Chile {c}, en la preparación de este informe.

4. REFERENCIAS

Barrientos S., 1980, *Regionalización Sísmica de Chile*, Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias con Mención en Geofísica, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

I.G.P., 1979, *Escala Sísmica de Intensidades. MSK-64. Versión Adaptada I.G.P. 1979*, Lima Perú.

INDECI, 2007, *Movimiento Sísmico Afecta Severamente Departamentos de ICA y Sur de Lima*, Informe de Emergencia N° 286, 17/08/2007, Instituto Nacional de Defensa Civil, Lima, Perú.

Kárník V., Z. Schenková and V. Schenk, 1984, *Vulnerability and the MSK Scale*, *Engineering Geology*, 20, pp 161-168.

Levret A. and B. Mohammadioun, 1984, *Determination of Seismic Reference Motion for Nuclear Sites in France*, *Engineering Geology*, 20, pp 25-28.

Monge J. y M. Astroza, 1989, *Metodología para determinar el grado de intensidad a partir de los daños*, 5as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Vol. 1, pp 483-492, Santiago, Chile.

Tavera H., I. Bernal y H. Salas, 2007, *El Sismo de Pisco del 15 de Agosto, 2007 (7.9M_w)*. *Departamento de Ica-Perú*, Instituto Geofísico del Perú, Informe Preliminar, Agosto, Lima, Perú.

ALTURAS DE “RUN-UP” ALCANZADAS POR EL TSUNAMI ASOCIADO AL SISMO DEL 15 DE AGOSTO DEL 2007 EN LA ZONA DE PISCO, PERÚ

Sergio E. Barrientos
Departamento de Geofísica, Universidad de Chile

Resumen: Este reporte contiene dieciocho observaciones de “run-ups” efectuadas a lo largo de la costa de Perú –entre San Pedro de Lurín, ubicado a unos 30km al sur de Lima, y San Juan de Marcona, ubicado a unos 500km al sur de Lima- alrededor de 10 días después de haber ocurrido el terremoto del 15 de Agosto del 2007. Se aumentó a 22 el número de observaciones con cuatro mediciones publicadas por el Instituto Geofísico del Perú. Las observaciones muestran una media de un metro de “run-up” a distancia superiores a 100km, fuera del área de mayor liberación de momento o desplazamiento en la falla (dos núcleos separados por cerca de 100km, con más de 4m de deslizamiento frente a Pisco y más de 8m, frente a Paracas). El tsunami alcanza localizadamente alturas superiores a los 5m y hasta 10m en algunos casos, en la Reserva Nacional de Paracas, el lugar más cercano de la costa a la zona de mayor liberación de momento sísmico. A distancias lejanas, el tsunami se dejó sentir instrumentalmente, como es el caso de Nueva Zelanda. En Acapulco, México, y en Crescent City, California, una amplitud de 20 y 14cm. En el centro-sur de Chile alcanzó la amplitud de 33cm.

Observaciones:

Durante el período comprendido entre la tarde del día jueves 23 de Agosto y el domingo 26 de Agosto de 2007 se visitaron 18 localidades a lo largo de la costa de Perú con el objeto de estimar las alturas de “run-ups” asociadas al tsunami causado por el sismo del 15 de Agosto. Estas localidades se ubican desde unos 30 km al sur de Lima, en San Pedro de Turín, hasta San Juan de Marcota, un poco más de 500 km al sur de Lima.

Estas observaciones se encuentran complementadas con aquellas realizadas por el Dr. Ronald Woodman y publicadas en la página web del Instituto Geofísico del Perú. (www.igp.gob.pe).

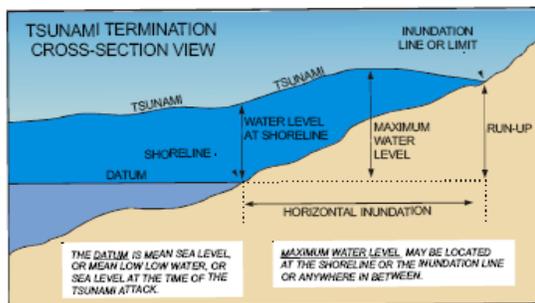


Figura 1. Nomenclatura de tsunamis en la costa. Tomado de *Tsunami Glossary*, del Centro Internacional sobre Información de Tsunamis de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental.

El “run-up” (Fig. 1) se define como la diferencia entre la altura que alcanza la máxima penetración del agua (máxima

inundación) y el nivel del mar que existe en el momento de producirse el tsunami. La manera de efectuar las observaciones y reducciones para determinar la altura máxima que le tsunami alcanza en un lugar determinado se muestra en la Fig. 2. En esta figura se aprecia el nivel del mar en el presente (a), el nivel de la marea máxima anterior (b) y la línea que demarca la inundación máxima (c). El dato que se adquiere en terreno es la diferencia de altura entre el nivel (c) y el nivel (b) utilizando un instrumento como un nivel convencional (geodésico) o un nivel de mano. Posteriormente, se corrige con respecto al nivel del mar en el momento que el tsunami alcanza la costa, utilizando tablas de mareas. Esto corresponde a un valor del “run-up” para un sitio determinado.



Figura 2. Conceptos básicos en observación de run-up de tsunamis.

- a: nivel del mar durante la observación
- b: nivel del mar máximo dado por marea alta anterior a la medición
- c: indicación de la máxima penetración del agua (inundación)

Correcciones a las observaciones.

Luego de efectuar las observaciones es necesario corregir las alturas debido a los diferentes tiempos en los cuales fueron realizadas las observaciones. Como no se tuvo acceso a los registros de una estación local, es necesario recurrir a dos estaciones mareográficas que no se encuentren muy alejadas de los lugares visitados. La Fig. 3 muestra el nivel del mar esperado de acuerdo a las tablas de mareas para la estaciones mareográficas ubicadas en Callao (12.0333° S, 77.1500° W) y en Matarani (17.0° S, 72.1167° W). Como se puede apreciar, el nivel del mar en el momento en el que el tsunami llegó a la costa en las cercanías de Callao era de 59 cm, lo que se muestra como una línea segmentada de color azul. Análogamente, el nivel de mareas en las cercanías de Matarani, del orden de 40 cm, es equivalentemente representado por la línea segmentada de color rojo en la misma figura.

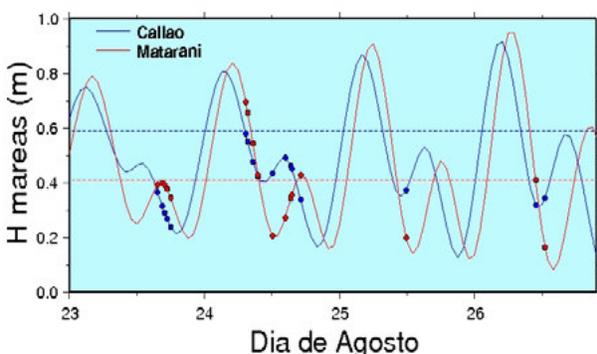


Figura 3. Nivel de mar de acuerdo a las tablas de mareas en la estación mareográfica de Callao tanto durante el tsunami como durante los días de observaciones (línea azul). Las líneas rojas (segmentada y continua) muestran los niveles equivalentes para la estación ubicada en Matarani.

Adicionalmente, La figura 3 se puede utilizar para calcular las correcciones debido a la variación de las mareas.

La figura 4 muestra los sitios en los cuales se realizaron observaciones de “run-up”, desde unos 30km al sur de Lima hasta San Juan de Marcona, más de 500km al sur de Lima. Se pueden observar además las ubicaciones de las dos estaciones mareográficas que permiten interpolar las correcciones tanto espacial como temporalmente y también las elipses blancas que representan el máximo desplazamiento en la falla o contacto entre la Placa de Nazca y la Placa Sud-Americana

(más de 4m en la elipse del norte, frente a Pisco y más de 8m, frente a la Reserva Nacional de Paracas, ubicada hacia el sur).

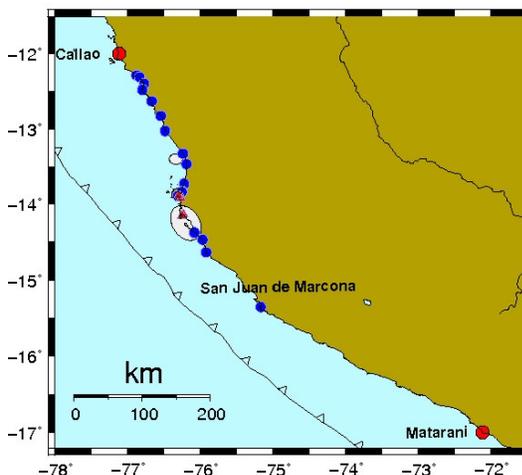


Figura 4. Sitios donde se realizaron observaciones (círculos azules) a lo largo de la costa del Perú. Los círculos rojos muestran las ubicaciones de las estaciones en Callao y Matarani así como las dos elipses blancas representan los lugares de máximo desplazamiento en la falla.

Como la mayoría de los sitios de observación se encuentran más cercanos a Callao, se utiliza esta última estación como base para efectuar las correcciones de mareas. Cada observación se realizó a partir de la línea de marea anterior más alta, por lo tanto, se debe agregar de 15 a 34cm –correspondientes a la diferencia entre la marea más alta y la línea segmentada- dependiendo del día en que se efectuó la observación.

Para la observación en San Juan de Marcona, que se localiza en forma equidistante de Callao y Matarani, hay que considerar una interpolación espacial de las correcciones. Un valor de incremento de 35cm es apropiado para la observación efectuada el día 25 de Agosto en esta localidad.

En la Tabla Resumen Anexa, se establece el lugar, el día y la hora en que se efectuó la observación, así como la corrección efectuada. En esta tabla se anexan 4 observaciones que aparecen publicadas en la página web del Instituto Geofísico del Perú.

Estas observaciones adicionales corresponden en parte a aquellas realizadas en la Reserva Nacional de Paracas y donde localmente se alcanzaron los valores más

altos de “run-up” del tsunami. La mayoría de estas observaciones se describe como efectuada a partir de la línea de más alta marea anterior de modo que se efectúa el mismo procedimiento empleado anteriormente para corregirlas. Sin embargo, una observación se refiere a la marea existente en ese momento (Chucho, 2:00 p.m. local) de manera que su corrección es distinta a aquellas realizadas a otras observaciones y se efectúa con respecto al nivel del mar actual y no con respecto al máximo de la marea anterior.

Las observaciones corregidas se muestran en la figura 5. El error estimado en las observaciones alcanza a unos 10cm.

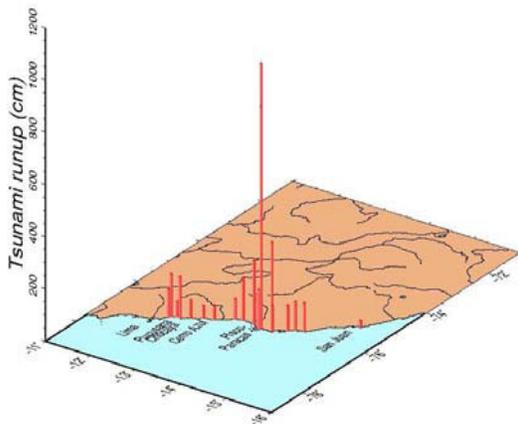


Figura 5. Alturas alcanzadas por el run-up en diferentes localidades a lo largo de la costa del Perú. Máximas alturas de run-up, muy focalizadas, se encontraron en la zona de la Reserva Nacional de Paracas.

Discusión:

Las observaciones hechas a lo largo de la costa por cerca de 500 km, muestran una media del orden de un metro de “run-up” a distancias superiores a 100 km, fuera del área de la Reserva Nacional de Paracas y entre ésta y Pisco. En la región de la Reserva Nacional de Paracas, se observan localizada-

mente alturas de “run-up” superiores a los 5 m y hasta 10 m en algunos casos. Sin embargo, estas alturas son producidas por configuraciones locales de topografía/batimetría ya que en zonas muy cercanas también se observan “run-ups” de mucho menor magnitud (menores de 2 m). También es importante el tsunami en la zona comprendida entre Pisco y la Reserva Nacional de Paracas, con alturas de “run-ups” superiores a 2 m. Estas observaciones son en principio consistentes con el modelo de desplazamiento en la falla publicado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (dos zonas de desplazamiento máximo en el contacto entre la Placa de Nazca y Sud Americana), ver elipses blancas en la figura 4).

Lamentablemente no en todos los lugares se pudo conversar con testigos, pero en el sector norte de las observaciones, la primera inundación (de tres) fue reconocida como la mayor altura, en tanto que en la zona de Tambo de Mora y Pisco fue la segunda que invadió más el terreno y en Paracas se observaron hasta cuatro frentes de inundación.

En el campo lejano, mareógrafos ubicados en Chile midieron hasta 37 cm (Arica) y 33 cm (Talcahuano) de amplitud. En Hilo, Hawaii, alcanzó 40 cm y en Nueva Zelanda se reporta haber registrado este evento en los instrumentos ubicados en la costa Este, incluyendo Chatham Is.

Agradecimientos: Al Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y UNESCO por haber hecho posible este estudio. Al Dr. Huaco, quien facilitó el trabajo en el terreno, al Dr. R. Woodman por haber entregado indicaciones de los lugares más afectados por el tsunami y por último al Sr. Carlos Velásquez por haber conducido el vehículo que nos permitió llegar a los puntos donde se efectuaron las observaciones.

EVIDENCIAS POST - SÍSMICAS DE INESTABILIDAD GEOLÓGICA, OBSERVADAS EN LA MISIÓN REALIZADA, A CONSECUENCIA DEL SISMO OCURRIDO EL 15 DE AGOSTO DE 2007 AL NOROESTE DE PISCO, PERÚ.

Luz M. Rodríguez, Jean Domínguez, Ricardo López, Herbert Rendón
Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas
FUNVISIS

1.1. INTRODUCCIÓN

Motivado a la solicitud de apoyo por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), se realizó la misión a Pisco y sus adyacencias, con el objeto de buscar evidencias de inestabilidad geológica post sísmicas (ocurrencia del fenómeno de licuación, desplazamiento lateral, asentamientos diferenciales en la carretera, deslizamientos, desprendimientos de rocas y derrumbes). Concentrándose el trabajo particularmente en la carretera nacional del sur, entre Lima e Ica, en Pisco, Tambo de Mora y en el valle del río Mala. En cada una de los sectores mencionados anteriormente, se pudo observar importantes evidencias de inestabilidad geológica expuestas en el presente informe, que podrán ser de gran apoyo en la generación de los mapas finales hacer elaborados a posteriori preparados por los entes gubernamentales de Perú. La base cartográfica utilizada en este capítulo fue suministrada por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) así como también, se utilizó para la ubicación a detalle el programa “Google Earth”.

1.2. EVIDENCIAS DE INESTABILIDAD POS SÍSMICAS EN LA CARRETERA LIMA - ICA.

Las evidencias de inestabilidad en la carretera, se comienzan a observar a partir de la coordenada geográfica ($13^{\circ} 19'35''S$ - $76^{\circ} 14'28''W$) (Figura 1, pto 1), en este sector la carretera se encuentra sobre relleno, aproximadamente en 300m de recorrido las grietas fueron observadas en el hombrillo de la vía, margen derecho con dirección a Pisco, también en el talud de la

carretera hay evidencias de pequeños derrumbes, del cual gran parte ya había sido recogido al momento de la inspección (Figuras 2 y 3). El segundo sitio con evidencias (Fig.1 pto 2), se encuentra en la coordenada ($13^{\circ}24'22''S$ - $76^{\circ}11'8''W$). La vía presenta grietas sub-paralelas en ambos lados de la vía con desplazamiento lateral de 25 a 40 cm. promedio de ancho en las grietas y con rumbo preponderante $N20^{\circ}W$, además en el talud se observan pequeños derrumbes. (Figuras 4, 5, 6, y 7). Hubo también falla de borde en el hombrillo norte de la vía, en el Km. 190 (Figura 1, pto 3 y figura 8). En los sitios inspeccionados la carretera corta pantanos que corresponden a depósitos marinos compuestos de arenas y gravas, de edad Holocena.

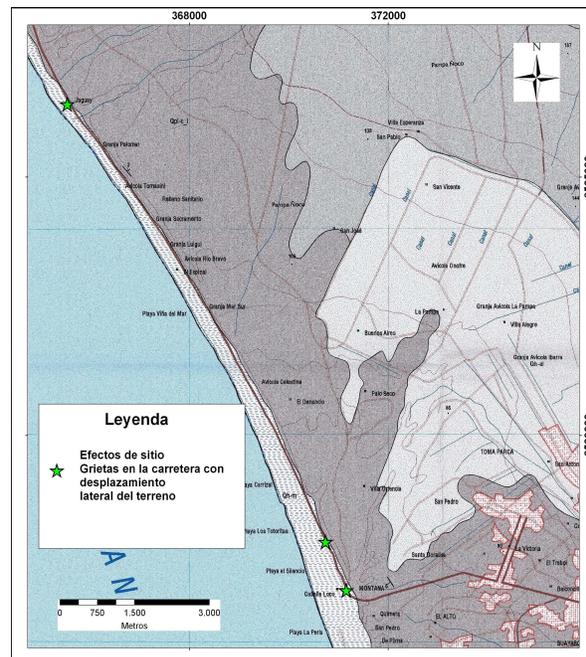


Fig.1 Ubicación de evidencias de inestabilidad geológica pos-sísmicas. Mapa: Instituto Geológico Minero (INGEMMET).



Fig. 2. Grietas en el hombrillo de la carretera en zona de relleno.



Fig. 3. Pequeños derrumbes en el talud.



Figs. 4 y 5. Grietas en el borde de la carretera con un ancho promedio entre 25 y 40 cm.



Figs. 6 y 7 Grietas con desplazamiento lateral del terreno y derrumbes en el talud



Fig. 8 Falla de borde en la carretera.

Otras evidencias de inestabilidad observadas en la carretera nacional del sur se encuentran en el tramo que conduce desde la población de Chíncha hasta Pisco (Figura 9). En la coordenada ($13^{\circ} 36'24''S - 76^{\circ}9'01''W$) (Figura 9, pto 4 y 5). El tendido de la línea eléctrica, sufrió fuertes daños por la manifestación de grietas con desplazamiento lateral. (Figuras 10, 11, 12 y 13). Similar situación se observó en el

cruce de la vialidad con el río Pisco, en la coordenada ($13^{\circ}41'17,9''S 76^{\circ} 9'27''W$) (Figura 9, pto. 6 y figura 14). En el sector donde convergen la carretera que conduce a Pisco y la carretera nacional en dirección a Ica (Figura pto. 7) se evidenciaron grietas y asentamiento diferencial que afectaron el sector. Las inestabilidades observadas se presentaron principalmente en aquellos sectores donde la vía cortaba terrenos ocupados por zonas de pantano.

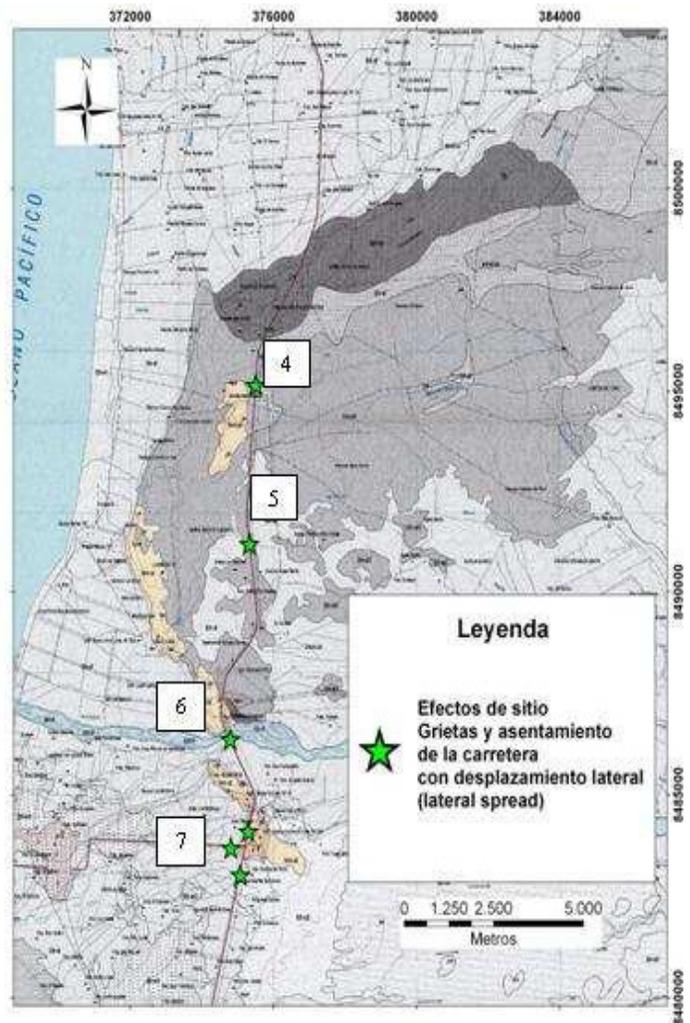


Fig. 9. Ubicación de los sitios afectados en la vía que conduce de Chíncha a Pisco. Mapa fuente modificado a fines de este informe: Mapa Geológico del Cuadrángulo de Pisco, Hoja 16-43, 28-k -I, a escala 1:50000, del año 2002, Instituto Geológico Minero (INGEMMET).



Fig. 12. Grietas sub-paralelas con desplazamiento lateral, en este sector la carretera se encuentra sobre relleno.



Figs. 10 y 11. Grietas con desplazamiento lateral, promedio entre 10 y 25cm. Afectando la carretera y el tendido de la línea eléctrica.



Fig. 13. Grieta de 29cm. al borde de la vía.

1.3. EVIDENCIAS DE LICUACIÓN OBSERVADAS EN LAS POBLACIONES DE TAMBO DE MORA Y PISCO

Población de Tambo de Mora

La población de Tambo de Mora se encuentra ubicada al oeste de Chincha Baja (Figura 14, pto 1). El 90% de los daños en esta población se debió al fenómeno de licuación, y desplazamiento lateral. En las entrevistas realizadas a los pobladores del sector manifestaban la surgencia de arena y agua principalmente por las ranuras o divisiones entre pisos. El señor Sixto Sullon Imán, propietario de una de las viviendas ubicada frente a la Plaza de Armas, comentó: “que al momento de ocurrir el terremoto el agua surgía del subsuelo por todas partes, como si fuera una regadera con expulsión de arena en cantidad, hundiéndose el terreno en algunos sitios, mientras que en otros se levantaba, siendo uno de los ejemplos mejor palpables la plaza de Armas (Figs. 15 y 16). Otra de las vivencias a compartir, fue la entrevista realizada al señor Fernando Mecías, en Chincha Baja, indicaba: “en el pueblo de Tambo de Mora hubo muchos daños por encontrarse sobre un ojo de agua, generalmente cuando se excava se consigue agua muy cerca de la superficie”.

Los daños producto del fenómeno de licuación se observaron en cualquier tipo de edificación (viviendas construidas con material noble o con el tradicional adobe). (Figuras 17, 18 19 y 20). Otra de las evidencias importantes fue la presencia de grietas subparelalas con desplazamiento lateral del terreno, éstas se observaron principalmente hacia la zona norte de la población, y afectaron un gran número de viviendas (Figuras 21 y 22)

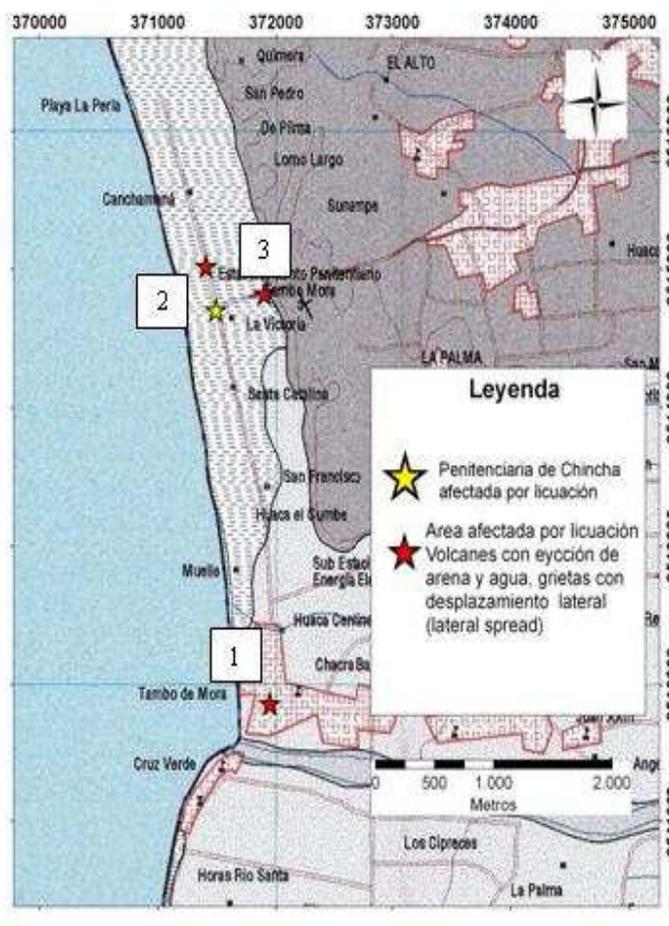


Fig. 14. Áreas afectadas por el fenómeno de licuación y desplazamiento lateral en la población de Tambo de Mora y sus adyacencias. Mapa fuente modificado a fines de este informe. Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chincha, Hoja 16-44, 27-k -II, a escala 1:50000, del año 2002. Instituto Geológico Minero (INGEMMET).



Fig. 15. Plaza de Armas, en Tambo de Mora, patio central levantado, postes inclinados.



Fig. 18. Vivienda hundida debido a la licuación, poblado de Tambo de Mora.



Fig. 16. Vivienda en Tambo de Mora, con el piso de la cocina levantado aproximadamente 1 metro.



Fig. 19. Vivienda Colapsada



Fig. 17. Vivienda hundida aproximadamente 60 cm, poblado de Tambo de Mora.



Fig. 20. Viviendas afectadas, independientemente del tipo de construcción.



Figs. 21 y 22. Grietas sub paralelas con desplazamiento lateral, afectando un gran número de viviendas.



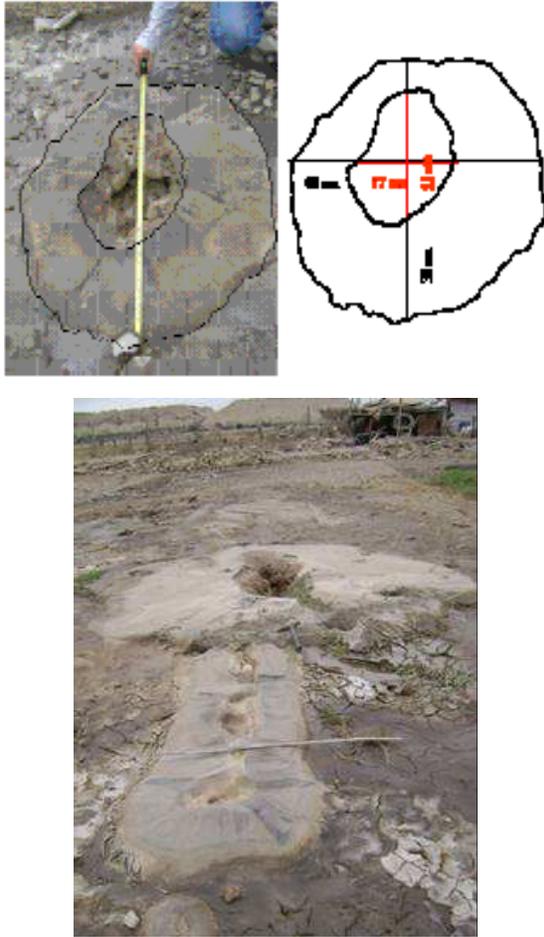
Fig. 23. Penitenciaría de Chíncha y zonas adyacentes afectadas por el fenómeno de licuación. Fuente: Google Earth (28/08/2007)

En las instalaciones de la penitenciaría de Chíncha y sus adyacencias (Figura 23) los daños observados se debieron en su mayoría a licuación de suelos, las paredes del perímetro volcadas con grietas en la base que la dejaban al descubierto (Figs. 24 y 25).



Figs. 24 y 25. a) Volcanes con eyección de agua y arena, adyacentes a las paredes perimetrales de la penitenciaría de Chíncha y b) grieta de 4 cm. de ancho que separa parte de la pared perimetral del suelo.

En el terreno adyacente a la penitenciaría en dirección norte, la manifestación de licuación se expresó como volcanes de arena alineados, y grietas sub-parallelas de rumbo NS y rumbo N80°E. Los tamaños de los volcanes varían desde pocos centímetros hasta 2 metros promedio (Figuras 26 y 27).



Figs. 26 y 27. Volcanes de arena en las adyacencias a la penitenciaría de Chíncha.

La presencia de cráteres de menor diámetro adjuntos al cráter inicial (Figura 28), y volcanes de arena alineados dentro de las grietas sub-parallelas (Figura 29), sugieren la manifestación de licuación, no sólo con el evento principal, también se estima que con las réplicas posteriores al evento generaron nuevos volcanes, posiblemente reutilizando los diques ya existentes. Se considera importante realizar calicatas, que permitan visualizar las

manifestaciones de licuación y su comportamiento registrado en los sedimentos, tomando en consideración las réplicas cuya magnitud haya sido \geq a 5.



Figs. 28 y 29. Evidencias de licuación posiblemente originadas por las réplicas a) sobre volcán de mayor diámetro se evidencia otro de menor diámetro. b) Volcanes de arena entre grietas.

Otra de las evidencias importantes encontradas fue la presencia de volcanes de arena en zonas adyacentes a la penitenciaría inundadas por el tsunami (Figuras 30 y 31). En esta área se ha interpretado lo siguiente: 1) las olas producidas por el tsunami no tuvieron la suficiente fuerza de remover los volcanes formados por la licuación ó 2) los volcanes observados en la zona inundada se produjeron con las réplicas posteriores al evento principal.



Figs. 30 y 31. Volcanes de arena en áreas inundadas por el tsunami al norte de la penitenciaría de Chíncha.

Se resalta también la presencia de volcanes, bordeando los postes de la luz eléctrica ó bordeando los troncos utilizados para el cercado del ganado, la existencia de hoyos preexistentes facilitó la emergencia de arena y agua a la superficie. (Figuras 32 y 33).



Figs. 32 y 33. Volcanes de arena aprovechando oquedades pre-existentes.

Al este de la penitenciaría también fueron observadas grietas con desplazamiento lateral, como se muestra en la figura 34.



Fig. 34. Grietas con desplazamiento lateral al este de la penitenciaría de Chíncha.

La construcción en terrenos potencialmente licuables, trae como consecuencia que al momento de ocurrir un sismo de considerable magnitud (≥ 5) las edificaciones pueden sufrir fuertes daños como ocurrió en el caso de Tambo de Mora, ejemplo clave ha ser considerado en los estudios de microzonificación sísmica, y de vital importancia, tomar en cuenta las vivencias de los pobladores ya que puede ser un aporte vital, para relacionar la historia local versus la geología urbana.

Población de Pisco

En Pisco se observó la presencia de grietas sub-paralelas con desplazamiento lateral en las calles de la parte suroeste de Pisco (Figuras 35 y 36), así como oquedades y hundimiento en la calle (Figura 37), sin embargo debido al poco tiempo de estadía en el país no hubo oportunidad de realizar un recorrido completo en esta población, por lo que seguramente hubo varios sectores con evidencias que no fueron posible visitar.



Figs. 35 y 36. Grietas sub-paralelas con desplazamiento lateral, calles ubicadas en el suroeste de Pisco.



Fig. 37. Oquedades y hundimiento en la calle, parte suroeste de Pisco.

1.4. EVIDENCIAS DE INESTABILIDAD OBSERVADAS EN EL VALLE DEL RÍO MALA.

En el recorrido por el valle del río Mala, se visitaron los poblados de San Antonio de Flores, Santa Cruz de Flores, Mala y finalmente Calando (Figura 38). Los daños observados en estos poblados se concentraron particularmente en las viviendas construidas con adobe, las iglesias que presentaron mayores daños fueron las correspondientes a los poblados de San Antonio y Santa Cruz. En este último poblado el reloj de la plaza marcó la hora del sismo, quedando paralizado debido a los daños que presentó su estructura (Figura 39).

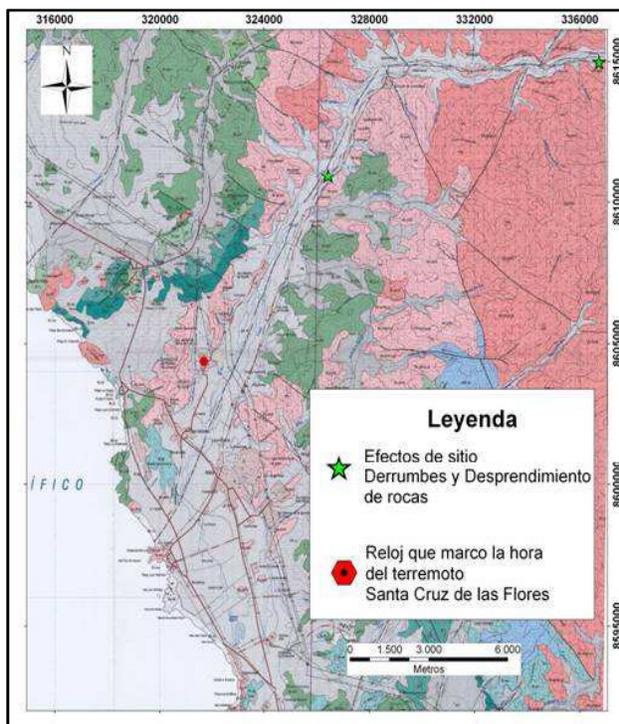


Fig. 38. Valle del río Mala. Mapa fuente modificado a fines de este informe. Mapa Geológico del Cuadrángulo de Mala, Hoja 15-45, 26-J -I, a escala 1:50000, del año 2002. Instituto Geológico Minero (INGEMMET).



Fig. 39. Reloj que marcó la hora del sismo, ubicado en la plaza de Armas de la población de Santa Cruz de Flores.

El objetivo de la inspección particularmente en este valle era ver el comportamiento de las laderas y los cerros con respecto a deslizamientos, derrumbes en la carretera ó desprendimiento de rocas, los cuales fueron observados principalmente en la vía que conduce de Mala a Calando.

En la coordenada ($12^{\circ} 33'37,5''S$ - $76^{\circ}35''W$) se derrumbó el talud de la vía obstruyendo la carretera que conduce a Calando, para el momento de la inspección parte del material ya había sido removido, sin embargo el talud aun se encontraba inestable (Figuras 40y 41). Al llegar a Calando se realizó entrevista al mayor policía nacional Elder Calderon Cossio, a cargo de la comisaría de Calando, el cual mencionó que no hubo heridos y facilitó un inventario de las viviendas afectadas y los daños causados a la vialidad. En la tabla 1, se presenta un resumen de este inventario.

Tabla N° 1 Daños a ocurridos a consecuencia del sismo ocurrido el 15 de agosto de 2007, en Calango

| Inventario de daños en el terremoto de Pisco del 15 de agosto de 2007, en Calando y los Anexos | | |
|--|---|---|
| Infraestructuras públicas afectadas | Canales para el regadío de los sembradíos de manzana afectados por desprendimiento de tierra y rocas | Daños en los anexos |
| La iglesia de Calando presentó grietas en el perímetro del techo, similar ocurrió con la iglesia del anexo Cerro del Viento. | Canales: Yuncaviri Vivanco Yanacaca Huancani El Hato El Pueblo | Anexo El Pueblito, hubo cinco casas colapsadas |
| La comisaría sólo presentó unas grietas en la parte superior de la pared del frente hacia la plaza. | | Anexo La Capilla, hubo dos casas colapsadas de adobe y dos viviendas que presentan grietas graves que deben ser demolidas. Cerca de este anexo hubo desprendimiento de rocas que obstruyó la vía. |
| En el anexo Corre Viento, el colegio presenta grietas, 8 lunas se han roto, también el colegio Jardín de Infancia | | |
| presenta grietas. | | |

En la vía que conduce de Calango al Anexo La Capilla, en la coordenada ($12^{\circ} 31'5,2''$ S - $76^{\circ} 29'51''$ W) hubo un desprendimiento de rocas (granodiorita) (Figuras 40, 41, 42, 43 y 44), que afectó aproximadamente 200 metros de un sembradío de manzanas propiedad del señor Antonio Arias Zabala, este fue el mayor desprendimiento de rocas observado durante la estadía en la misión de apoyo, debido al sismo de Pisco ocurrido el 15 de agosto de 2007.



Fig. 42 Valle del río Mala, cercanías al Anexo La Capilla, desprendimiento de rocas, se señala con un círculo el área afectada. Fuente: Google Earth (28/08/07)



Fig. 40 y 41. Derrumbes en la vía a Calango.



Fig. 43 y 44. Desprendimiento de rocas, que afectó la vialidad y un sembradío de manzanas en la cercanías al Anexo La Capilla.

1.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo de campo se organizó dependiendo de la disponibilidad de vehículo, en principio el objetivo era realizar un reconocimiento de campo saliendo de Lima hasta Ica, con el objeto de buscar evidencias pos – sísmicas de inestabilidad geológica en las principales ciudades afectadas, pero debido al poco tiempo de estadía y la disponibilidad del vehículo, se realizó el reconocimiento de campo particularmente a lo largo de la vía entre Lima e Ica, en Pisco, en Tambo de Mora y en el valle de Mala. De las evidencias de inestabilidad más resaltantes observadas en la misión se describen las siguientes:

- La presencia de grietas con desplazamiento lateral que afectó la carretera nacional del sur, se observaron principalmente en los sectores donde la carretera cortaba terrenos pantanosos produciéndose desplazamientos laterales. No sólo afectó la carretera también el tendido de la línea eléctrica sufrió daños.
- Derrumbes, y caída de bloques también fueron observados en la carretera entre Lima y Pisco, así como en el valle del río Mala, en la vía que conduce desde Mala hasta Calando, cercano al Anexo La Capilla en la carretera que va desde Calando a Huarochirí, hubo un desprendimiento de bloques de tamaño promedio de dos metros que obstruyó la vía y dañó un sembradío de manzanas, este

fue el mayor desprendimiento de bloques observado durante la misión.

- El 90% de los daños observados en la población de Tambo de Mora se debió al fenómeno de licuación, viviendas hundidas aproximadamente un metro e inclinadas, pisos levantados, volcanes de arena dentro de las viviendas y en las calles, fueron las principales evidencias encontradas en esta población. Mientras que en el área perimetral de la penitenciaría de Chíncha las evidencias observadas sugieren la existencia de licuación no sólo producto del evento principal sino también se estima que las réplicas produjeron licuación, se observó volcanes de arena con cráteres de diferente tamaño, y grietas rellenas de volcanes alineados. Se recomienda realizar calicatas al norte de la penitenciaría, por medio de las mismas se podría evaluar el comportamiento del suelo, tomando en consideración el evento principal y las réplicas posteriores al evento principal.
- El poco tiempo de estadía y la disponibilidad del vehículo, no permitió realizar un reconocimiento completo, en búsqueda de evidencias de inestabilidades geológicas (efectos de sitio) en las poblaciones de Pisco y Paracas. Sin embargo en un recorrido ligero por el centro de Pisco al suroeste de la población se evidenció el fenómeno de licuación que se manifestó como grietas sub-paralelas con desplazamiento lateral “lateral spread.

RESPUESTA DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE REFROZADOS EN ICA A LA ACCION DEL SISMO DE PISCO

15 de Agosto del 2007

Proyecto: CERESIS/PUCP/GTZ, 1999

Comunicación de:

**Angel San Bartolomé
Pontificia Universidad Católica del Perú**

Asunto: Fotos - Vivienda de Adobe Reforzado - Sismo 15-08-2007
Fecha: Tue, 21 Aug 2007 15:07:40 -0500
De: Angel San Bartolome <asanbar@pucp.edu.pe>
Organización: PUCP

Estimados amigos:

El presente mensaje es para informarles el éxito obtenido por nuestra institución en el reforzamiento de viviendas existentes de adobe, hechas por los propios pobladores, como una medida preventiva para soportar terremotos.

En el marco del convenio GTZ-CERESIS-PUCP, en el año 1998 reforzamos dos viviendas de adobe ubicadas en Ica en los distritos de Pachacutec y Guadalupe, bajo una técnica sencilla y económica que se indica en el website <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>. Ambas viviendas no presentaron fisura alguna después de haber sido sometidas al terremoto del 15-08-2007, en tanto que, lamentablemente, viviendas de adobe no reforzadas sufrieron fuertes daños o colapsaron totalmente (ver fotos adjuntas).

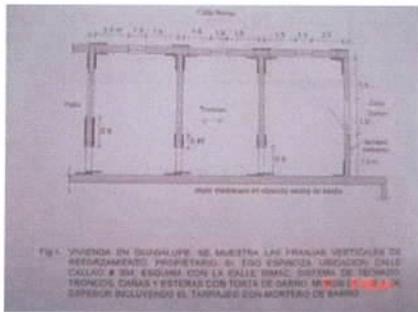
A estas dos viviendas se suman a otras seis, ubicadas en Moquegua, Tacna y Arica, que habíamos reforzado en el año 1998 bajo la misma técnica y que también resistieron el terremoto del 23-06-2001 sin daño alguno.

Como siempre, espero que difundan esta información para bien de los millones de personas que habitan en estas viviendas.

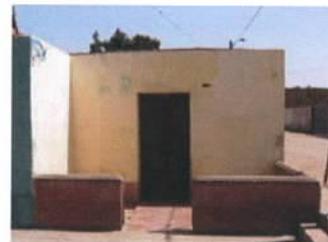
Saludos cordiales,

Ángel San Bartolomé
Profesor Principal
Departamento de Ingeniería-Sección Civil
Pontificia Universidad Católica del Perú
E-mail: asanbar@pucp.edu.pe
Teléf. 6262000 - anexo 4627
Website 1: <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>
Website 2: <http://blog.pucp.edu.pe/concretoarmado>

Casa Reforzada en Guadalupe, Ica, después del Sismo del 15-08-2007
Ubicación: Calle Callao #304, esquina con la calle Rímac. Propietario: Sr. Ego Espinoza



21-08-2007. El cerco del patio no se reforzó por falta de medios económicos y colapsó.



Viviendas no reforzadas en Guadalupe



Estado de la Vivienda del Sr. Antonio Lengua después del Sismo del 15-08-2007

Ubicación: Calle Sebastián Barranca Z-27, Pachacutec, Ica



Estado de la vivienda del Sr. Lengua. 20-08-2007.



Viviendas en la Calle
Sebastián Barranca.
20-08-2007.





Centro Regional de Sismología para América del Sur

Informe Técnico
Editado por CERESIS

PERÚ

El Terremoto de Pisco-Perú
15 de Agosto de 2007

ACELERACIONES Y ESPECTROS DE
RESPUESTA

D. Huaco
F. Calixto

Distribución Limitada

CERESIS/UNESCO
Lima, 2008