

# Estudio de daños a edificaciones históricas de tierra después del terremoto del 15 de agosto del 2007 en Pisco, Perú

## Informe de investigación

Claudia Cancino

En colaboración con Stephen Farneth, Philippe Garnier, Julio Vargas Neumann, y Frederick Webster

Los Angeles 2009





# Estudio de daños a edificaciones históricas de tierra después del terremoto del 15 de agosto del 2007 en Pisco, Perú

Claudia Cancino

En colaboración con Stephen Farneth, Philippe Garnier,  
Julio Vargas Neumann, y Frederick Webster

THE GETTY CONSERVATION INSTITUTE  
LOS ANGELES

Elena Macchioni, *editora técnica en español*

©2011 J. Paul Getty Trust

Traducción al español ©2014 J. Paul Getty Trust

The Getty Conservation Institute  
1200 Getty Center Drive  
Los Angeles, California 90049-1684  
Estados Unidos de América  
Teléfono 310 440-7325  
Fax 310 440-7702  
Correo electrónico [geiweb@getty.edu](mailto:geiweb@getty.edu)  
[www.getty.edu/conservation](http://www.getty.edu/conservation)

El Getty Conservation Institute (GCI) trabaja internacionalmente para avanzar la práctica en la conservación de las artes visuales – incluyendo objetos, colecciones, arquitectura y sitios patrimoniales. El GCI asiste a la comunidad de conservadores a través del desarrollo de investigaciones científicas, programas de educación y capacitación, proyectos de campo modelos, y la difusión de los resultados, tanto de su propio trabajo como el de otros profesionales en este campo. En todas sus iniciativas, el GCI se concentra en la creación y transferencia de conocimientos que beneficien a los profesionales y organizaciones responsables de la conservación del patrimonio cultural mundial.

# Índice

## **CAPÍTULO 1**

### **Antecedentes**

Introducción	1
Antecedentes institucionales	3
Ámbito de trabajo: finalidad y público objetivo	4

## **CAPÍTULO 2**

### **El terremoto de Pisco**

Descripción del terremoto de Pisco	6
Descripción geológica de la región afectada	11

## **CAPÍTULO 3**

### **Patrimonio arquitectónico de tierra en el Perú**

Las culturas antiguas del Perú (antes de 1535)	24
El Virreinato del Perú (1535-1821)	26
El Período Republicano (1821 al presente)	32
El Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú y las investigaciones sobre adobe sismorresistente	34

## **CAPÍTULO 4**

### **Patrimonio arquitectónico de tierra en la zona afectada**

Limitaciones	40
Resumen de hallazgos	41
Tipologías de daños estudiados	46
Conclusiones	55
Recomendaciones	60
Apéndice A: lista de profesionales e instituciones participantes	62
Bibliografía	63
Créditos de las imágenes	67



## CAPÍTULO 1

# Antecedentes

## Introducción

El terremoto de Pisco del 17 de agosto del 2007 resultó en 519 muertos y 1,366 heridos, un total de 650,000 damnificados y 80,000 viviendas afectadas.<sup>1</sup> Parte de la trágica pérdida de vidas humanas se debió al colapso de edificios vernáculos y patrimoniales, construidos con diferentes técnicas y materiales, localizados en los departamentos de Ica, Lima, Huancavelica, Ayacucho y Junín entre otros.<sup>2</sup> Inmediatamente después del terremoto varias organizaciones, nacionales e internacionales, así como instituciones académicas con experiencia en llevar a cabo evaluaciones de daños sísmicos, viajaron a la región afectada para preparar informes preliminares sobre las condiciones de los edificios y las estructuras afectadas por el terremoto. Algunos de estos informes hacen mención de daños específicos en construcciones de tierra.<sup>3</sup>

La construcción con tierra en el Perú se remonta al período del *formativo temprano* (1800/1500-900 a.C.). Esta técnica constructiva ha sido utilizada durante casi 4,000 años y ha probado ser un recurso sostenible en la evolución de la cultura peruana. Los edificios históricos, estructuras, y asentamientos urbanos de tierra son un signo de que las sociedades que los crearon fueron lo suficientemente avanzadas para diseñar técnicas constructivas apropiadas a la región y capaces de mantenerlas a través del tiempo.<sup>4</sup> En respuesta a los efectos de los terremotos, las primeras culturas peruanas eligieron sabiamente levantar sus edificaciones sobre suelos estables y desarrollaron técnicas de construcción reforzadas para disipar la energía generada por los eventos sísmicos.<sup>5</sup>

Las evaluaciones post-terremoto son una oportunidad para entender cómo se comportan las edificaciones durante un evento sísmico y obtener así información que sirve de base para mejorar su desempeño estructural. Por siglos, las lecciones aprendidas en base a terremotos y otros desastres naturales han sido utilizadas para mejorar las técnicas constructivas y, más recientemente, dichas lecciones han impulsado el desarrollo de la ingeniería sísmica y la disciplina de la conservación; así como la puesta a prueba y revisión de los reglamentos de construcción y las políticas para la gestión y el manejo de desastres naturales.

La historia de la arquitectura peruana es un ejemplo de este proceso evolutivo. Edificaciones en tierra fueron construidas por civilizaciones ancestrales, como la de Caral, utilizando ladrillos de tierra (adobe), morteros de barro, y quincha.<sup>6</sup> El conocimiento adquirido por estos primeros constructores fue probablemente difundido a otras regiones del continente; así, magníficas estructuras y complejos urbanos de tierra como la Huacas del Sol y de la Luna (100-800 d.C.), Chan-Chan (850-1476 d.C.) y Tambo Colorado (1476-1534 d.C.) fueron construidos a lo largo de la costa peruana. Durante el período del virreinato (1534-1821 d.C.), iglesias monumentales y casas coloniales fueron construidas originalmente con técnicas

constructivas importadas de España. Sin embargo, después de los terremotos de 1586, 1687 y 1746, los materiales cambiaron y las técnicas se modificaron.<sup>7</sup> Haciendo uso de lo desarrollado por los Incas y otras culturas ancestrales, los españoles empezaron a construir con quincha, adobe y tierra apisonada (conocida como tapial) en el Perú y en otras áreas del virreinato. Catedrales, palacios de gobierno, haciendas y casonas fueron construidas con tierra, y muchas de estas estructuras pueden encontrarse aún en pie en Perú, Chile, Ecuador, Argentina, Colombia y otros países latinoamericanos. Durante el período virreinal técnicas simples de reforzamiento como contrafuertes fueron construidas para resistir mejor los sismos, evitar movimientos fuera de plano vertical y el colapso de los muros macizos de adobe. Después de la independencia del Perú en 1821, la tierra siguió siendo el material de construcción predominante en todo el país. Lamentablemente, el daño que ocasionaron terremotos posteriores y la introducción del cemento a finales del siglo diecinueve, motivó a los urbanizadores y funcionarios de la construcción, ingenieros y arquitectos, a sustituir la tierra por otros materiales modernos, perdiéndose la tradición, al menos en las grandes ciudades capitales.<sup>8</sup> Es a partir de ese momento, que el Gobierno Peruano prácticamente prohíbe el uso de adobe, tapial y quincha en todo el país.

Después del terremoto del 31 de mayo de 1970, con Momento de Magnitud ( $M_w$ ) de 8.1 y epicentro localizado cerca de la costa central peruana, se iniciaron en el Perú estudios e investigaciones para mejorar el comportamiento sísmico de los edificios de tierra.<sup>9</sup> Esta iniciativa fue impulsada en gran medida por las universidades e instituciones académicas como una reacción a la exclusión de la construcción de tierra como parte del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú. Desde aquel entonces, una serie de recomendaciones para reducir la vulnerabilidad sísmica de las construcciones, generalmente nuevas, de tierra han sido publicadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones e incluidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones peruano. Una de éstas, la *Norma Técnica de Edificación NTE E. 080 Adobe*, ha sido un modelo para otros países que enfrentan el mismo desafío de la normativa sísmica de las nuevas construcciones de tierra.

A pesar de esto, existen aún opiniones contradictorias sobre la capacidad de los edificios de tierra en el Perú para soportar grandes terremotos. Algunos expertos creen que los edificios de tierra son débiles e incapaces de resistir terremotos bajo cualquier circunstancia; mientras que otros subestiman el potencial destructivo de éstos movimientos sísmicos simplemente por el hecho de que muchos de los edificios de tierra del Perú han soportado sismos de gran envergadura a lo largo de los siglos. Si bien es cierto que los edificios de tierra en general son vulnerables a eventos sísmicos, en el Perú un gran número de ellos ha sobrevivido a los principales terremotos de la historia del país. Las evaluaciones post-terremoto de edificios históricos de tierra pueden ayudar a entender mejor su comportamiento sísmico, además de los efectos de las medidas tradicionales de estabilización y/o su adecuado mantenimiento.

Un prerrequisito para la elaboración de guías de estabilización sismorresistente es un buen entendimiento del comportamiento estructural del edificio en cuestión, dónde es necesario intervenir y dónde no lo es. Un terremoto presenta una oportunidad para evaluar e investigar los edificios afectados, para documentar el nivel de destrucción y para lograr un entendimiento preliminar acerca de cómo se comportan las edificaciones durante un terremoto. El terremoto de Pisco del 15 de agosto del año 2007 fue el resultado de la tensión liberada por el mutuo empuje de



la Placa de Nazca y la Placa Continental de América del Sur.<sup>10</sup> Tuvo una  $M_w$  de 7.9-8.0 (United States Geological Services-USGS, Harvard University-CMT Catalogue), una máxima intensidad local de VII-VIII en la escala de Intensidad de Mercalli Modificada (MMI) (Instituto Geográfico del Perú-IGP), y su epicentro estuvo localizado a 13.35 Latitud Sur y 79.51 Longitud Oeste a una profundidad de 39 km (USGS). Los informes preliminares indicaron que importantes sitios de tierra habían sido dañados por el terremoto y una misión para su evaluación rápida fue comisionada a la Iniciativa de la Arquitectura de Tierra (Earthen Architecture Initiative, EAI por sus siglas en inglés) del Getty Conservation Institute (GCI por sus siglas en inglés) para poder entender mejor los modos de falla de estas edificaciones durante el terremoto. El objetivo principal de dicha misión, y motivo de este informe, fue entender el daño sísmico ocasionado a edificaciones históricas de tierra, incluyendo la influencia de agentes externos en su comportamiento sísmico; y así contribuir al diseño de técnicas de estabilización sismorresistente para preservar la extraordinaria arquitectura de tierra de América Latina.

### **Antecedentes institucionales**

Durante muchos años, el GCI ha adquirido un rol de liderazgo estableciendo normas y metodologías apropiadas para la conservación de los sitios de tierra. El firme compromiso del GCI para preservar el patrimonio arquitectónico de tierra ha generado programas de capacitación, investigación y proyectos de campo modelo en todo el mundo que han profundizado la comprensión de la arquitectura de tierra y su particular vulnerabilidad. Durante la década de los noventa el Getty Seismic Adobe Project (GSAP por sus siglas en inglés, 1992-2002) llevó a cabo investigaciones y ensayos de laboratorio en un esfuerzo de investigación multidisciplinario, en los que se diseñaron, evaluaron e impulsaron técnicas de reforzamiento poco invasivas, basadas en la estabilidad sismorresistente de los edificios históricos de adobe en California.

En los últimos años, los terremotos ocurridos en regiones con importante patrimonio arquitectónico de tierra, particularmente en Bam (Irán, 2003), Al-Hoceima (Marruecos, 2004), Kashmir (Pakistán, 2005), y Pisco (Perú, 2007) han hecho llamar la atención sobre la inherente vulnerabilidad y el consecuente colapso de las estructuras de tierra no reforzadas durante los eventos sísmicos. El GCI se interesó particularmente en el impacto de éstos sismos en sitios históricos de tierra con la intención de entender por qué el trabajo de investigación desarrollado en California y en otras regiones no estaba siendo implementado para salvaguardar los sitios de tierra situados en regiones de alta sismicidad. Para tratar de resolver este último punto, el GCI organizó el Coloquio GSAP en Abril del 2006 en el Centro Getty de Los Ángeles, California; dicho coloquio congregó a un grupo de profesionales con experiencia en conservación de tierra, normas de construcción e ingeniería sísmica, para discutir el estado actual del conocimiento en este campo y los retos que enfrenta la preservación del patrimonio cultural de tierra en zonas sísmicas. El coloquio fue sobre todo una oportunidad para evaluar el impacto que la investigación y guías del GSAP habían tenido en el ámbito local e internacional, y para discutir la viabilidad de adaptación de las mismas en otros países. También permitió el intercambio de información y el establecimiento de prioridades de trabajo a futuro en el campo de la estabilización sismorresistente de sitios históricos de tierra.

El trabajo desarrollado por el GSAP se publicó en tres libros disponibles en formato PDF en el portal electrónico del GCI: *Survey of damage to historic adobe buildings after the January 1994 Northridge earthquake (Evaluación de daños a los edificios históricos de adobe después del terremoto de Northridge de enero de 1994, 1996)*; *Seismic stabilization of historic adobe structures: Final report of the Getty Seismic Adobe Project (Estabilización sísmorresistente de edificaciones históricas de adobe: Informe final del Getty Seismic Adobe Project, 2000)*; y *Planning and engineering guidelines for the seismic retrofitting of historic adobe structures (Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sísmorresistente de edificaciones históricas de adobe, 2002)*. Una traducción al español del volumen final, un breve vídeo del programa de ensayos en mesas vibratorias del GSAP y las actas del coloquio del GSAP están disponibles en el portal del GCI.<sup>11</sup>

### **Ambito de trabajo: finalidad y público objetivo**

Cómo se menciona en la evaluación después del terremoto de Northridge "el desafío de mejorar el comportamiento sísmico de los sitios históricos de tierra es garantizar la adecuada seguridad de la vida de sus ocupantes, protegiendo al mismo tiempo, la edificación histórica y su valor cultural".<sup>12</sup> Desde que esta observación fue hecha en 1996, muchas instituciones académicas se han interesado en seguir realizando estudios que demuestren que es posible salvaguardar la vida de los ocupantes y preservar al mismo tiempo la estructura histórica de tierra que ellos ocupan.<sup>13</sup>

Del 28 de octubre al 2 de noviembre del año 2007 el GCI, en colaboración con otras instituciones peruanas y utilizando la misma metodología desarrollada después del terremoto de Northridge, llevó a cabo un estudio de daños ocurridos en edificaciones históricas de tierra tras el terremoto del 15 de agosto del mismo año. Esta evaluación fue organizada en respuesta a una solicitud de asistencia recibida por parte del Instituto Nacional de Cultura del Perú (INC).

La evaluación partió de la premisa que el análisis de los problemas de conservación de un sitio de tierra, sus causas y las soluciones más adecuadas para preservarlo, deben ser desarrollados por un equipo multidisciplinario de profesionales. Cada una de las disciplinas involucradas - como arquitectura, conservación, historia, ingeniería y planificación - ofrecen un punto de vista diferente y complementario que enriquece la intervención y beneficia la conservación del sitio. En la evaluación del terremoto de Pisco, un equipo multidisciplinario de ingenieros sísmicos, arquitectos y conservadores, nacionales e internacionales, con amplia experiencia en arquitectura y conservación de tierra, visitó un total de catorce (14) edificaciones afectadas por el sismo e hizo un levantamiento rápido de los aparentes daños sísmicos.<sup>14</sup>

Los profesores de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) preseleccionaron los sitios de acuerdo una variedad de criterios, como tipo y calidad de la edificación, importancia histórica, distancia al epicentro, nivel de daño, acceso y tiempo disponible para visitarla. Los sitios seleccionados fueron principalmente edificaciones monumentales con significado cultural (en particular iglesias y haciendas); sin embargo, los expertos también pudieron visitar la arquitectura vernácula en tierra de los alrededores. La misión se limitó a una semana y por lo tanto este reporte no pretende ser concluyente; por el contrario, pretende ofrecer una visión general de los problemas estructurales

encontrados en los sitios visitados como ejemplos típicos de daños por terremoto.<sup>15</sup> El presente trabajo pretende además dar luces sobre el comportamiento de este tipo de estructuras de tierra, muy común en América Latina.

Esta evaluación tiene por objetivo proporcionar información sobre el daño que presentan los terremotos en sitios históricos de tierra a instituciones culturales encargadas de su conservación, así como a sus propietarios, y funcionarios de la construcción; y hacer hincapié en la necesidad de desarrollar planes regulares de mantenimiento y técnicas de estabilización sismorresistente mínimamente invasivas, fáciles de implementar y utilizando materiales locales para mejorar su desempeño sísmico.

### Notas

- 1 Johansson, et al., “A Reconnaissance report on the Pisco, Peru earthquake of August 15, 2007,” 1.
- 2 Ibid.
- 3 Una lista completa de los reportes consultados para la elaboración del presente documento se encuentra en la bibliografía.
- 4 Este punto es muy bien explicado por Williams León, *Arquitectura y urbanismo en el Perú: Historia del Perú*, Procesos e instituciones, Vol. 9, 382.
- 5 Ibid., 467.
- 6 Caral es considerado el sitio más grande en la región andina con fecha anterior al 2000 BC, y parece haber sido el modelo para el diseño urbano adoptado por civilizaciones andinas en los siguientes cuatro milenios. Se cree que Caral podría dar respuesta al origen de las civilizaciones andinas y al desarrollo de las primeras ciudades en el continente americano.
- 7 Bromley y Barbagelata, *Evolución urbana de la ciudad de Lima*, 53, 69, 71, 111.
- 8 El cemento fue importado por primera vez al Perú en 1860. El uso inicial del cemento es mejor descrito en el Capítulo 3.
- 9 Una descripción detallada de  $M_w$ ,  $M_L$  y MMI se presenta en el Capítulo 2.
- 10 Earthquake Engineering Institute (EERI), “Learning from earthquakes: The Pisco, Peru earthquake of August 15, 2007,” EERI Special earthquake report, 1, y Fernando Lázares La Rosa et al., “Análisis de acelerogramas sismo de Ica del 15 de agosto del 2007,” 10.
- 11 Las publicaciones están disponibles en la siguiente dirección electrónica <http://www.getty.edu/conservation/publications>.
- 12 Tolles et al., *Survey of damage to historic adobe buildings after the January 1994 Northridge earthquake*, 3.
- 13 Parte de esta investigación está documentada en Hardy, Cancino y Ostergren, *Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium*.
- 14 La lista de participantes e instituciones se presenta en el Apéndice de esta publicación.
- 15 La lista de los sitios visitados se puede encontrar en pp. 43–45.

## CAPÍTULO 2

# El terremoto de Pisco

### Descripción del terremoto de Pisco

El 15 de agosto del año 2007 a las 23 horas, 40 minutos, 59 segundos UTC (18 horas, 40 minutos, 59 segundos, hora local), un terremoto de magnitud  $M_W$  7.9-8.0 se produjo frente a la costa central del Perú.<sup>1</sup> Las regiones más afectadas fueron los departamentos de Ica, Huancavelica y Lima, con una cifra de 519 muertos, 1,366 heridos, 58,581 casas destruidas y 13,585 viviendas afectadas.<sup>2</sup> El Gobierno Peruano estimó un total de 450 millones de dólares americanos en pérdidas a causa del siniestro y una reducción del crecimiento económico estimada del 0.3% para el año 2007.<sup>3</sup>

El Gobierno Peruano brindó asistencia inmediata a través del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), apoyado por las fuerzas armadas, gobiernos regionales, el sector privado y la comunidad internacional; así como por organizaciones no gubernamentales (ONG) y agencias de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). La respuesta inicial comprendió la búsqueda de sobrevivientes, evacuación de heridos, eliminación de escombros, seguridad y satisfacción de las necesidades básicas de la población damnificada. Una serie de agencias internacionales proporcionaron ayuda por un total de \$37 millones de dólares americanos, entre los cuales \$9.5 millones fueron proporcionados por el Fondo Central de Respuesta para Emergencias (Central Emergency Response Fund, CERF por sus siglas en inglés).<sup>4</sup>

Las ciudades de Pisco (destruida en un 80%), Ica y Chincha en la Región Ica, y San Vicente de Cañete en la Región Lima, fueron las más afectadas. Sin embargo, el terremoto también se hizo sentir en la ciudad de Lima, así como en varias otras ciudades del Perú como Pucallpa, Iquitos, Contamaná, Trujillo y Cajamarca.

La costa del Perú tiene una historia de fuertes terremotos; otros terremotos con epicentros cerca al del año 2007 fueron los de 1908 ( $M_W$  8.2) y 1974 ( $M_W$  8.1); y al norte, los de 1942 ( $M_W$  8.2) y 2001 ( $M_W$  8.4). El terremoto más fuerte que afectó la costa del Perú fue el del año 1868, con una magnitud de  $M_W$  9.0, cuyo epicentro se situó a unos 700 km al sureste del epicentro del terremoto del 15 de agosto del 2007.<sup>5</sup>

### Características

Un terremoto o temblor es el resultado de la liberación repentina de energía a través de ondas sísmicas registradas por un sismómetro o sismógrafo en la superficie de la tierra. La fuerza es medida por su Magnitud de Momento (MMS,  $M_W$ ) o por su antigua equivalente, la Magnitud de Richter ( $M_L$ ). La intensidad del movimiento se mide por la escala Modificada de Mercalli (MMI).

En la superficie de la tierra, los terremotos se manifiestan como movimientos y desplazamientos del suelo; cuando el epicentro está localizado en el océano, los movimientos y desplazamientos en el fondo del mar pueden provocar tsunamis. En

forma generalizada, la palabra *terremoto* se utiliza para describir cualquier evento sísmico causado por la ruptura de fallas geológicas, actividad volcánica, desplazamientos de tierra, explosiones mineras, y/o ensayos nucleares. El punto de ruptura inicial del terremoto se denomina *foco* o *hipocentro* y el término *epicentro* se refiere al punto a nivel de la superficie de la tierra.

En la Tabla 2.1 se muestran las localizaciones del epicentro y magnitudes reportadas por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y otros tres organismos internacionales. La diferencia entre las magnitudes  $M_W$  y  $M_L$  reportadas por el IGP se debe a la saturación de la escala local mayor a  $M_L$  6.8.<sup>6</sup>

**Tabla 2.1: Parámetros del Terremoto**

Agencia	Epicentro		Profundidad (Km)	Magnitudes		
	Latitud S°	Longitud O°		$M_W$	$M_S$	$M_L$
IGP (Peru)	-13.670	-76.760	40	7.9		7.0
USGS (EUA)	-13.354	-76.509	39	8.0		
HU-CMT (EUA)	-13.73	-77.04	34	8.0	8.0	
ISC (RU)	-13.358	-76.522	30		7.8	

Fuentes: IGP: Instituto Geofísico del Perú (<http://www.igp.gob.pe/>); USGS: United States Geological Survey; HU-CMT: Harvard University Centroid-Moment-Tensor Project (<http://www.globalcmt.org/>); ISC: International Seismological Centre (<http://www.isc.ac.uk/>)

Según la teoría tectónica de placas, la superficie de la tierra se compone de una docena de placas tectónicas que se desplazan a través del tiempo. Debido a que no todas se desplazan en la misma dirección, las placas a menudo chocan unas con otras o se mueven paralelamente entre ellas, lo que puede producir terremotos. Un terremoto interplacar es un terremoto que se produce en el borde de dos placas tectónicas; si una placa está tratando de empujar a otra, ambas estarán atracadas hasta que la tensión acumulada es suficiente como para que las dos placas se deslicen hasta encontrar una posición estable. El proceso de deslizamiento de las placas hace que la tierra se deforme creando ondas sísmicas que viajan a través y por la superficie de la tierra. Algunas regiones del mundo como la costa oeste de América del Norte y del Sur, los países ubicados al noreste del Mediterráneo, en particular Grecia, Italia y Turquía; y otros como, Irán, Nueva Zelanda, Indonesia, Japón, y partes de la China son particularmente proclives a estos eventos.

Muy pocos terremotos son intraplacares, ya que la mayoría de ellos se producen en el borde de dos placas tectónicas; los terremotos intraplacares se producen al interior del borde de placas estables. En comparación con los terremotos interplacares, los intraplacares no han sido estudiados a profundidad y los peligros asociados con los mismos son difíciles de cuantificar.

El terremoto del 15 de agosto del 2007 se generó entre los bordes de las placas de Nazca y de América del Sur, resultando en el deslizamiento de la placa de Nazca por debajo de la de América del Sur (Figuras 2.1-2.3). El movimiento de las placas o la velocidad de desplazamiento relativo de estas placas se ha estimado en 70-80 mm/año.<sup>7</sup> El terremoto de agosto del 2007 ocurrió a lo largo de una falla sísmica ya conocida, debido a movimientos sísmicos anteriores registrados desde 1940 hasta 1996, a lo largo de la costa del Perú, tal como se muestra en la Figura 2.4.<sup>8</sup>

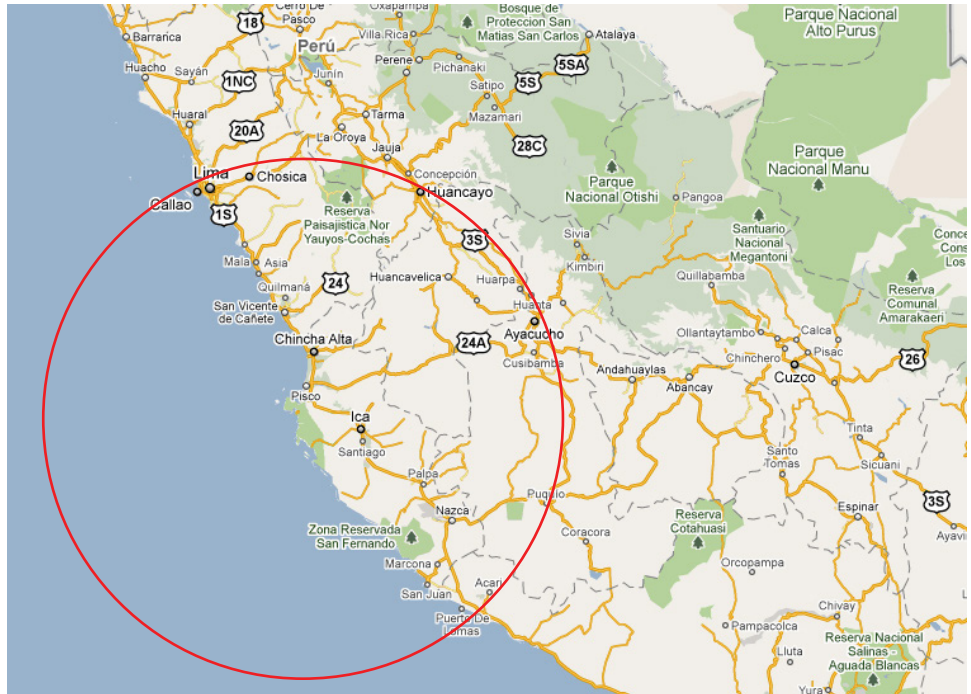
La Figura 2.5 presenta el mapa de intensidad generado por el USGS después del terremoto, utilizando el procesador ShakeMap.<sup>9</sup> La Intensidad Máxima de Mercalli (MMI-VII) se presentó entre las ciudades de Imperial al norte y la ciudad de Ica al

**FIGURA 2.1 (IZQUIERDA)**

Imagen de satélite del área del terremoto en relación al resto del mundo. El círculo indica el epicentro. © 2011 Google-Imagery; © 2011 TerraMetrics, NASA; Map data © 2011 Geocentre Consulting, MapLink, Tele Atlas, Whereis (R), Sensis Pty.

**FIGURA 2.2 (DERECHA)**

Imagen de satélite del área del terremoto en relación al resto del Perú. El círculo indica el epicentro. © 2011 Google-Imagery; © 2011 TerraMetrics, NASA; Map data © 2011 DMapas/El Mercurio, Europa Technologies, Google, Lead Dog Consulting, MapLink, Inav/ Geosistemas SRL.

**FIGURA 2.3**

Mapa de la región afectada por el terremoto. El círculo indica el epicentro. © 2011 Google-Map data; © 2011 DMapas/El Mercurio, Google, MapLink.

sur del epicentro. A pesar que la intensidad en la ciudad de Lima fue registrada como MMI-VI, se reportó poco daño. Entre el 15 y el 20 de agosto, el IGP reportó 355 réplicas con magnitudes locales  $M_L$  iguales o superiores a 3.0.

Los ingenieros sísmicos pueden llegar a definir los datos de longitud, área, profundidad, ángulo y dirección de la ruptura de la falla o movimiento de las placas, analizando los datos registrados por diferentes acelerómetros a través de un modelo de falla finito. Basándose en la ubicación y distribución de las réplicas, el IGP sugirió una ruptura o movimiento sureste de un área aproximada de 150 x 100 km, Chen Ji y Yuehua Zeng también realizaron estimaciones de la falla del terremoto utilizando la inversión telesísmica de banda ancha;<sup>10</sup> en este último análisis se observaron dos zonas de deslizamiento predominantes, una en el epicentro y otra al sureste del mismo (Figura 2.6).

El terremoto del 15 de agosto fue registrado por un total de dieciocho (18) acelerómetros con estaciones ubicadas en su mayoría en la ciudad de Lima y dos en la ciudad de Ica. La Tabla 2.2 presenta un resumen de las máximas aceleraciones (horizontales y verticales) registradas en estas estaciones para cada componente ortogonal (este-oeste y norte-sur), incluyendo algunas características relevantes al

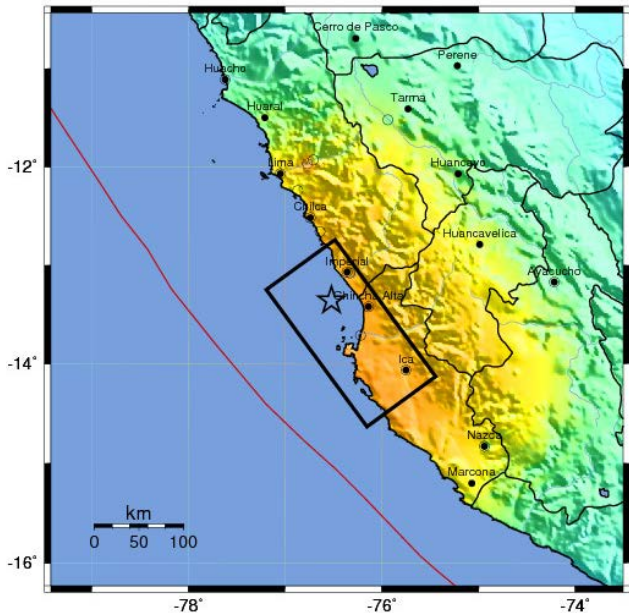
FIGURA 2.4

Ubicación de la falla y los terremotos interplacares históricos en relación al epicentro. La estrella amarilla indica la ubicación del epicentro del 15 de Agosto de 2007. La línea blanca gruesa es la falla sísmica identificada.



USGS ShakeMap : NEAR THE COAST OF CENTRAL PERU

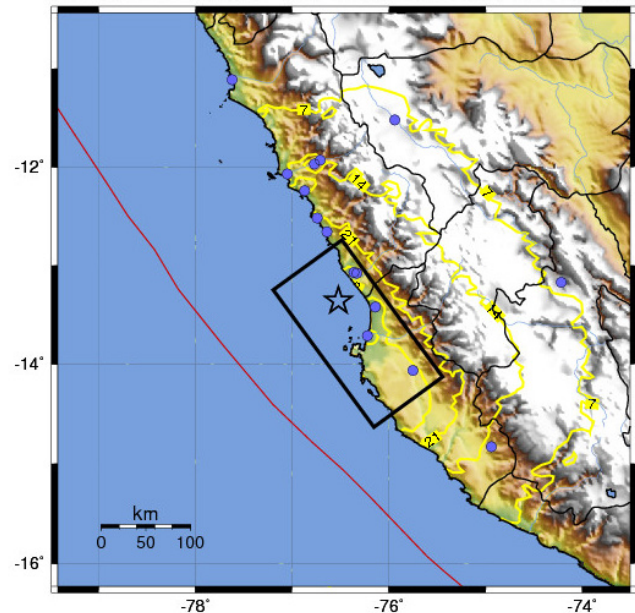
Wed Aug 15, 2007 23:40:56 GMT M 8.0 S13.36 W76.52 Depth: 30.2km ID:2007gbcv



Map Version 11 Processed Sat Sep 22, 2007 02:46:17 PM MDT

USGS Peak Accel. Map (in %) : NEAR THE COAST OF CENTRAL PERU

Wed Aug 15, 2007 23:40:56 GMT M 8.0 S13.36 W76.52 Depth: 30.2km ID:2007gbcv



Map Version 11 Processed Sat Sep 22, 2007 02:46:17 PM MDT

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE Resistant Structures	none	none	none	V. Light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	V. Heavy
POTENTIAL DAMAGE Vulnerable Structures	none	none	none	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	V. Heavy	V. Heavy
PEAK ACC.(%)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-85	85-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
ESTIMATED INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

FIGURA 2.5

Mapa de intensidades generado usando el instrumento ShakeMap del USGS. El mapa incluye la ubicación de la falla (línea roja), el área donde se generó la ruptura (rectángulo) y el epicentro (estrella) estimado por el USGS.

FIGURA 2.6

Aceleración máxima de suelo (Peak Ground Acceleration). La línea roja indica los bordes de la placa y la estrella indica el epicentro.

**Tabla 2.2: Valores de las máximas aceleraciones de suelo (Peak Ground Accelerations, PGA por sus siglas en inglés) horizontales y verticales, para cada componente ortogonal Este-Oeste, Norte-Sur**

Estación	CISMID (Lima)	San Isidro (Lima)	Callao (Lima)	La Molina (Lima)	Universidad Ica (Ica)
E-W PGA (cm/s <sup>2</sup> )	73.7	54.49	100.9	78.1	272.2
N-S PGA (cm/s <sup>2</sup> )	59.98	57.88	58.41	18.46	334.1
Vertical PGA (cm/s <sup>2</sup> )	32.58	32.21	31.7	56.21	192.2
Condiciones del sitio (NEHRP)	C	C	D	C	D
Condiciones del sitio $V_{s-30}$ (m/s)*	250	—	350	470	250
Distancia $R_{epi}$ (km)†	159	152	159	145	117
Distancia $R_{jb}$ (km)‡	103	96	105	86	0.0
Distancia $R_{rup}$ (km)§	112.6	105	112	98	36.9

Nota: Valores  $V_{s-30}$  de Tavera et al. (2009). † $R_{epi}$  es la distancia al epicentro. ‡ $R_{jb}$  es la distancia Joyner-Boore. § $R_{rup}$  es la distancia más corta a la falla según Abraham y Sheldock (1997): 14

Fuente: Datos de Taucer, Alarcón, y So (2008): 5.

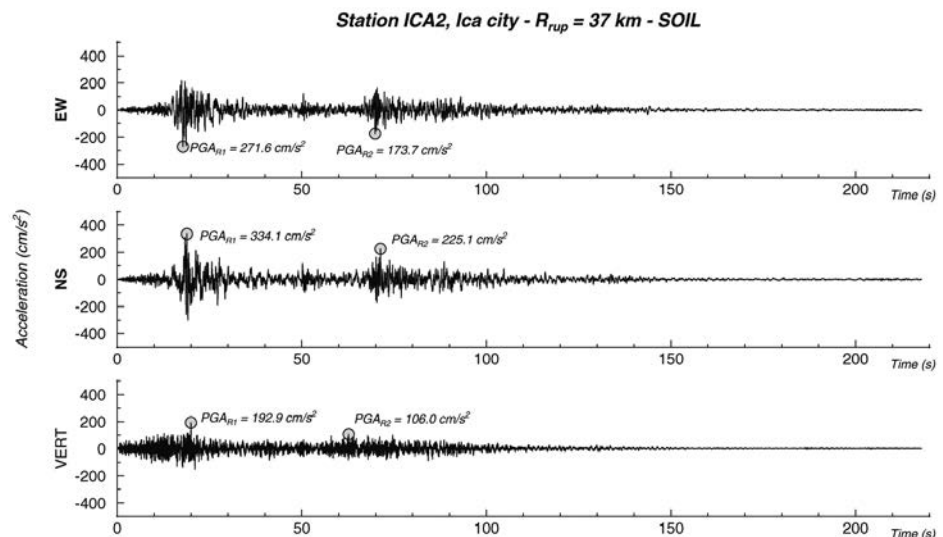
evento sísmico como las condiciones del sitio y la distancia de la estación al epicentro, calculada bajo tres métodos diferentes.

De estos dieciocho acelerómetros, sólo cuatro de la ciudad de Lima y uno de la ciudad de Ica (localizados aproximadamente a 150 km y 110 km del epicentro, respectivamente) fueron puestos a disposición del público, a mediados de noviembre del año 2007 en el portal electrónico del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), organismo de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) (Figura 2.7).

Estos datos sismográficos muestran la duración y amplitud en tiempo real del terremoto, indicando todos que la duración total del terremoto fue de aproximadamente 300 segundos: 160 segundos caracterizados por movimientos de larga amplitud seguidos por movimientos uniformes de 20 a 30 segundos (los más pequeños), y terminando con una secuencia de movimientos de larga amplitud. La duración y distribución de estos movimientos es comprensible debido a la existencia de dos grandes áreas de desplazamientos, lo que generó a su vez dos grandes terremotos, uno seguido del otro.<sup>11</sup>

**FIGURA 2.7**

Datos sismográficos del CISMID en la estación Ica 2.





Estos datos confirmaron que el terremoto de magnitud  $M_w$  7.9 del 15 de agosto del año 2007 tuvo dos aceleraciones fuertes y un deslizamiento sureste de la placa. Estas dos extraordinarias características sismológicas tuvieron un impacto en el desempeño de las estructuras construidas en la región afectada y podrían explicar algunos de los daños reportados en este estudio.

## Descripción geológica de la región afectada

Diferentes instituciones nacionales e internacionales han llevado a cabo estudios para caracterizar geológicamente la zona afectada. En 1998, el CISMID realizó investigaciones detalladas del subsuelo de las ciudades de Pisco y Tambo de Mora.<sup>12</sup> En el 2004, el INDECI en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) desarrolló evaluaciones de riesgo para la mayoría de ciudades de todo el país como parte del programa "ciudades sostenibles". Después del terremoto, el INDECI, el PNUD, y el CISMID en colaboración con el Fondo de Reconstrucción del Sur (FORSUR) y el Banco Mundial, ampliaron sus investigaciones produciendo mapas de riesgos aún más detallados en varias ciudades del sur del Perú.<sup>13</sup> Todos estos estudios proporcionaron valiosa información para ayudar a entender el comportamiento geológico de las zonas afectadas durante el terremoto; los siguientes mapas geológicos (Figuras 2.8-2.17) describen gráficamente las características geológicas del suelo en los sitios visitados.<sup>14</sup>

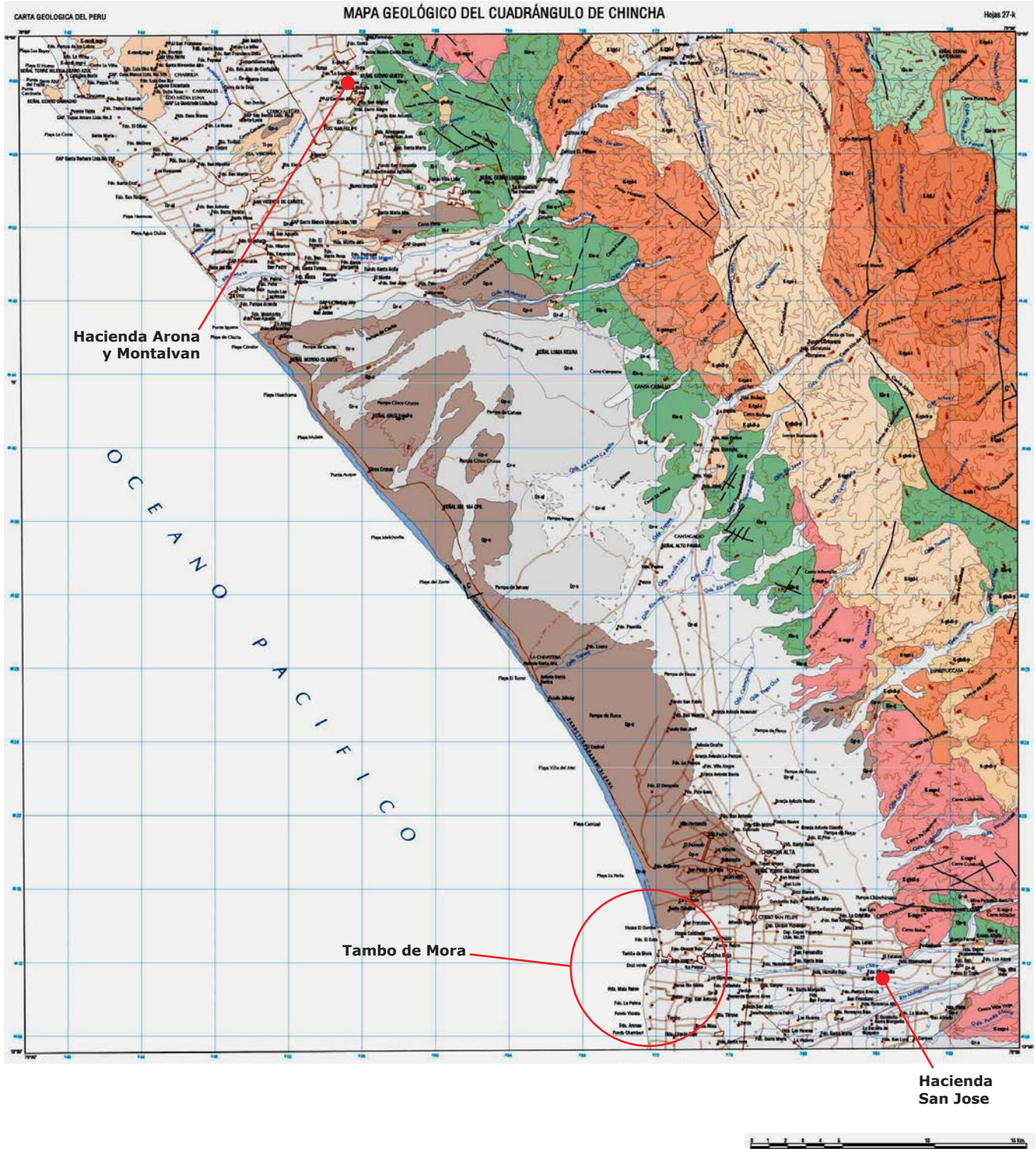
Es importante mencionar que la mayoría de las edificaciones señaladas en estos mapas (Iglesias de Chilca y Coayllo, Hacienda Arona y Montalván, Hacienda San José, Catedrales de Ica y Pisco, así como las Iglesias San Javier de Ingenio y San José) están localizadas sobre depósitos aluviales de la era cuaternaria. Estos depósitos están compuestos por la cementación de material aluvial (del latín *alluvius*, de *alluere* o lavado) disperso, inconsistente, erosionado, modificado y depositado por el agua en un sitio no-marino. El aluvion está compuesto por una serie de materiales, incluyendo finas partículas de arcilla y limo, y partículas gruesas de arena y grava. Este tipo de suelo no es particularmente adecuado para soportar edificaciones; es más, INDECI registró licuefacciones en este tipo de suelo en Pisco e Ica durante los terremotos de 1716 y 1813, respectivamente.

Tambo de Mora fue una de las ciudades más afectadas en Chíncha durante el terremoto del 15 de agosto del 2007. Como se observa en las Figuras 2.9 al 2.11, esta ciudad se asienta sobre un depósito aluvial marino (de sur a norte) al lado de la Formación Pleistocénica Cañete, la cual consiste en capas alternadas de arenas y limos. El nivel freático en esta zona se encuentra ubicado muy cerca a la superficie e incluso puede ser observado en algunos lugares a lo largo de la ciudad.<sup>15</sup> La geología de Tambo de Mora fue probablemente la causa de la licuefacción de su suelo, como este informe lo describe más adelante (p. 21).

La geología de Pisco se puede dividir en dos formaciones geológicas principales.<sup>16</sup> La primera es la "Formación Pisco" que se describe como una secuencia litológica de color blanco compuesta de tierra de diatomita con capas intercaladas de toba arenosa y calcárea. La segunda es un depósito aluvial que se origina en la época cuaternaria compuesto de un conglomerado grueso mezclado con arena, limos y arcilla; transportado y depositado al borde de los ríos. En Pisco, las zonas consideradas de alto riesgo (marcadas en rojo en la Figura 2.12) son una combinación de ambas formaciones geológicas y no deben ser consideradas



**FIGURA 2.8**  
Mapa geológico de las ciudades de Cañete y Mala. Las Iglesias de Chilca y Coayllo están localizadas sobre depósitos aluviales de la era cuaternaria (en gris).



**FIGURA 2.9**  
 Mapa geológico de las ciudades de Cañete y Chincha. La Hacienda Arona y Montalván y la Hacienda San José están localizadas sobre depósitos aluviales de la era cuaternaria (en gris). La Formación Cañete (también en gris) es donde se presentaron la mayor cantidad de deslizamientos. La ciudad de Tambo de Mora se encuentra sobre depósitos marinos.

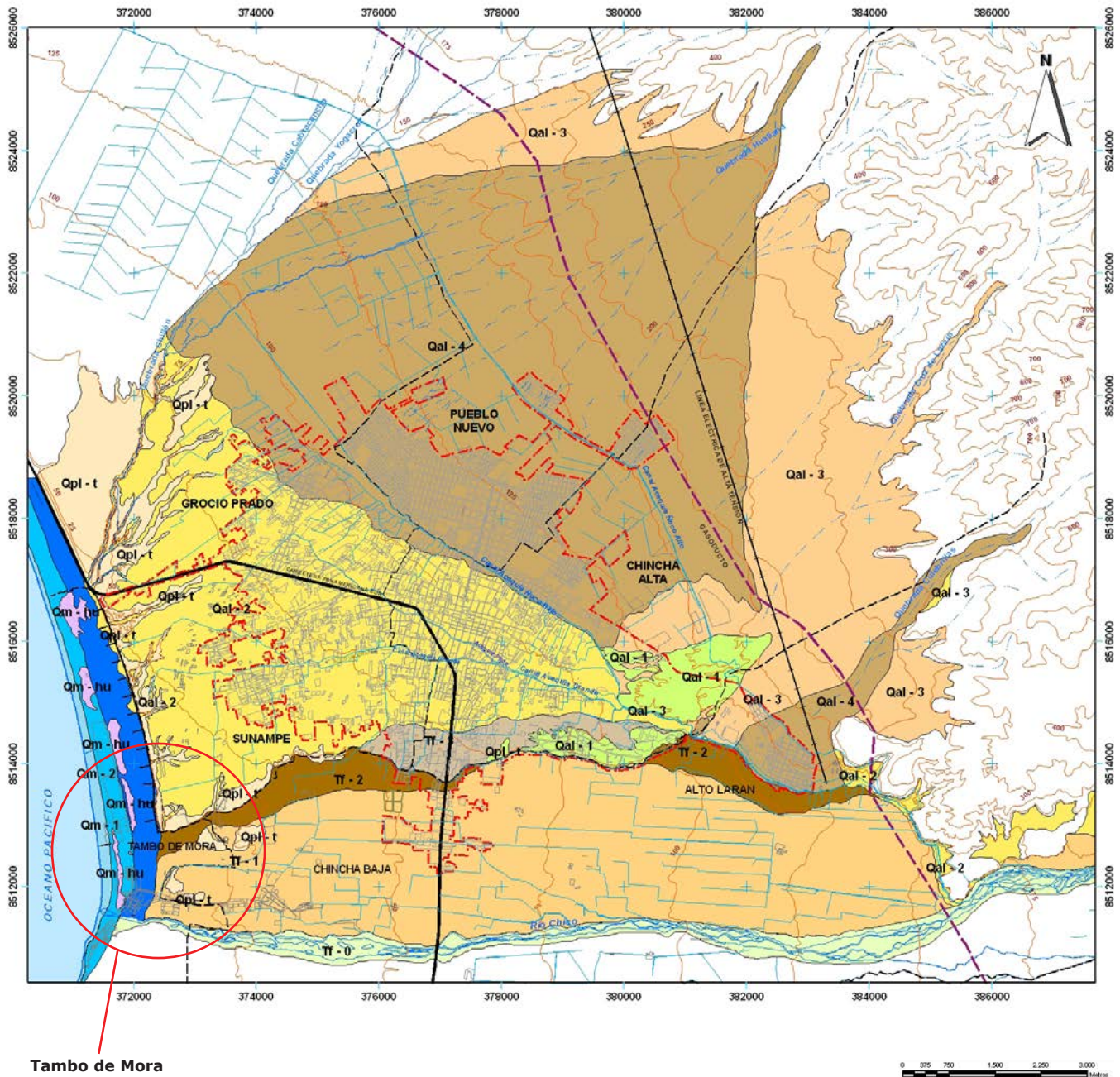


FIGURA 2.10

Mapa geológico de la ciudad de Chincha. Las zonas marcadas en color rosado están continuamente saturadas por agua subterránea; los depósitos marinos se indican en color azul. El área de color marrón, cerca de los valles y a lo largo de todo el río es considerada tierra agrícola.

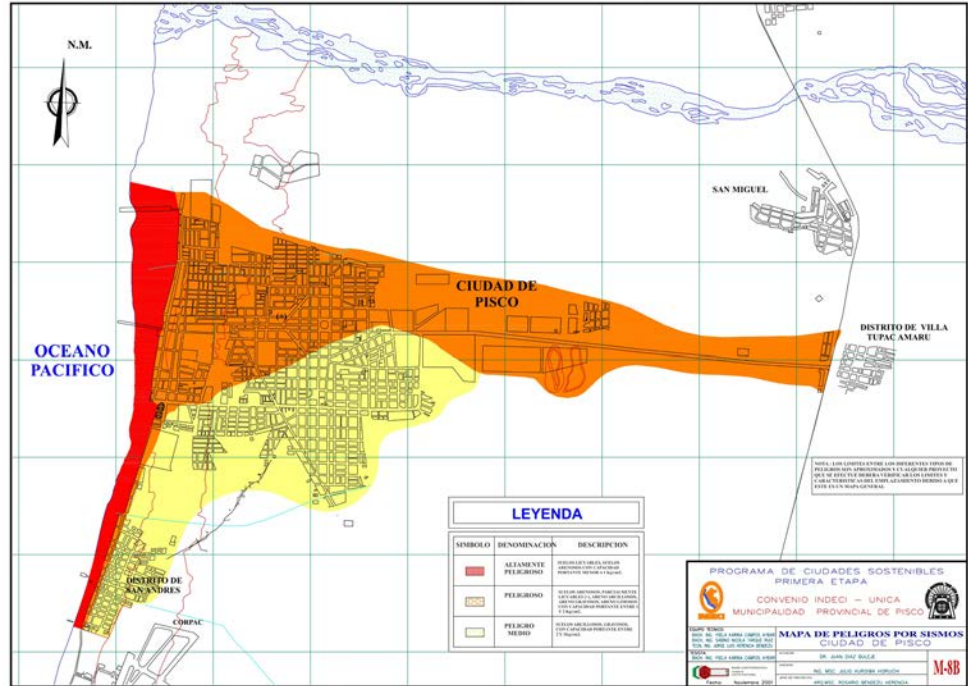


**FIGURA 2.11**

Mapa de riesgos de la ciudad de Chíncha. Las zonas marcadas en rojo y naranja son consideradas de alto riesgo debido a los terremotos, inundaciones y deslizamientos; condiciones agravadas por la presencia de lluvias y erosión fluvial del suelo. La ciudad de Tambo de Mora (en el círculo rojo), que fue gravemente afectada por el terremoto, está situada casi por encima del epicentro del terremoto.

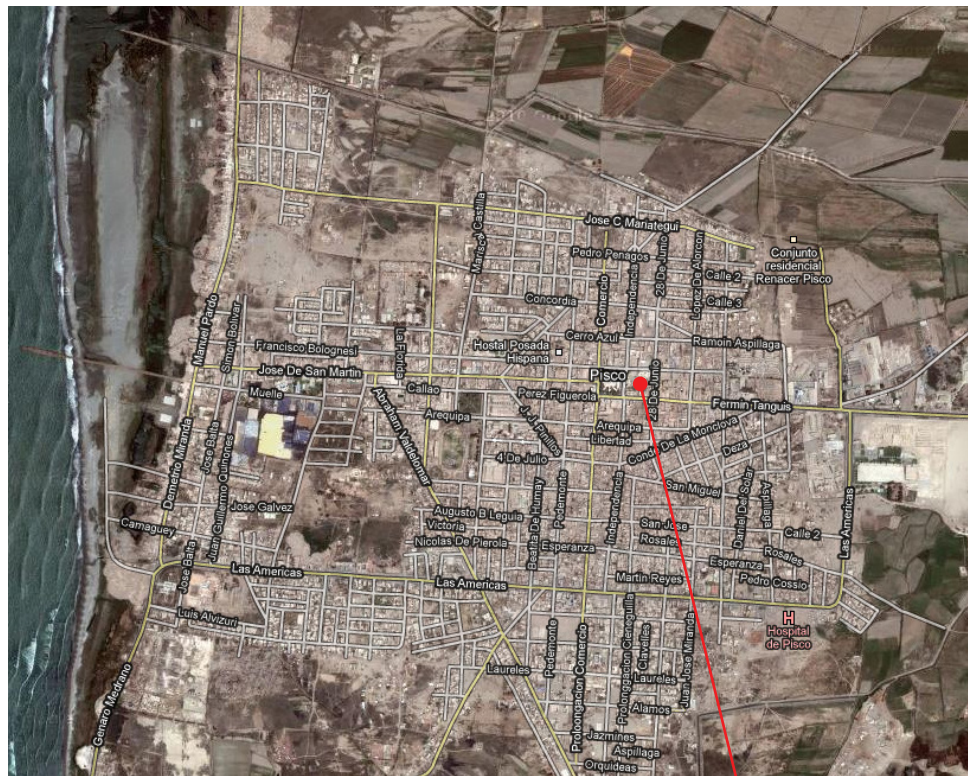
**FIGURA 2.12**

Mapa de riesgos de la ciudad de Pisco. Las zonas marcadas en rojo y naranja son consideradas de alto riesgo sísmico debido a la naturaleza arenosa del suelo. El epicentro de la réplica más fuerte se ubicó casi al nivel de la Ciudad de Pisco.

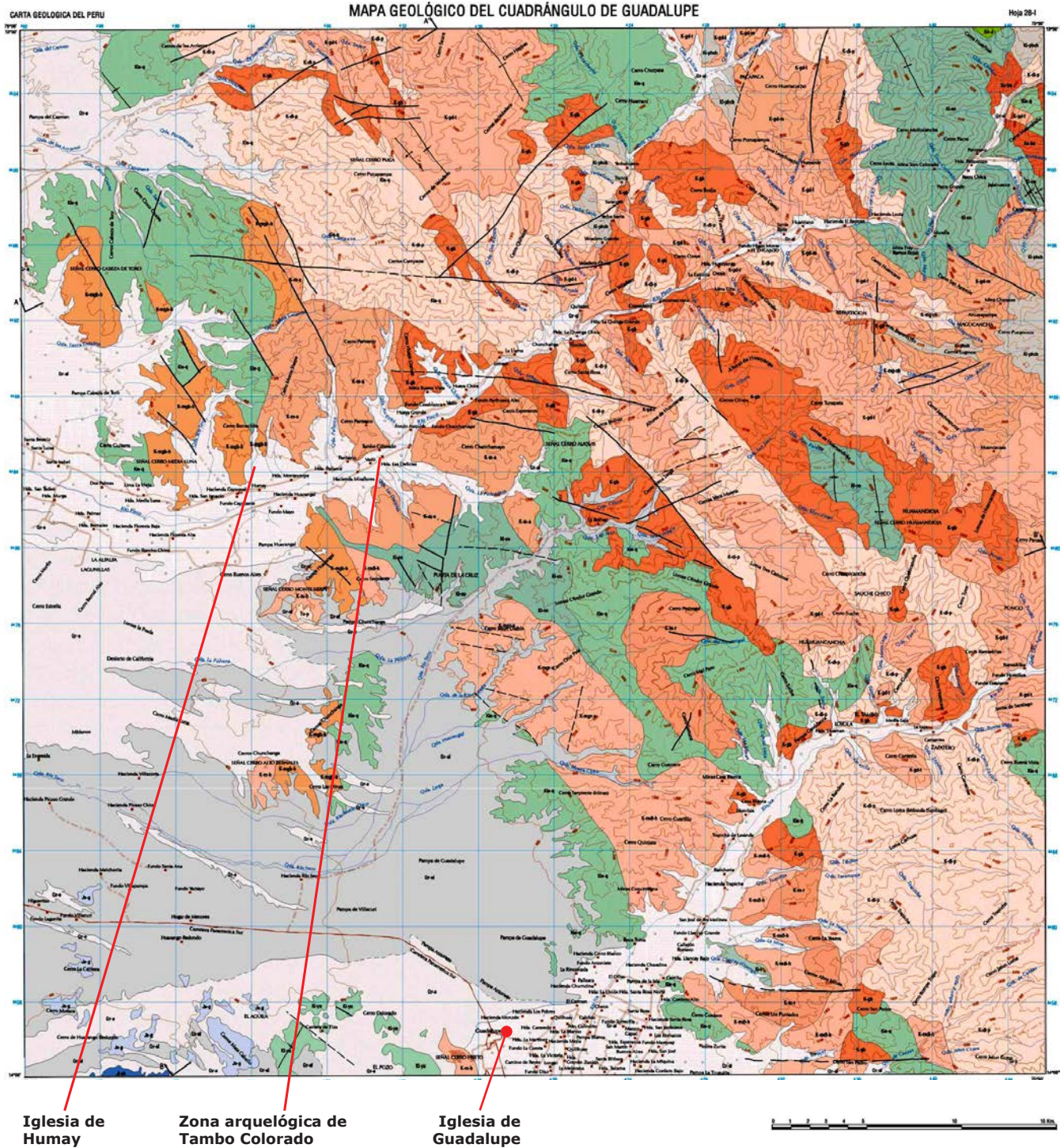


**FIGURA 2.13**

Imagen de satélite de la ciudad de Pisco. La plaza central de Pisco se indica con un círculo rojo. © 2011 Google-Imagery; © 2011 DigitalGlobe, Cnes/Spot Image, GeoEye.



Plaza central



**FIGURA 2.14**

Mapa geológico que muestra las ciudades de Humay, Guadalupe, y la zona arqueológica inca de Tambo Colorado. La Iglesia de Humay y la de Guadalupe están localizadas sobre depósitos aluviales de la era cuaternaria (en gris). El complejo arqueológico de Tambo Colorado fue construido sobre una formación rocosa (en naranja).

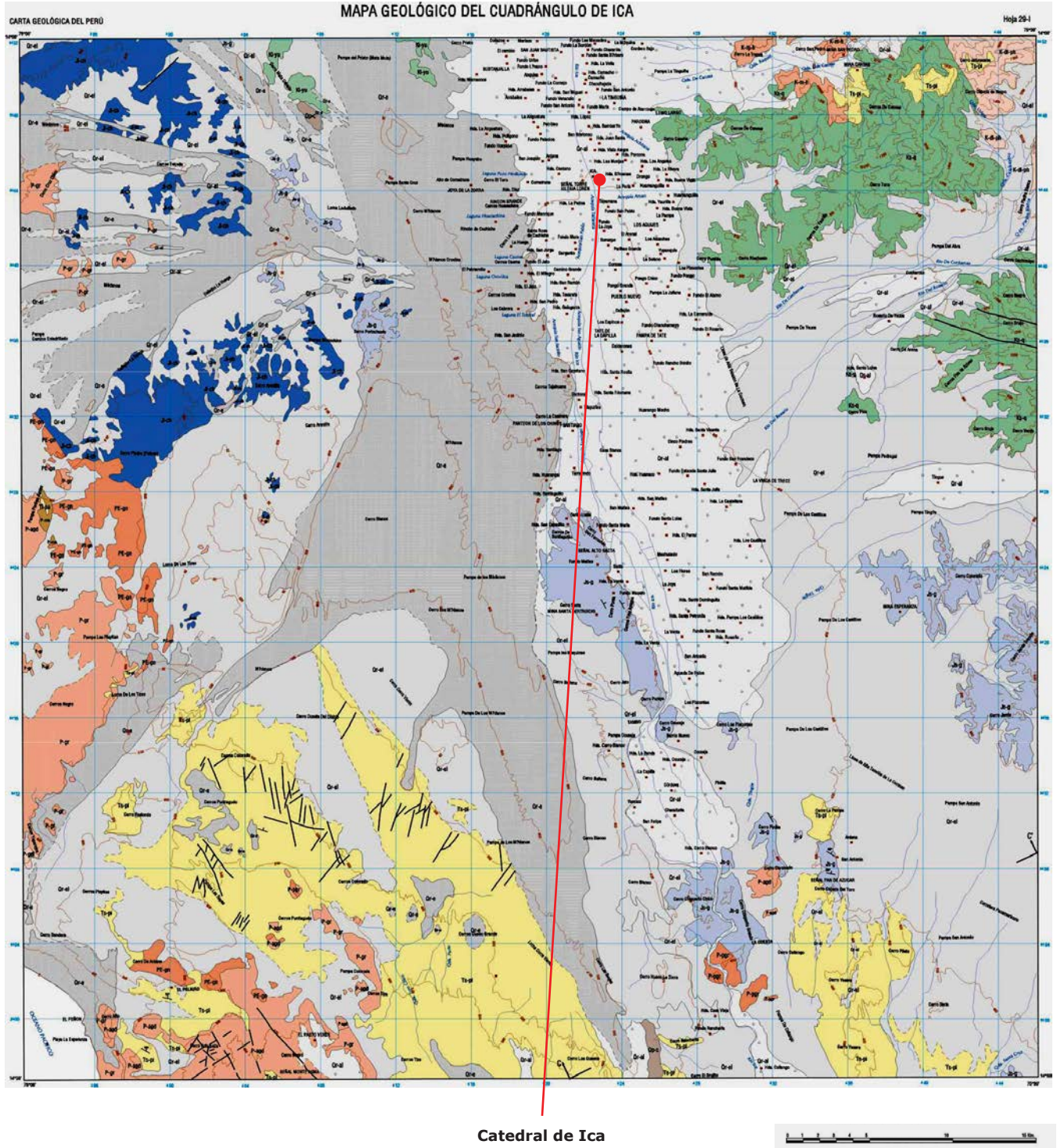
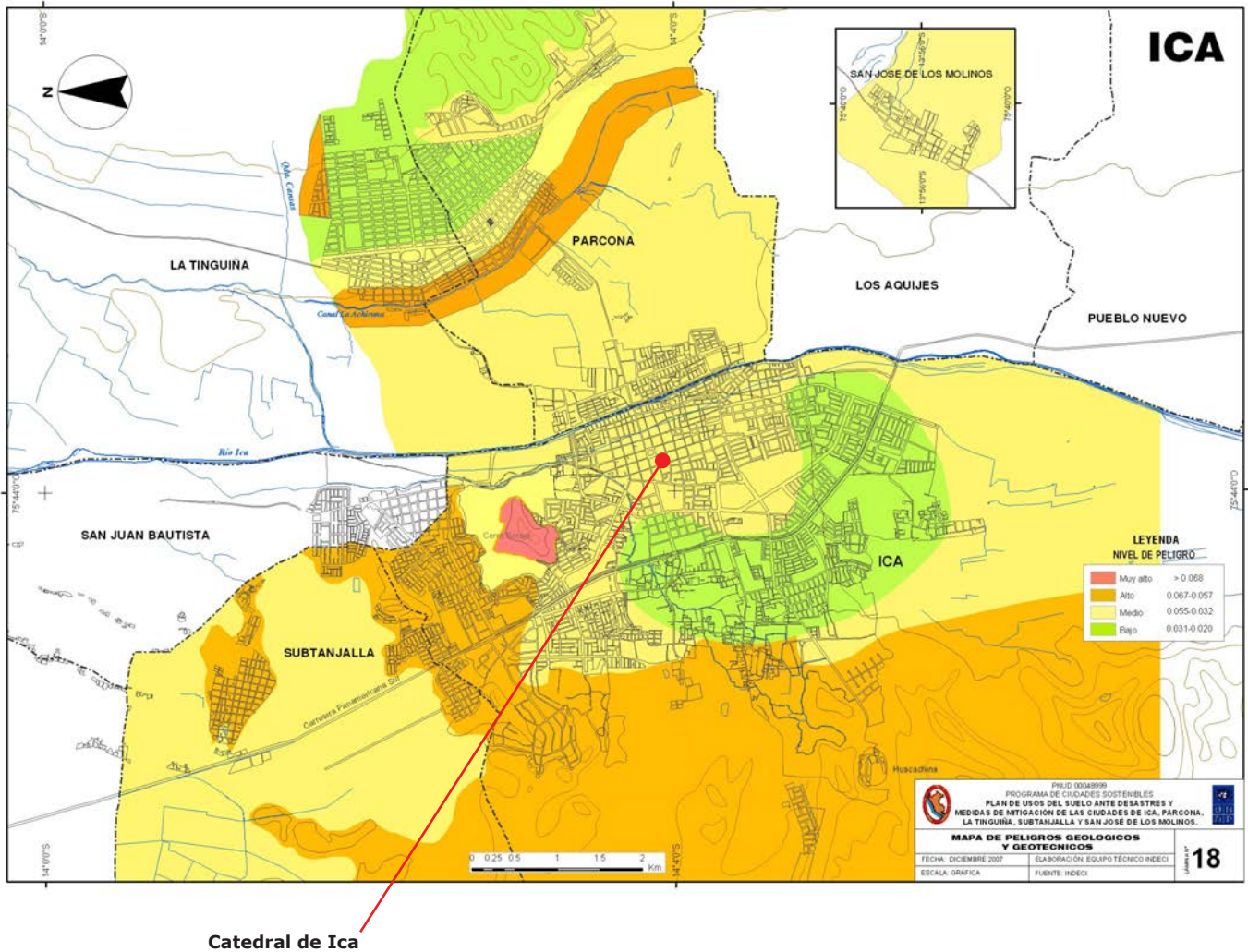


FIGURA 2.15

Mapa geológico de la ciudad de Ica. La Catedral está localizada sobre depósitos fluviales de la era cuaternaria (en gris).





**FIGURA 2.16**  
Mapa de riesgos de la ciudad de Ica. La Catedral de Ica está localizada dentro del contexto urbano, el cual se asienta sobre un área considerada de riesgo sísmico mediano.

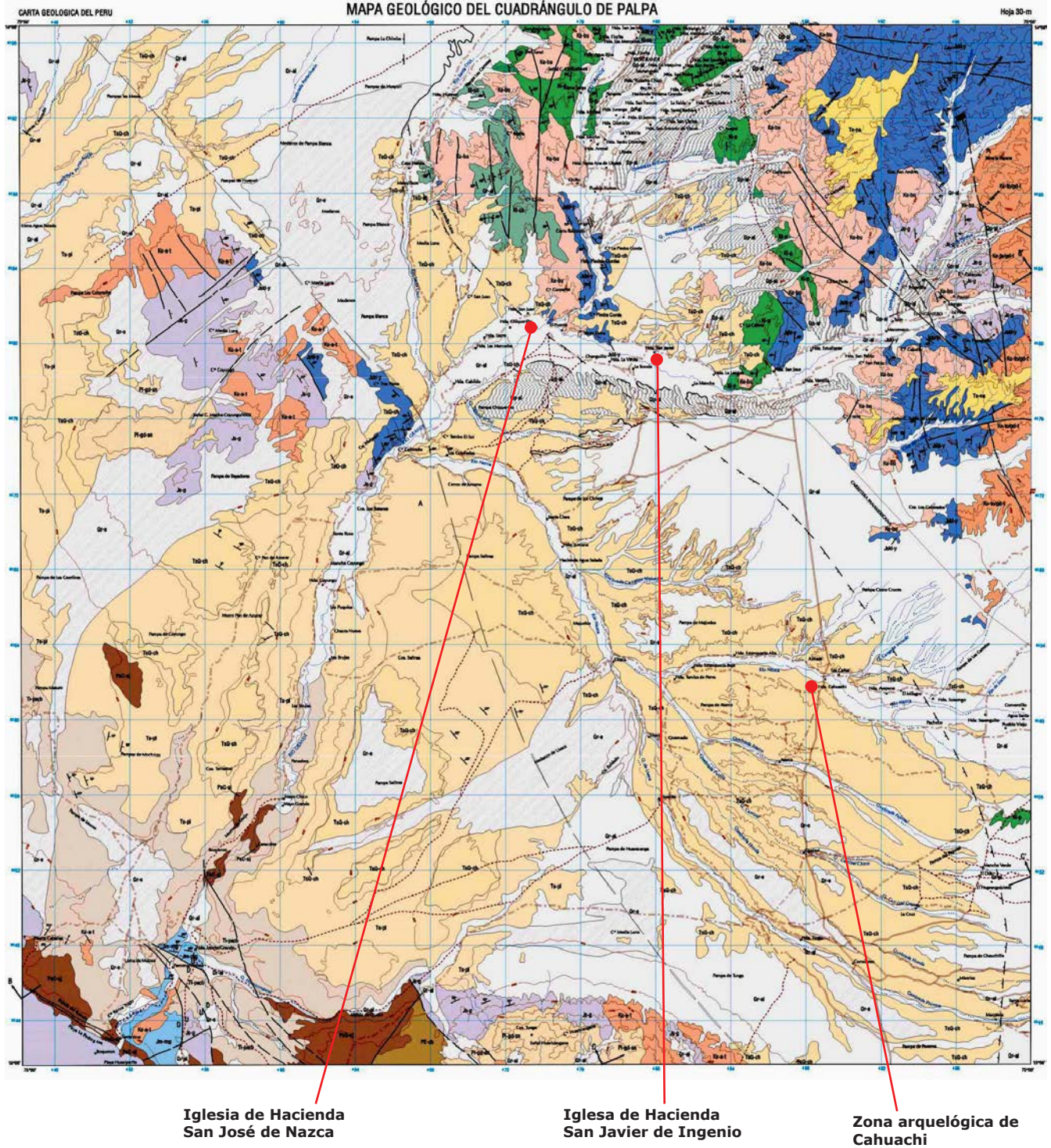


FIGURA 2.17

Mapa geológico de la ciudad de Nazca. Las Iglesias de San Javier Ingenio, San José y el complejo arqueológico Inca de Cahuachi están localizadas sobre depósitos aluviales de la era cuaternaria (en gris).

adecuadas para construir sobre ellas ningún tipo de edificación, a no ser que incluyan cimentaciones reforzadas que requieren un diseño especializado y son por lo general costosas. Estas zonas presentan amplificaciones de ondas sísmicas altas (mayor a tres veces la aceleración a nivel de cimientos  $T_p > 1,40$ ), una capacidad de carga entre 0.50-0.75 kg/cm<sup>2</sup> y nivel freático situado a 1.0-1.8 m por debajo de la superficie. Según el INDECI, en el centro de la ciudad, una capa de arena arcillosa de 1.2 de espesor se sobrepone a una capa de arena fina limosa de 2.0-4.25 m. para luego dar paso a una capa de gravas de baja resistencia.

### Efectos del terremoto en la región afectada

Una serie de informes post-terremoto escritos por ingenieros sísmicos y citados en la bibliografía del presente reporte, describen efectos geotécnicos que pueden ser explicados por la estructura geológica de la región. Los efectos más importantes registrados durante el sismo y que vale la pena describir más en detalle, son los efectos de licuefacción y deslizamientos de tierra, que se incluyen en este informe para ofrecer una perspectiva más amplia sobre la magnitud de los sismos en los edificios históricos contemporáneos.

#### Licuefacción

La licuefacción es el proceso por el cual el suelo no consolidado o de arena saturada por agua se convierte en material en suspensión durante un terremoto. El pueblo de Tambo de Mora, debido a su localización por encima de depósitos marinos y arena, se vio gravemente afectado por la licuefacción del suelo. Esto quedó registrado en varios informes donde se observó arena licuada dentro de las casas y a los lados de las calles;<sup>17</sup> los mismos informes detallan que la mayoría de los edificios afectados por la licuefacción del suelo fueron edificios de albañilería confinada de 1 ó 2 pisos que se asentaron de 0.2 a 1.0 m respecto al nivel de la calle (Figura 2.18). Según éstos informes, los ciudadanos de Tambo de Mora, aseguraron que esta ciudad había experimentado licuefacción durante los terremotos de 1970 y 1974, pero ninguna acción preventiva fue tomada en aquel momento.



**FIGURA 2.18**  
Licuefacción de un sitio en Tambo de Mora.  
Imagen: Cortesía de Jorge Alva Hurtado.



**FIGURA 2.19**  
Efecto de deslizamiento de tierra en la carretera Panamericana.

### Deslizamientos de tierra

Los deslizamientos de tierra se registraron a lo largo de la carretera Panamericana, que se extiende desde Alaska hasta Chile, cruzando la costa del Perú de norte a sur.<sup>18</sup> Cuando el equipo de GCI visitó la zona, la carretera Panamericana ya había sido reparada; sin embargo, de acuerdo con la información registrada, la zona más afectada por deslizamientos de tierra fue el tramo comprendido entre Tambo de Mora y Pisco (Figura 2.19).

### Notas

- 1 La escala de magnitud de momento (abreviada como MMS, anotadas como  $M_w$ , donde  $w$  indica el trabajo realizado) es usado por los sismólogos para medir la magnitud de los terremotos en términos de la energía liberada. La magnitud se basa en el momento (también llamada fuerza de torsión) del terremoto, que es igual a la rigidez de la tierra multiplicada por la medida promedio del deslizamiento en la falla y el tamaño del área que se deslizó. El MMS es ahora la escala más utilizada por las instituciones sismológicas para estimar la magnitud de terremotos de gran envergadura. La escala de MMS se creó en la década de 1970 para reemplazar a la escala de Richter ( $M_L$ ) desarrollada en década de 1930. A pesar de que las fórmulas son diferentes, la nueva escala mantiene los valores de magnitud definida por la primera.
- 2 Office of the Resident Coordinator, *Situation report No. 21, Earthquake in Peru*, 1.
- 3 Taucer, Alarcon, y So, *2007 August 15 magnitude 7.9 earthquake near the central coast of central Perú*, 2.
- 4 El Fondo Central de Respuesta para Emergencias (Central Emergency Response Fund, CERF por sus siglas en inglés) es un mecanismo de financiación humanitaria establecido por las Naciones Unidas para permitir una asistencia oportuna y confiable a las víctimas de desastres naturales y conflictos armados. Fue aprobado por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 15 de diciembre de 2005 e inaugurado en marzo de 2006.
- 5 United States Geological Survey (USGS), *Magnitude 8.0—Near the coast of central Peru*, Earthquake Summary.
- 6 La escala de Richter, también conocida como la de magnitud local ( $M_L$ ), asigna un número único estandarizado para cuantificar la cantidad de energía sísmica liberada por un terremoto. Debido al hecho que la  $M_L$  es obtenida por mediciones tomadas por un solo sismógrafo de banda limitada, los valores de la misma se saturan cuando el terremoto es mayor a 6.8. Para superar esta deficiencia, Gutenberg y Richter, desarrollaron una escala de magnitud basada en las ondas de superficie ( $M_S$ ) y otra basada en las ondas de volumen ( $M_B$ ). Lamentablemente,  $M_S$  y  $M_B$  también pueden saturarse cuando el terremoto es de gran envergadura.
- 7 Taucer, Alarcon, y So, *2007 August 15 earthquake*, 2.
- 8 Tavera et al., “Ground motions observed during the 15 August 2007 Pisco, Peru, earthquake.”
- 9 D.J. Wald et al., “TriNet ShakeMaps: Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in southern California.”
- 10 Ji y Chen, “Preliminary results of the August 15, 2007  $M_w$  8.0 coast of central Peru earthquake.” USGS utiliza el sistema de ondas de banda ancha telesísmicos obtenidos por el centro de datos del National Earthquake Information Center. Los ciclos de onda se convierten primero en desplazamientos mediante la eliminación de la respuesta del instrumento y luego se usan para limitar la historia de deslizamiento basado en un algoritmo finito de falla inversa.
- 11 Ibid; Tavera et al., “Ground motions,” 83.

- 12 Lermo et al., “El terremoto del 15 de agosto de 2007 ( $M_w+7.9$ ), Pisco, Peru. Mapas de clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico para las ciudades de Pisco, Ica y Lima-Callao,” 233–68.
- 13 Kuroiwa y Peña, *Manual para el desarrollo de ciudades sostenibles*, 78; y Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) et al. “Informe final del estudio de microzonificación sísmica y zonificación de peligro de tsunami en las ciudades de Chincha Baja y Tambo de Mora,” 88-91.
- 14 Los mapas geológicos pueden ser vistos en el portal electrónico del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú, en <http://www.ingemmet.gob.pe>.
- 15 Kuroiwa y Peña, *Manual para el desarrollo de ciudades sostenibles*, 78.
- 16 Lermo, et al., “El terremoto del 15 de agosto de 2007 ( $M_w+7.9$ ), Pisco, Peru. Mapas de clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico para las ciudades de Pisco, Ica y Lima-Callao.”
- 17 Taucer, Alarcon, y So, *2007 August 15 earthquake*, 15.
- 18 *Ibid.*, 16–18.

### CAPÍTULO 3

## Patrimonio arquitectónico de tierra en el Perú

*No miremos el pasado por chauvinismo o vanidad nacional: busquemos su enseñanza.*

*—Fernando Belaúnde Terry, Arquitecto y expresidente del Perú  
(1965–1968 y 1980–1985)*

---

La construcción con tierra ha sido probablemente utilizada por más de cuatro mil años en el Perú; existen numerosos estudios y publicaciones sobre la historia de la cultura peruana realizados por importantes escritores, historiadores y/o arqueólogos como Garcilazo de la Vega, Felipe Guamán Poma de Ayala, Julio C. Tello, Luis E. Valcárcel, María Rostworowski de Diez Canseco, Duccio Bonavia, Roger Ravines y Luis Lumbreras, entre otros. Aunque el hallazgo de notables descubrimientos y el análisis de la evolución del cultura peruana han servido de mucho para entender su desarrollo y el de su entorno construido, hay pocas publicaciones que traten específicamente de la historia de la arquitectura y la construcción en el Perú.<sup>1</sup> Esta sección no pretende llenar este vacío, pero sí destacar los acontecimientos históricos que influyeron en la evolución de la arquitectura de tierra en el Perú, especialmente en relación a la mejora de su capacidad para resistir terremotos a lo largo de la historia.

### Las culturas antiguas del Perú (antes del año 1535)

Una de las mejores recopilaciones de la historia de la arquitectura y el urbanismo del Perú antes de la llegada de los españoles fue escrita por Carlos Williams en 1981.<sup>2</sup> Williams menciona la falta de material publicado sobre la historia de la arquitectura y el urbanismo antiguo no sólo en el Perú, sino en todo el continente americano.<sup>3</sup> La contribución más importante de Williams es el análisis que realiza sobre el valor cultural de los edificios pre-hispánicos, describiendo cada período e identificando las categorías de los edificios más importantes de acuerdo a su función, su composición estructural y material, y su importancia cultural. Como información relevante a este informe, hemos considerado importante hacer un resumen de los puntos que Williams enfatiza con referencia a la evolución de la arquitectura de tierra en el Perú antiguo.

Hay una clara evolución de construcciones piramidales entre los años 2,000 a.C. y 500 d.C. en el centro del Perú, la mayoría de las cuales fueron construidas con tierra.<sup>4</sup> Sus formas piramidales, que según arqueólogos peruanos simulaban montañas, han sido consideradas sismorresistentes (Figuras 3.1. y 3.2); e incluso, los materiales utilizados para su construcción (piedra rocosa de base o cimiento, adobes en el exterior, y relleno de tierra y piedra en el interior) parecen haber sido elegidos para disipar energía y resistir terremotos de gran envergadura.<sup>5</sup>

**FIGURA 3.1 (IZQUIERDA)**

Vista de la Huaca Pucllana, una de las construcciones de tierra piramidales tempranas en Lima, fotografiada en el año 2007.

**FIGURA 3.2 (DERECHA)**

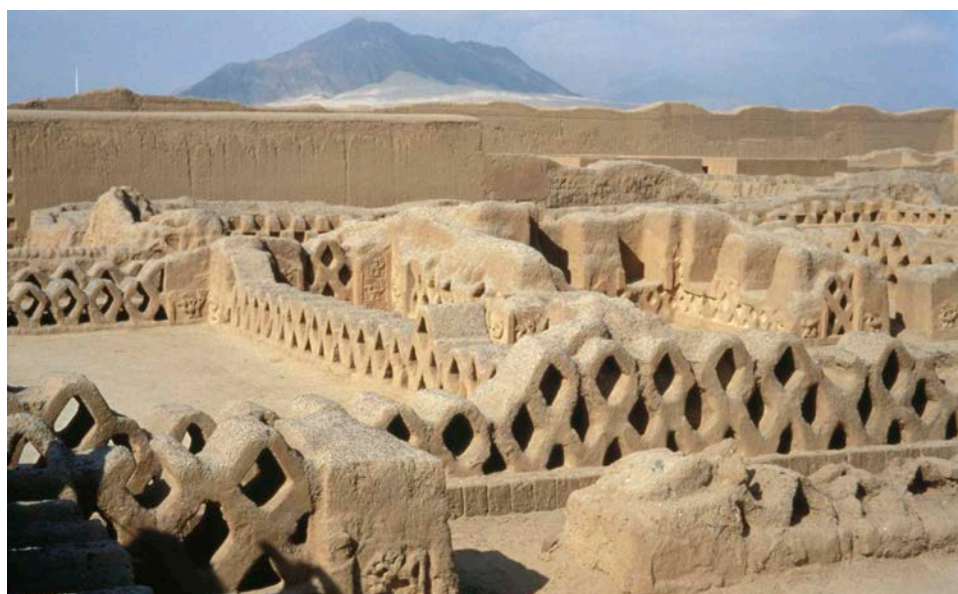
Vista de la Huaca Arco Iris en el año 1999, Trujillo, Perú.

Ejemplos notables de lo complejo de las técnicas constructivas utilizadas en la antigüedad son las Huacas del Sol y de la Luna, construidas durante el período Moche (100-800 d.C.) en las afueras de la ciudad de Trujillo, al norte del Perú. Hastings, Mansfield y Moseley estimaron que 143 millones de bloques de adobe fueron utilizados sólo para construir la primera pirámide.<sup>6</sup> Esta complejidad en la construcción con tierra de la cultura Moche no se limita a edificios ceremoniales, también se aplica a las viviendas residenciales, donde el uso de cimientos de piedra en combinación con muros de adobe y quincha con vanos pequeños, y los sistemas de techado flexible, fueron prácticas comunes.<sup>7</sup>

Sin embargo, es la cultura Wari (500-900 d.C.) la que desarrolla las más sofisticadas técnicas de construcción en piedra y tierra en el Perú antes de la llegada de los Incas y la conquista española. Los Waris desarrollaron sistemas de cúpulas y bóvedas usando materiales localmente asequibles, incluyendo detalles constructivos sismorresistentes de madera para amarrar muros en las esquinas; utilizados por primera vez en el sitio Wiracochapampa, en Huamachuco.<sup>8</sup> Los conocimientos adquiridos por los Waris y Moches, fueron también utilizados por los Chimúes, cultura desarrollada en la parte norte del país; la inmensa ciudad de tierra de Chan Chan fue construida por los Chimúes alrededor del 850 d.C. y creció en extensión hasta su conquista por el Imperio Inca en 1470 d.C. (Figura 3.3). La

**FIGURA 3.3**

Vista del Palacio Tschudi, complejo arqueológico Chan-Chan, en el año 1999.





**FIGURA 3.4**  
Muro piramidal, Palacio Tschudi,  
complejo arqueológico Chan-  
Chan, fotografiado en el año  
1999.

ciudad se compone de nueve ciudadelas amuralladas que contienen salas de recepción, cámaras mortuorias, templos, depósitos, y algunas edificaciones residenciales. Los muros interiores de las ciudadelas fueron construidos con adobe y luego cubiertos con una superficie lisa con diseños tallados en alto y bajo relieve de exquisita complejidad. Sin embargo, el diseño sismorresistente más notable de aquella época es la forma piramidal de la sección transversal de las murallas (Figura 3.4); esto permitió el balanceo de los muros durante los terremotos, manteniéndolos estables debido a su propio peso y a su bajo centro de gravedad.

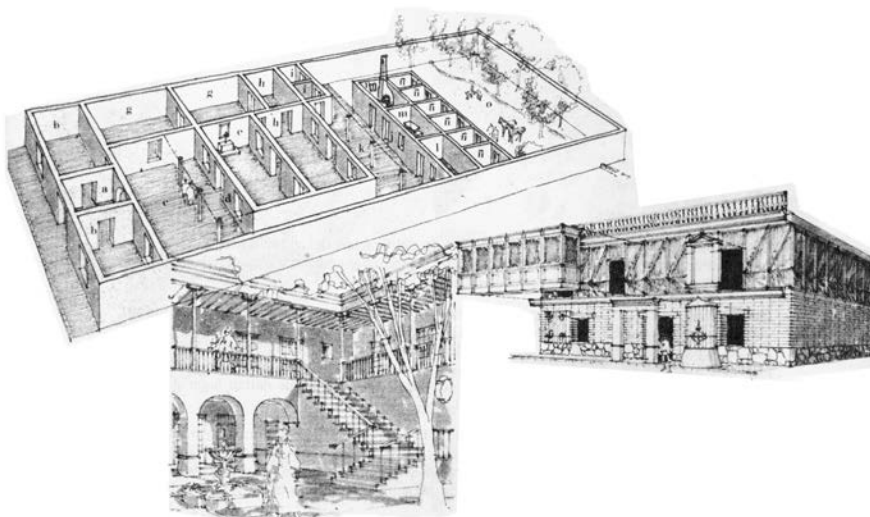
Williams no menciona la evolución de la construcción en tierra durante la época Inca porque concentra la mayor parte de sus estudios en el tallado de la piedra durante éste período. Sin embargo, hace hincapié en la necesidad de estudiar más a fondo los métodos de construcción con tierra en un intento de recuperar técnicas constructivas que son consideradas extremadamente eficientes y adecuadas.<sup>9</sup> Santiago Agurto Calvo proporciona mayor información sobre la evolución de la arquitectura de tierra antigua, pero limitada a la región de Lima.<sup>10</sup>

### El Virreinato del Perú (1535-1821)

Probablemente la publicación más antigua que cita al adobe como material primordial para la construcción de las casas coloniales en Lima, proviene del Padre Bernabé Cobo, que publicó su *Historia de la Fundación de Lima* en 1629.<sup>11</sup> En 1748, Juan y Ulloa mencionan por primera vez el uso de la quincha para la construcción de edificios residenciales en Lima conocidos como casonas (Figura 3.5).<sup>12</sup> Sin embargo, es importante mencionar que el uso de materiales de tierra no se limitó a las construcciones vernáculas. Un ejemplo de arquitectura monumental fue la construcción de las Murallas de Lima que fueron edificadas por el Virrey D. Melchor de Navarra y Rocafull, Duque de la Palata, alrededor de 1684; y fueron construidas con muros de adobe de 5 a 6 m de altura por 5 m de ancho que protegieron la ciudad de Lima por casi 200 años (Figuras 3.6-3.8).<sup>13</sup> Estas fueron demolidas como parte de un proyecto de renovación urbana ejecutado durante el gobierno del presidente José Balta en 1871, dejando sólo uno de los bastiones originales, hasta el día de hoy en pie.

En el Perú, la quincha es un sistema constructivo tradicional que consiste en paneles de madera con caña y barro que crean un marco sismorresistente; la palabra

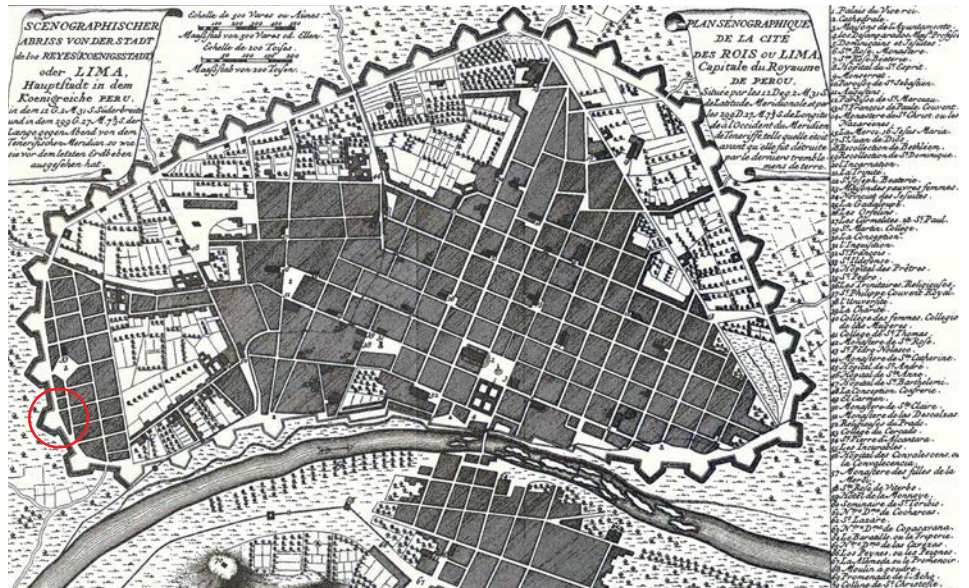
**FIGURA 3.5**  
Dibujo de una típica casona de  
Lima. El primer piso es de adobe  
y el segundo piso de quincha.





**FIGURA 3.6**

Mapa histórico de la ciudad de Lima y sus murallas en el año 1752 por Jacobo Nicolás Bellín. Se indica con un círculo rojo, como en la imagen de satélite (3.8), la ubicación de los restos de la muralla hasta hoy existentes.

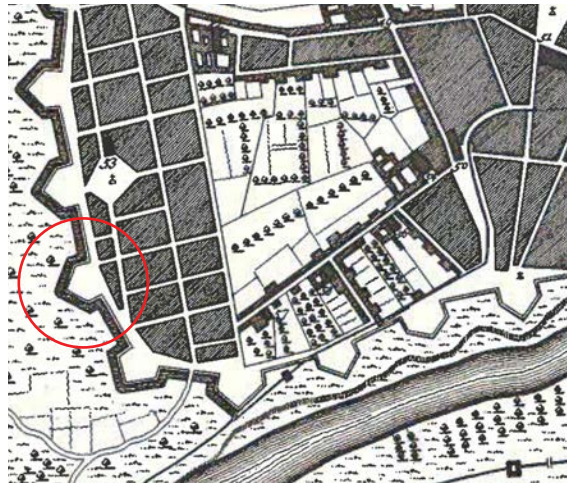
**FIGURA 3.7 (IZQUIERDA)**

Detalle del mapa del año 1752 que muestra la ubicación de los restos de la muralla hasta hoy existentes (en el círculo rojo).

**FIGURA 3.8 (DERECHA)**

Imagen de satélite de Lima de los restos de la muralla hasta hoy existentes (en el círculo rojo).

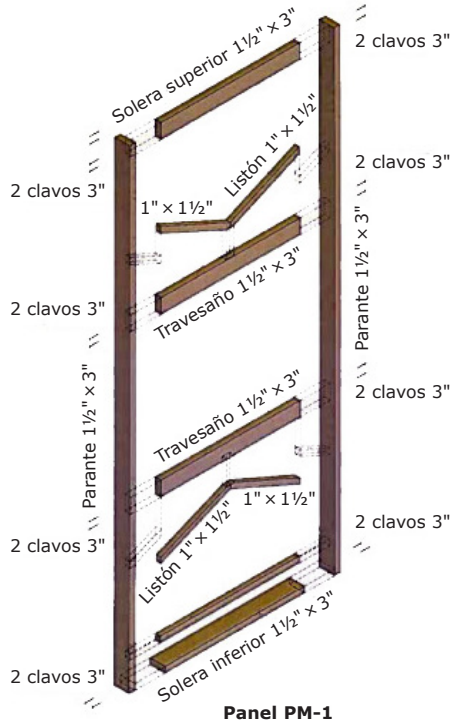
© 2011 GeoEye, Google.



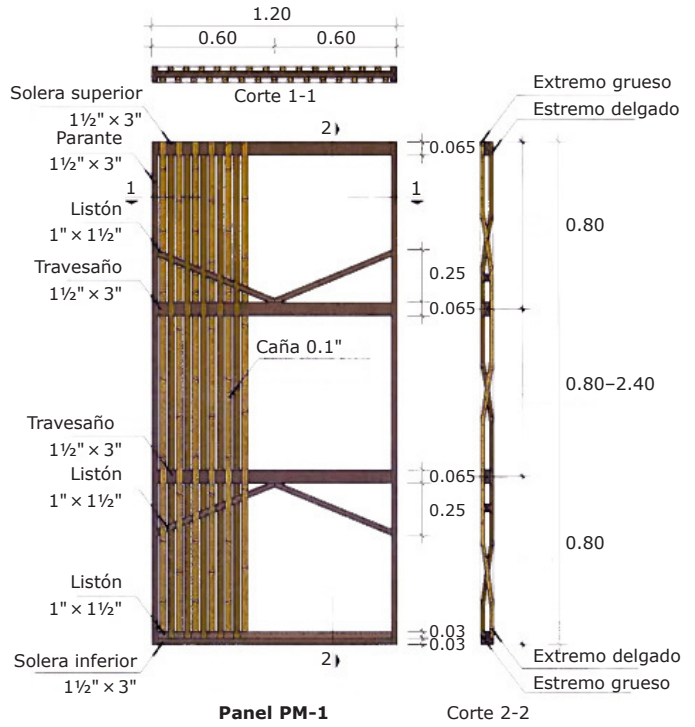
"quincha", término español bastante conocido en Latino América, viene del vocablo quechua *qincha* (kincha en Kichwa), que significa cerco, muro, cerramiento o corral.<sup>14</sup>

Históricamente, este tipo de construcción era usada en todas las colonias españolas y portuguesas del continente americano, pero técnicas similares han sido utilizadas en otras regiones por más de seis mil años.<sup>15</sup> En el caso de la quincha, el tejido hecho de caña aplanada (de ahí el nombre de chancada) es entretejido y atado con tiento de cuero a los elementos del marco, que es cubierto con mortero de tierra y en algunos casos revestido con una capa de cal o tierra fina como superficie decorada. El resultado final es un panel estandarizado que puede ser repetido y usado como particiones en diferentes tipos de construcción (Figuras 3.9 y 3.10).

La ligereza del panel de quincha y su comportamiento durante un terremoto permitió que los peruanos no sólo la usaran para la construcción de los pisos superiores, sino también en la construcción de complejos sistemas de techado de cúpulas, pilares, linternas y bóvedas. Nuevos elementos como cerchas y vigas soleras, conectadas por caña, formaron bóvedas, cúpulas o techos planos (Figura 3.11). El arquitecto Ferruccio Marussi Castellán ha estudiado extensivamente la

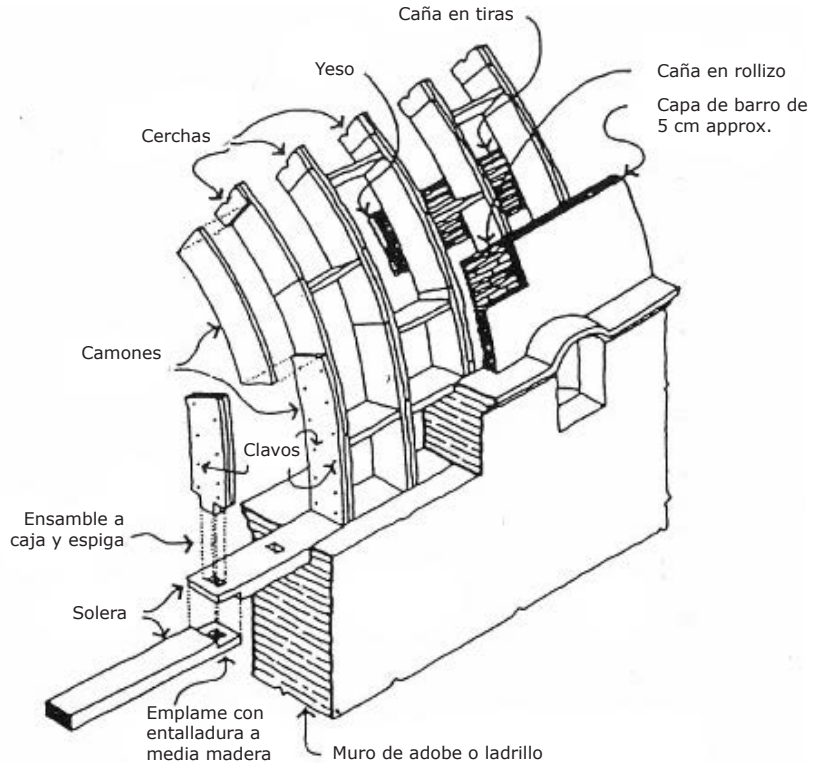


**FIGURA 3.9**  
Axonometría de los diferentes elementos del panel de quinchá.



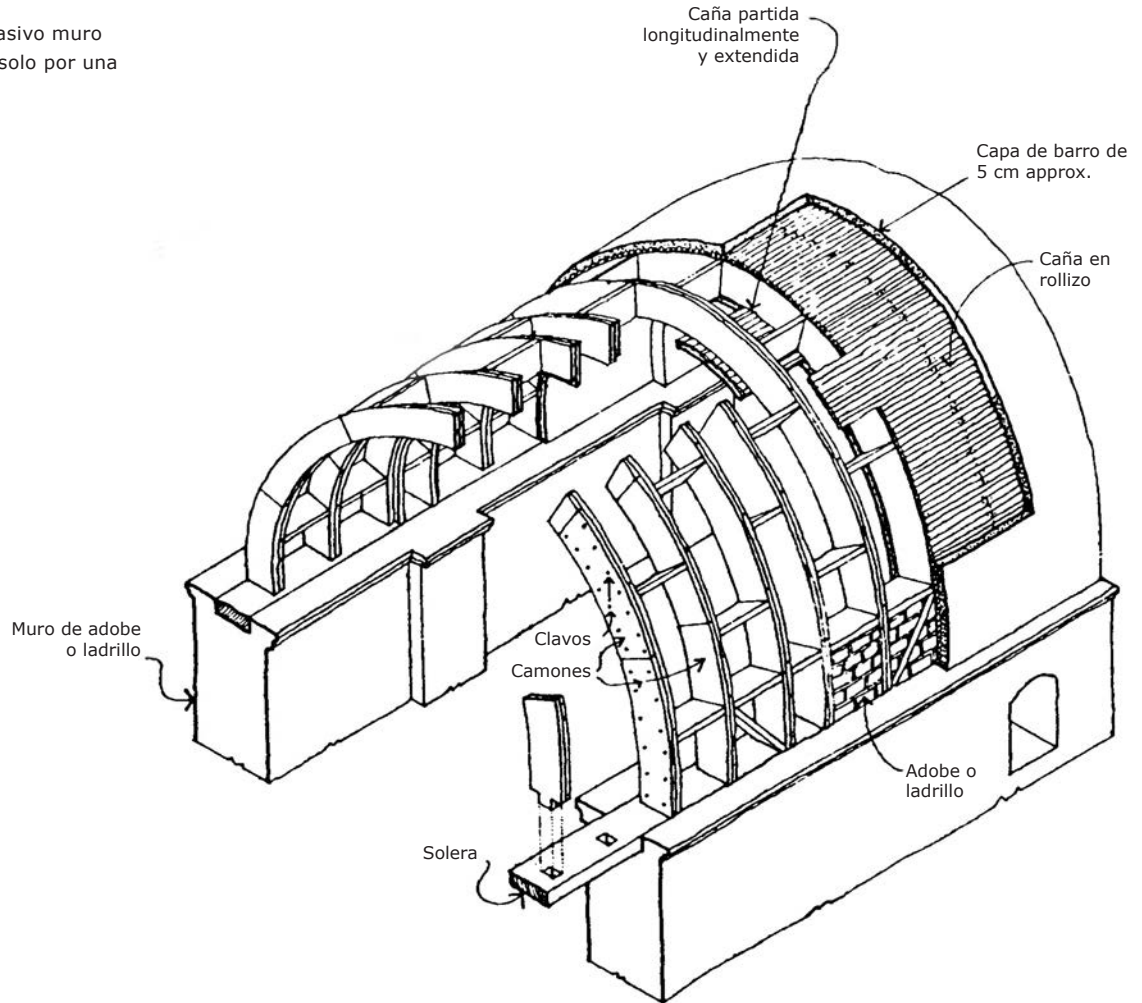
**FIGURA 3.10**  
Esquema del panel de quinchá tradicional que muestra las dimensiones de los elementos estructurales y no-estructurales.

**FIGURA 3.11**  
Detalle del amarre de una viga solera con las cerchas de una bóveda embebida en los muros de adobe.

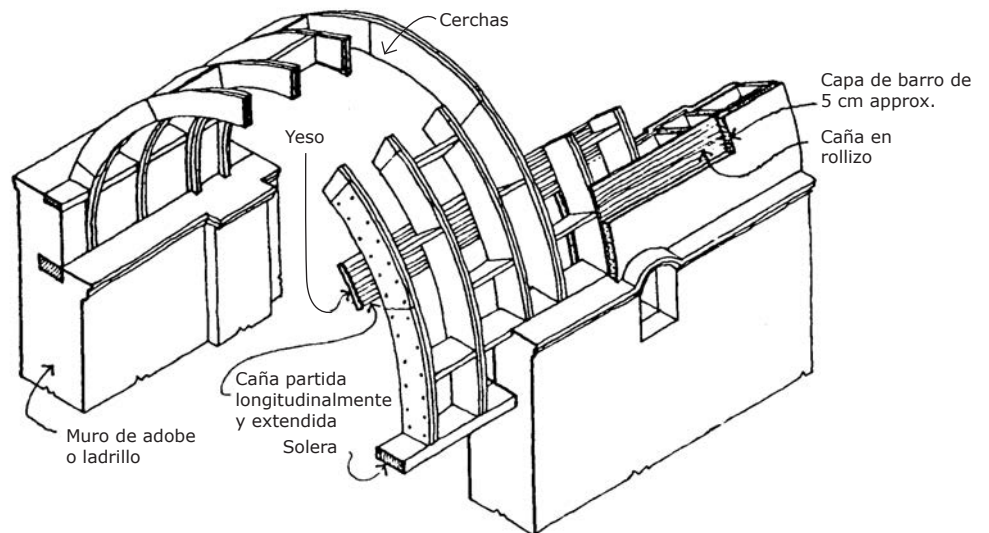


**FIGURA 3.12**

Bóveda sobre una masivo muro de adobe conectada solo por una viga solera.

**FIGURA 3.13**

Bóveda con viga solera y cerchas embebidas en el muro de adobe.



quincha como una técnica constructiva tradicional de edificios patrimoniales virreinales analizando una serie de iglesias para comprender su estructura (Figuras 3.12 y 3.13) y produciendo una serie de dibujos que explican claramente la forma en que se construyeron bóvedas y cúpulas de quincha.<sup>16</sup> Marussi también estudia en detalle los materiales utilizados para conectar dichos elementos estructurales.<sup>17</sup>

Las *Crónicas* o las primeras publicaciones de la época virreinal son muy importantes teniendo en cuenta que ahora se consideran fuentes primarias de investigación. La Biblioteca Nacional del Perú, que poseía la mayor parte de documentos históricos del virreinato, como el *Padrón de Indios* solicitado por el Virrey Marqués de Montes Claros en 1613, entre otros, fue parcialmente destruida por un incendio el 11 de mayo de 1943.<sup>18</sup> A pesar que la Biblioteca Nacional del Perú ha iniciado un programa para restaurar los documentos dañados por el incendio, la mayoría de ellos se perdieron.

Una publicación que recoge los datos históricos existentes antes del incendio fue escrita por Juan Bromley y José Barbagelata en 1942, y publicada en 1945.<sup>19</sup> *Evolución Urbana de la Ciudad de Lima* incluye reproducciones de los mapas de la ciudad desde el año 1535 hasta el 1945. Bromley y Barbagelata señalan el impacto de los terremotos en la ciudad capital citando particularmente la destrucción de la iglesia y el hospital de San Lázaro tras el terremoto del año 1586, y el daño a las bóvedas de la segunda Catedral de Lima después del terremoto del 19 de octubre del año 1609.<sup>20</sup> Los *Libros de Cabildos*, una recopilación de actas de casi 300 años de reuniones en el Ayuntamiento de Lima, explica que tras el terremoto de 1609, las autoridades decidieron reconstruir la catedral reduciendo la altura de los muros de soporte de las bóvedas en piedra.<sup>21</sup> Esta es probablemente la primera recomendación registrada durante el virreinato para la estabilización sísmica de edificaciones en el Perú.

Sin embargo no es hasta el terremoto del 28 de octubre del año 1746 que el Ayuntamiento de Lima decidió oficialmente modificar las técnicas constructivas existentes. El terremoto del año 1746 causó diez mil muertos y de un total de tres mil casas construidas hasta ese momento en Lima sólo veinte y cinco quedaron en pie. El Virrey D. José A. Manso de Velasco, más conocido como Conde de Superunda, pidió al matemático Dr. Luis Gaudín que estudiase los daños ocasionados por el terremoto a los edificios de la ciudad, y desarrollase recomendaciones técnicas para mejorar su resistencia a los eventos sísmicos.<sup>22</sup> Estas recomendaciones, las primeras desarrolladas en el continente americano, probablemente influenciaron las recomendaciones desarrolladas para la reconstrucción de la ciudad de Lisboa después del terremoto de 1755.<sup>23</sup>

Gaudín, que había comenzado a dictar la cátedra de matemáticas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima en 1744, era un asiduo seguidor de técnicas sofisticadas y partidario de los reglamentos de construcción.<sup>24</sup> Gaudín presentó su informe al cabildo recomendando: 1) el uso de barro, caña y adobe en lugar de cal, piedra o ladrillo; 2) el uso de la quincha para particiones y muros interiores; 3) aumentar el ancho de los muros de adobe; 4) incorporar contrafuertes en los muros laterales de las iglesias de adobe; 5) reducir la altura de las torres de las iglesias; 6) limitar la construcción de balcones; y, 7) garantizar plazas y espacios públicos suficientemente anchos como para servir de refugio en caso de siniestro; entre otras recomendaciones (Figura 3.14). Aunque estas son probablemente las ordenanzas más importantes que se dieron con referencia a los métodos de construcción durante el virreinato y que estuvieron vigentes hasta



**FIGURA 3.14 (IZQUIERDA)**

Una vista de los contrafuertes de la Iglesia de Carabayllo en el año 2007, añadidos probablemente después de las recomendaciones de Gaudín.



**FIGURA 3.15 (DERECHA)**

Detalle de la cúpula de la Iglesia de Santo Domingo, Lima.

principios del siglo XX, no fueron las primeras como este informe describe más adelante.

Otros autores importantes como Héctor Velarde (1946) y Alfredo Benavides (1961), hacen referencia a Bernabé Cobo, y Bromley y Barbagelata en sus investigaciones. Las publicaciones que estudian los materiales de construcción y las técnicas utilizadas durante el período español de forma más detallada son las de Emilio Harth-Terré<sup>25</sup>; en sus documentos de 1962, Harth-Terré cita los bien conocidos *Conciertos de Obra*, los cuales describen el uso de adobe y la quincha, así como otros materiales de construcción como el ladrillo, la piedra, el yeso y la madera en la construcción de edificios virreinales en Lima.<sup>26</sup> Basándose en la *Ordenanza de Cabildo* del año 1577, Harth-Terré especifica las dimensiones originales de los adobes de aquella época, hasta 0.78 m de longitud, con paja y estercol como aditivos, e incluso menciona sus precios de venta. Harth-Terré también describe la evolución en la selección de materiales y las técnicas utilizadas para cimentaciones, muros estructurales y tabiques, así como para las diferentes superficies decoradas, en especial en la obra residencial.

De la publicación del año 1975, cabe destacar el capítulo que describe el sistema y formación estricta que recibían los maestros y aprendices responsables de la construcción de edificios en las principales ciudades del virreinato. Fray Diego Matamoros fue uno de los maestros que con valentía e ingenio decidió usar en el año 1666; al parecer por primera vez, madera, caña y cal para la construcción de la bóveda de la Iglesia de Santo Domingo (Figura 3.15). Esta bóveda sobrevivió al terremoto del 20 de octubre del año 1687 sin mayores daños, mientras que otras fueron completamente destruidas. Más adelante, la *Ordenanza de Cabildo* del año 1702 promulgó el uso oficial de la madera, el barro y la caña para la construcción de cubiertas, incluyendo bóvedas, en las edificaciones en Lima y otras ciudades virreinales.<sup>27</sup> Este es el primer documento encontrado que regula la construcción con tierra durante el período del Virreinato del Perú, 250 años más tarde esta decisión sería revocada.

José García Bryce publicó una notable descripción de la arquitectura peruana durante el virreinato y la república.<sup>28</sup> García Bryce define tres tipologías de edificios principales durante el virreinato: la casona o residencia urbana, y la iglesia, añadiendo como edificaciones de menor importancia los cabildos o ayuntamientos, hospitales y asilos, escuelas, fortificaciones militares, así como los edificios comerciales y de infraestructura.<sup>29</sup> Aunque su artículo se centra sobre

**FIGURA 3.16 (IZQUIERDA)**

Vista de los trabajos de conservación en construcciones de quincha, en el año 2003, en la Casona Mayor de San Marcos, Lima.

**FIGURA 3.17 (DERECHA)**

Vista del detalle del marco de madera y caña aplastada en construcciones de quincha de la Casona Mayor de San Marcos, Lima, en el año 2003.



todo en la evolución estilística de estas tipologías, algunas secciones se dedican al uso creativo del adobe y la quincha como materiales adecuados en la construcción de importantes edificios virreinales (Figuras 3.16-3.18). Publicaciones similares también dedicadas a la evolución de estilos arquitectónicos durante el virreinato son las notables investigaciones realizadas por el Padre Antonio San Cristóbal.<sup>30</sup>

García Bryce menciona la reconstrucción de la bóveda de la iglesia de San Francisco hecha entre los años 1657 y 1674, utilizando quincha en un intento por hacerla sismorresistente bajo la supervisión de los maestros Constantino de Vasconcelos y Manuel Escobar, siguiendo probablemente la experiencia de Matamoros en la Iglesia de Santo Domingo (Figuras 3.18 y 3.19).<sup>31</sup> También describe el uso de la madera, la caña y el barro en las columnas y bóvedas de la Catedral de Lima tras el terremoto del año 1746, sistema que aún mantiene en pie a la actual Catedral terminada en el año 1755 bajo la supervisión del sacerdote jesuita Juan Rerh y el maestro Francisco Becerra; se puede decir que ambos son los responsables del diseño y estructura actual de la Catedral de Lima (Figura 3.20).<sup>32</sup>

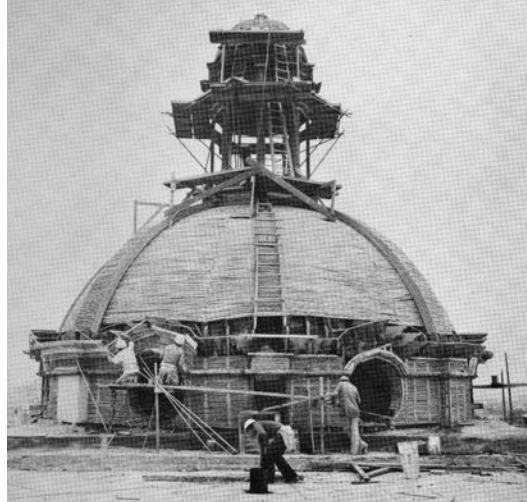
### **El Período Republicano (1821-presente)**

García Bryce menciona la construcción de otro tipo de edificios a principios del período republicano, como el rancho y el palacio neorenacentista, utilizando los mismos materiales constructivos que las edificaciones del virreinato: adobe y quincha y en algunos casos, con portales y columnas de piedra y ladrillo.<sup>33</sup>

Dos hechos importantes para la historia de la construcción en el Perú se produjeron durante la segunda mitad del siglo XIX. La primera fue la creación de la Comisión Central de Ingenieros Civiles en el año 1852 y la segunda, la importación del cemento al Perú en la década de 1860. El primer uso registrado del cemento fue para la construcción de un sistema de drenaje hecho de ladrillo y mortero de cemento en Lima en el año 1869.<sup>34</sup> Para hacer uso correcto de este

**FIGURA 3.18 (IZQUIERDA)**

Reconstrucción de la caña y elementos de madera en la cúpula de la Iglesia de San Francisco alrededor del año 1970.

**FIGURA 3.19 (DERECHA)**

Vista de la cúpula de la Iglesia de San Francisco desde el claustro del Convento.

**FIGURA 3.20**

Vista interior de la Catedral de Lima en el año 2011.



nuevo producto industrial, se creó la Escuela Especial de Ingenieros de Construcciones Civiles y de Minas en el año 1876, la cual tenía una sección de arquitectura a cargo de Teodoro Elmore; sin embargo, no fue hasta el año 1910 que se crea una Escuela de Arquitectura independiente sobre la base de un plan de enseñanza diseñado por Santiago Basurco. Basurco y Elmore habían sido formados en los Estados Unidos y Europa; y otros arquitectos los siguieron al Perú para enseñar en la nueva escuela. Nuevos materiales y técnicas de construcción tales como la albañilería de ladrillo con mortero de cemento, hierro fundido y hormigón armado fueron enseñados en esta escuela y posteriormente utilizados en la construcción de edificaciones modernas en el Perú.

El 13 de agosto de 1868, un terremoto de  $M_w$  9.0 azotó las costas de la entonces frontera entre Perú y Bolivia. Un tsunami devastó la ciudad de Arica y reportó daños en Hawái, Nueva Zelanda y Japón. El terremoto produjo graves daños en las ciudades de Arica, donde se reportó la ruptura del suelo; así como en Tacna, Moquegua, Ilo, Tarata e Iquique. En Arequipa, se informó que el terremoto dejó a la ciudad en ruinas y con fracturas en los cerros de La Caldera junto a los baños de Yura. El tsunami destruyó gran parte de la costa peruana, dejando un saldo de treinta muertos en Chala, alrededor de cien en Arica y doscientos en Iquique. Cerca de cuatrocientas réplicas se sintieron hasta el día 25 de agosto del mismo año.<sup>35</sup>

No existen reportes sobre el impacto directo en la industria de la construcción que causó este terremoto sino hasta el segundo mandato del presidente Nicolás de Piérola (1895-1899) cuando se crea el Ministerio de Fomento y Obras Públicas, el que se encargaría de la regulación de la industria de la construcción. Es en éste período que el presidente Piérola, asesorado por Santiago Basurco, ingeniero del estado y fundador de la Escuela de Arquitectura, sugiere la prohibición del uso del adobe para la construcción, probablemente como resultado de la devastación del terremoto de 1868. Posteriormente, durante el primer mandato del presidente Augusto B. Leguía (1908-1912) y después del terremoto de  $M_w$  8.2 de 1908, el estado prohíbe oficialmente el uso de adobe y la quincha para la construcción de viviendas urbanas.<sup>36</sup> A partir de ese momento el adobe y la quincha empiezan a ser sustituidos por el cemento y el ladrillo, al menos para la construcción de edificios importantes.<sup>37</sup> Sin embargo, cabe resaltar que hasta aquel entonces todos los edificios de las grandes capitales habían sido construidos con tierra y esta seguiría siendo de uso común para la construcción de edificaciones en zonas rurales.

## **Las investigaciones sobre adobe sismorresistente y el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú**

La Tabla 3.1 muestra los terremotos más importantes en el Perú, su magnitud de momento ( $M_w$ ) y el número aproximado de víctimas mortales.

Se pueden citar cuatro grandes terremotos entre los años 1940 y 1980, los cuales influenciaron la regulación de la construcción por parte del Gobierno Peruano e indirectamente fomentaron investigaciones sobre la construcción tradicional. El 24 de mayo del año 1940 un terremoto de  $M_w$  8.2 golpeó la costa de Lima destruyendo la mayor parte del puerto del Callao. El 16 de octubre del año 1966 un terremoto de  $M_w$  8.1 con epicentro localizado frente a la costa del Callao, volvió a azotar la ciudad de Lima. Cerca 125 personas fallecieron y tres mil resultaron heridas; muchas de las víctimas fatales se dieron por el colapso de algunas iglesias durante una celebración religiosa. La misma fatalidad se repetirá 41 años después, durante



**Tabla 3.1: Terremotos significativos en el Perú**

Año	Fecha	Lugar	M <sub>w</sub>	Fatalidades
1619	Febrero 14	Trujillo	7.7	350
1664	Mayo, 12	Ica	7.3	400
1687	Octubre, 20	Lima	8.5	600
1746	Octubre, 28	Lima		5,000
1821	Julio, 10	Camaná	8.2	162
1868	Agosto, 13	Arica	9.0	25,000
1908	Diciembre, 12	Fuera de la costa central del Perú	8.2	desconocidas
1913	Noviembre, 4	Abancay		150
1940	Mayo, 24	Callao	8.2	249
1942	Agosto, 8	Fuera de la costa central del Perú	8.2	30
1943	Enero, 30	Yanaoca		200
1946	Noviembre, 10	Ancash	7.3	1,400
1947	Noviembre, 1	Satipo	7.3	233
1948	Mayo, 11	Moquegua	7.4	70
1950	Mayo, 21	Cusco	6.0	83
1953	Diciembre, 12	Tumbes	7.4	7
1958	Enero, 15	Arequipa	7.3	28
1960	Enero, 13	Arequipa	7.5	57
1966	Octubre, 17	Cerca de la costa central del Perú	8.1	125
1968	Junio, 19	Moyobamba	6.9	46
1969	Octubre, 1	Región Comas, Chile	6.4	136
1970	Mayo, 31	Chimbote	7.9	50,000
1974	Octubre, 3	Cerca de la costa peruana	8.1	78,000
2001	Junio, 23	Cerca de la costa peruana	8.4	138
2001	Julio, 7	Cerca de la costa peruana	7.6	1
2005	Septiembre, 26	Norte del Perú	7.5	5
2006	Octubre, 20	Cerca de la costa central del Perú	6.7	desconocidas
2007	Agosto, 15	Cerca de la costa central del Perú	8.0	514

Nota: M<sub>w</sub>, lugar y fatalidades son valores aproximados basados en datos disponibles al momento del terremoto.  
Fuente: United States Geological Survey. [http://earthquake.usgs.gov/regional/world/historical\\_country.php#peru](http://earthquake.usgs.gov/regional/world/historical_country.php#peru).

el terremoto del 15 de agosto del año 2007, por el colapso de la Iglesia de San Clemente de Pisco (conocida popularmente como la Catedral de Pisco) que resulto en doscientos víctimas. En el terremoto del año 1966, 2300 casas sufrieron daños estructurales graves en Lima, y en Huacho, al norte de la capital, más de veinte mil habitantes quedaron sin techo. Se registraron deslizamientos de tierra y grietas enormes a lo largo de la carretera Panamericana Norte, particularmente al norte de la ciudad de Ancón. Este terremoto fue seguido de un tsunami con olas de 4.0 metros de altura en La Punta, Callao.

Cuatro años después del terremoto de 1966 (intervalo de tiempo que los peruanos creen que existe entre terremotos fuertes), el día 31 de mayo del año 1970 un terremoto de M<sub>w</sub> 7.9 azotó a la ciudad de Chimbote, un importante puerto

pesquero en la costa norte del Perú. Se informó de daños por el norte hasta Chiclayo y por el sur hasta Lima. Sin embargo, las ciudades costeras cercanas al epicentro y los pueblos del Callejón de Huaylas, valle a lo largo del río Santa entre la cordillera Blanca y Negra en la parte central de la Cordillera de los Andes, fueron las más afectadas. Entre ellas, la ciudad costera de Casma vio el 90% de sus estructuras dañadas; y Chimbote, reportó cerca de tres mil muertos y del daño del 70 al 80% de sus estructuras. Aunque el propio terremoto causó muchas muertes y daños, la mayoría de las pérdidas fueron causadas por el deslizamiento de tierra o *huayco*, que se movilizó por las empinadas laderas del nevado Huascarán en la Cordillera Blanca del Callejón de Huaylas, sepultando a la ciudad de Yungay junto a miles de sus residentes. El terremoto de 1970 dio lugar a cincuenta mil víctimas fatales, pero no fue el peor en la historia peruana.

Cuatro años más tarde, el 3 de octubre de 1974, un terremoto de  $M_w$  8.1 resultó en 78000 muertos. Muchos edificios alrededor de la ciudad de Lima fueron seriamente dañados debido a la licuefacción del suelo, principalmente en el puerto del Callao, dado que parte del puerto está construido sobre un terreno de desechos y sedimentos saturados que ponen en peligro las edificaciones, no sólo en tierra, sino también a las construidas con materiales modernos. Este factor geológico combinado con la falta de diseño y métodos de construcción sismorresistentes, contribuyeron al colapso de muchas estructuras modernas; un ejemplo de éste caso fue el colapso de una edificación de cuatro pisos hecha de concreto armado construida en la de aquel entonces nueva Universidad Agraria en el distrito de La Molina en Lima.<sup>38</sup>

Después del terremoto del año 1970 la comunidad de ingenieros decidió desarrollar un reglamento de edificación sismorresistente; por ello, en el año 1974, el Gobierno Peruano publicó el primer Reglamento Nacional de Construcción, que sin embargo no incluía la regulación de la construcción con tierra en ninguno de sus capítulos o apéndices. En el año 1976, el Gobierno Peruano creó el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) con el objetivo de capacitar a los trabajadores de construcción civil de todo el país, pero la enseñanza de técnicas de construcción tradicionales, como el adobe o la quincha, no se incluyeron en sus planes de estudio.

A pesar de más de sesenta años de esfuerzos continuos para impedir la construcción con tierra en todo el país, desde el primer intento de Piérola en el año 1911 hasta la exclusión de las técnicas de construcción de tierra como parte del reglamento de construcción en el año 1974, las comunidades rurales han seguido utilizando esta tecnología para la edificación. Tal vez por este motivo, alrededor del año 1970, un grupo de ingenieros estructurales decidió empezar con la investigación de técnicas de refuerzo para mejorar los sistemas tradicionales de construcción con tierra en lugar de suprimirlos. Los esfuerzos académicos llevados a cabo por universidades peruanas como la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), dieron lugar a la creación de un organismo estatal encargado de la investigación y el desarrollo de normas para los materiales y técnicas de construcción tradicionales. En el año 1981, el Presidente Fernando Belaúnde Terry, arquitecto y urbanista de profesión, creó el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI); esta institución fue la primera dedicada íntegramente a la investigación científica para el sector de la vivienda y la construcción en el Perú, incluyendo el estudio de materiales tradicionales y modernos a fin de proporcionar condiciones de vida adecuadas para la población peruana. Muchas publicaciones dedicadas a difundir



de aumentar el coeficiente de suelo para viviendas de adobe en suelos intermedios para permitir la construcción nueva de tierra sólo sobre suelo rocoso o muy denso; la norma también recomienda que los edificios de adobe sean construidos con la suficiente densidad en sus dos direcciones, y con planta lo más simétrica posible. Los vanos en las paredes se aceptan siempre y cuando sean pequeñas y ubicadas al centro de los muros, al igual que se deben proveer refuerzos para amarrar las esquinas. Se recomienda además construir cimientos y sobrecimientos con mampostería de piedra e instalar una viga solera conectando la parte superior de todos los muros (recomendación ya incluida en la versión del año 1985), y refuerzos continuos, independientemente de la delgadez de los muros, por lo menos para las zonas de alta sismicidad y donde haya sido reportado en el pasado el colapso repentino de edificaciones de adobe. Para el refuerzo de muros de adobe se recomienda el uso de la caña, malla electrosoldada de alambre o la recientemente estudiada geo-malla.

Sin embargo, la nueva versión de la *NTE 0.80* además tiene la intención de incluir por primera vez normas para la construcción sismorresistente en tapial y quincha; así como guías y recomendaciones para la rehabilitación y estabilización de edificios históricos de adobe, quincha y tapial.

### Notas

- 1 Williams León, *Arquitectura y urbanismo en el Perú: Historia del Perú*, Procesos e instituciones, Vol. 9, 371–372.
- 2 Ibid., 367–585.
- 3 Ibid., 371.
- 4 Ibid., 403.
- 5 Ibid., 433.
- 6 Hastings, et al., “The adobes of Huaca del Sol y de la Luna,” 36.
- 7 Cristóbal Campana desarrolla una investigación exhaustiva sobre la cerámica Moche. En este periodo se produjeron modelos de edificios residenciales con extremo detalle. Williams León, *Arquitectura y urbanismo*, 491-97
- 8 Ibid., 513–14.
- 9 Ibid., 569.
- 10 Agurto Calvo, *Lima prehispánica*, 177.
- 11 Cobo, *Historia de la fundación de Lima*.
- 12 Ulloa, Juan, y Saumell, *Viaje a la América meridional*, 42–43.
- 13 Paz Soldán, *Geografía del Perú*, 66.
- 14 Real Academia de la Lengua Española: <http://www.rae.es/>.
- 15 Pueden encontrarse en sitios como Catalhöyük (Turquía) y Shillourakambos (Chipre).
- 16 Marussi Castellán, “Bóveda a base de quincha en las edificaciones monumentales del Virreinato del Perú”, 147–56.
- 17 Ibid., 59–66.
- 18 Portal electrónico de la Biblioteca Nacional del Perú: <http://www.bnp.gob.pe/>.
- 19 Bromley y Barbagelata, *Evolución urbana de la ciudad de Lima*, 129.
- 20 Ibid., 35.

- 21 Los *Libros de Cabildos* de Lima son 45 volúmenes de las actas de las reuniones del Ayuntamiento o Municipalidad de Lima desde 1535 hasta 1824.
- 22 Bromley y Barbagelata, *Evolución urbana de la ciudad de Lima*, 71.
- 23 Duarte Fonseca, *1755 O terramoto de Lisboa*, 86.
- 24 Walker, *Shaky colonialism*, 91.
- 25 Ver: Harth-Terré y Márquez Abanto, “Historia de la casa urbana virreinal en Lima,” y Harth-Terré, *Perú: Monumentos históricos y arqueológicos*.
- 26 Los *Conciertos de Obra* fueron descripciones detalladas del proceso constructivo escrito por los alarifes y guardados en el ayuntamiento probablemente por razones tributarias. La mayoría de ellos aún se encuentran en el Archivo Histórico de la Nación. Harth-Terré y Márquez Abanto, “Historia de la casa urbana virreinal en Lima,” 58–100.
- 27 Harth-Terré, *Perú: Monumentos históricos y arqueológicos*, 45.
- 28 García Bryce, *La arquitectura en el Virreinato y la República*, 11–166.
- 29 *Ibid.*, 20.
- 30 Las obras de San Cristóbal incluyen *Arquitectura virreinal religiosa en Lima* (1988); *Lima: Estudios de la arquitectura virreinal* (1992); *La catedral de Lima: Estudios y documentos* (1996); *Fray Diego Maroto alarife de Lima* (1997); *Arquitectura planiforme y textilográfica virreinal de Arequipa* (1997); *Esplendor del Barroco en Ayacucho: Retablos y arquitectura religiosa en Huamanga* (1998).
- 31 García Bryce, *La arquitectura en el Virreinato y la República*, 64.
- 32 *Ibid.*, 29.
- 33 *Ibid.*, 98.
- 34 Bromley y Barbagelata, *Evolución urbana de la ciudad de Lima*, 94.
- 35 Silgado Ferro, “Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513–1970),” 36.
- 36 García Bryce, *La arquitectura en el Virreinato y la República*, 125.
- 37 Es importante mencionar que para 1916, el Perú ya cuenta con su primera fábrica de cemento llamada Compañía Nacional de Cemento Portland, seguida en 1946 por su afiliada llamada Compañía Nacional de Cemento Portland Pacasmayo.
- 38 United States Geological Survey, *Historic Worldwide Earthquakes*.
- 39 Ver los portales electrónicos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento <http://www.vivienda.gob.pe/>, y de SENCICO <http://www.sencico.gob.pe/>.

## CAPÍTULO 4

# Patrimonio arquitectónico de tierra en la zona afectada

*"Un alumno de la Escuela de Ingenieros preguntó a Don Teodoro Elmore, profesor de construcciones civiles, en qué forma debía proceder para fabricar buenos adobes; dando a su pregunta toda la gravedad de una consulta técnica Elmore respondió sencillamente: amigo mío, búsquese un adobero"*

*—José Galvez, Nuestra Pequeña Historia, 1930*

---

Esta sección presenta la caracterización del daño estructural observado en los sitios visitados durante la evaluación realizada por el equipo del GCI. Un resumen de las observaciones preliminares de cada uno de los edificios visitados se ofrece seguido de descripciones detalladas y ejemplos gráficos de los daños típicos. La descripción de daños observados incluye la o las causas probables y el riesgo que cada uno de ellos representa. La influencia de las condiciones preexistentes, tales como daños por terremotos anteriores, intervenciones inadecuadas o falta de mantenimiento también son incluidas. Por último, se ofrecen conclusiones y recomendaciones preliminares en un intento por mejorar el comportamiento sísmico de las edificaciones de tierra en el Perú.

## Limitaciones

Las visitas se realizaron en un plazo limitado de tiempo (dos días), pero suficiente para realizar una rápida evaluación y recoger observaciones generales sobre los tipos de daños registrados; conclusiones más exhaustivas sobre los mecanismos de falla hubieran requerido mayores estudios, recabar mayor información sobre cada edificación, y contar con más tiempo para su análisis. Por otro lado, la ubicación de los escombros generalmente ayuda a entender cómo los edificios colapsaron; aunque, desafortunadamente la mayoría ya había sido retirada al momento de las visitas. Muchos sitios no habían sido documentados adecuadamente antes e inmediatamente después del terremoto, lo que limitó la capacidad de analizar los mecanismos de falla, y el efecto de las condiciones preexistentes.

Durante el viaje el equipo se concentró en la evaluación de doce edificios históricos y dos sitios de importancia arqueológica.<sup>1</sup> El equipo fue consciente que los tipos de construcción visitados, aunque culturalmente importantes para la región y el país, no necesariamente representan la vasta cantidad de edificaciones históricas de tierra que hay en las zonas rurales y en los poblados pequeños. Esta misma limitación se aplica al tipo de daño y los modos de falla caracterizados en este informe; hay que considerar que los edificios históricos patrimoniales tienen un mejor desempeño que la vivienda vernácula dado que probablemente fueron

construidos con una mayor calidad de mano de obra y han sido mejor mantenidos durante el tiempo.

Esta visita de reconocimiento ofrece una excelente oportunidad para comprender las fallas constructivas y proponer investigaciones futuras para su reforzamiento y estabilización (Figura 4.1); teniendo en cuenta las limitaciones mencionadas, las recomendaciones se concentran en la identificación de posibles áreas de estudio a futuro en lugar de ofrecer soluciones técnicas específicas para la estabilización sismorresistente.

**FIGURA 4.1**

Luis Villacorta, miembro del equipo del GCI, grabando el estudio de edificaciones históricas de tierra dañadas por el terremoto del año 2007 en Pisco, Perú.



## Resumen de hallazgos

La ubicación de los sitios visitados como parte del estudio de daños se presenta en la Figura 4.2. La Tabla 4.1 (pp. 43-45) resume los comentarios preliminares proporcionados por los asesores del GCI sobre los sitios visitados los días 30 y 31 de octubre del año 2007.<sup>2</sup> La Tabla 4.1 también ofrece un estimado de la intensidad del terremoto en relación a cada sitio visitado. Una descripción más detallada sobre los hallazgos preliminares se ofrece en la sección Tipología de daños estudiados (pp. 46-56).

## Ubicación de los sitios visitados

FIGURA 4.2

Mapa que muestra la ubicación de los sitios visitados en relación al epicentro de los terremotos significativos del año 2007. Las imágenes en la parte inferior muestran los sitios visitados durante el estudio de daños realizado del 28 de octubre al 2 de noviembre del año 2007. De izquierda a derecha: (1) Iglesia de Chilca, (2) Iglesia de Coayllo, (3) y (4) Hacienda Arona y Montalván, casa hacienda y viviendas de los trabajadores, (5) Hacienda San José, (6) Iglesia de El Carmen, (7) Iglesia San Clemente, Pisco, (8) Iglesia de San José, (9) Iglesia de San Javier de Ingenio, Nazca, (10) Sitio Arqueológico de Cahuachi, (11) Catedral de Ica, (12) Iglesia de Guadalupe, (13) Iglesia de Huaytará, (14) Sitio Arqueológico de Tambo Colorado, (15) Iglesia de Humay.

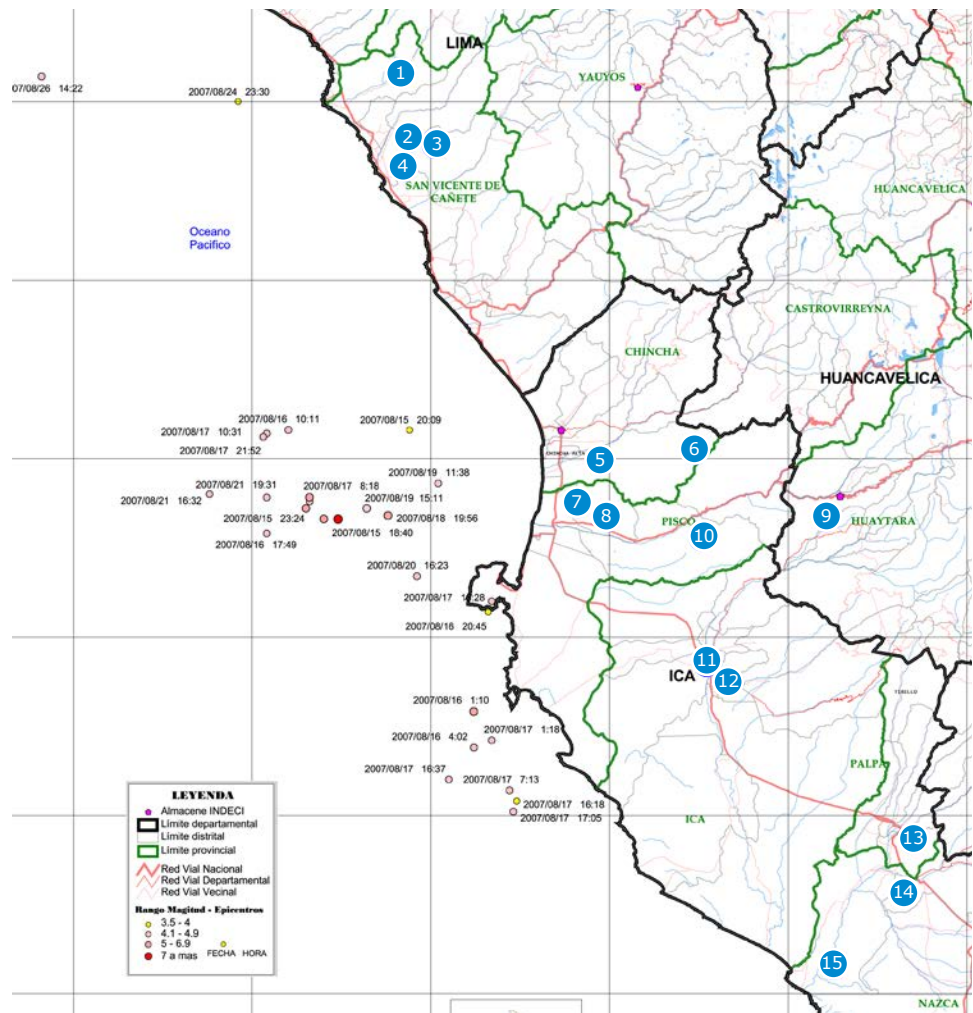




Tabla 4.1: Edificios visitados por el equipo del GCI los días 30 y 31 de octubre del 2007

Nombre	Estado antes del terremoto	Comentarios	MMI	Foto después del terremoto
Iglesia de Chilca, Cañete	Existe evidencia de reparaciones hechas de concreto a consecuencia de previos daños post-terremoto.	Colapso de la linterna de quincha de la cúpula de una de las torres. Evidencia de un agrietamiento extensivo entre las torres y el frontis. Agrietamiento interior en la bóveda central, así como en los encuentros de arcos, columnas y bóveda.	VI-VII	
Iglesia de Coayllo, Cañete	Daños post-terremoto no reparados que dejaron el edificio en malas condiciones. Hay evidencia de daño severo por insectos xilófagos en los elementos de madera de la bóveda; así como conexiones muy débiles entre los muros laterales, la bóveda, y los contrafuertes.	Colapso total de la sección central de la bóveda de quincha, probablemente debido a la combinación de materiales no compatibles, las condiciones, y la variación en el espesor de los muros laterales.	VI-VII	
Hacienda Arona y Montalván (Capilla, casa hacienda y residencias de los trabajadores), Cañete	<i>Capilla:</i> Daño por insectos xilófagos en los elementos estructurales de madera.  <i>Casa hacienda:</i> Daño por insectos xilófagos y escarabajos, en las vigas de madera y los muros de adobe, respectivamente.  <i>Residencias de los trabajadores:</i> Las residencias probablemente no fueron bien mantenidas a través del tiempo.	<i>Capilla:</i> La separación visible entre los muros de adobe y el desplazamiento de la torre indican la falta de conexiones entre los muros, el techo y las torres de la capilla.  <i>Casa hacienda:</i> La gruesa capa de tierra observada sobre el techo y las distancias entre las vigas puede haber provocado la torsión de las columnas del pórtico de entrada.  <i>Residencias de los trabajadores:</i> Los muros delgados colapsaron, otros muros perdieron verticalidad y se separaron en las esquinas. Existe evidencia de grietas diagonales por corte.	VI-VII	 
Hacienda San José, Chíncha (Casa Hacienda)	La casa hacienda ha sido mantenida a través del tiempo. Sin embargo, parece ser que varias intervenciones como un nuevo revestimiento y el uso de materiales modernos existieron antes del terremoto.	No ha habido colapso de los muros gruesos de adobe (mayormente localizadas en la casa hacienda). Los muros de quincha han colapsado cuando se ha observado daño severo por insectos xilófagos. Daño severo en la cúpula de una de las torres de la capilla.  Hay evidencia de una grieta estructural en el techo que atraviesa la esquina y un desprendimiento severo y pérdida de revestimiento en la capilla y casa hacienda.	VII	

Nombre	Estado antes del terremoto	Comentarios	MMI	Foto después del terremoto
Iglesia del Carmen, Chincha	La iglesia ha recibido buen mantenimiento y se han realizado ampliaciones. Fue constatado el uso de materiales modernos.	La parte superior de la fachada está bastante dañada y la torre izquierda ha colapsado parcialmente. Hay grietas horizontales y verticales visibles en la fachada principal y en el encuentro con las torres. El equipo no pudo evaluar el interior de la capilla; sin embargo, no se observó daño visible del interior.	VII	
Iglesia de San Clemente, Pisco	La cúpula del trasepto en algún momento ha sido reconstruida con columnas de concreto armado.  La bóveda de la nave parece haber sido fabricada probablemente con cerchas de piezas de fierro corrugado soldado.	Colapso total de la bóveda. Los muros laterales de la nave parecen haber sido altos y delgados con pilastras embebidas hechas de concreto.  La combinación de elementos concreto armado con materiales de tierra parece haber sido la causa del colapso del techo y de los muros.  La cúpula de concreto y las columnas que sobrevivieron al terremoto probablemente golpearon lo que quedaba de los muros de tierra hasta su colapso.	VII	
Iglesia de San José, Nazca	El sitio fue abandonado en 1970 y la bóveda colapsó totalmente después del terremoto de 1996. Existe bastante evidencia del uso de diferentes materiales originales.	Parece que el terremoto del 2007 acentuó las grietas ya existentes. Las torres de quincha de la fachada lucen bastante inestables.  Los muros muestran poco daño pero se observa deterioro significativo en los arcos de madera y el entramado de madera de los elementos decorativos de quincha.	VII	
Iglesia de San Javier de Ingenio, Nazca	La bóveda y los arcos construidos originalmente en ladrillo han colapsado parcialmente (terremotos de 1940 o 1942).	La fachada principal parece estar estructuralmente desconectada del cuerpo de la iglesia. Los muros de 1.50 m de ancho construidas en ladrillo cocido con bolsones de adobe muestran daño por escarabajos.  La cúpula de la sacristía de similar técnica constructiva está cubierta con pinturas murales que presentan grietas estructurales.	VII	
Sitio Arqueológico de Cahuachi, Nazca		No hay evidencia de daño. Esto puede ser el resultado de la composición estructural (en forma de pirámide), la calidad del material original, la reconstrucción que se está llevando a cabo, el tipo de suelo donde la estructura se encuentra localizada o la distancia al epicentro del terremoto.	V	

Nombre	Estado antes del terremoto	Comentarios	MMI	Foto después del terremoto
Catedral de Ica, Ica	Hay evidencia de intervenciones pasadas usando materiales modernos.	<p>La fachada no está conectada a los muros laterales de adobe. Las torres parecen estar fuera de plano vertical, lo que genera tensión en la bóveda. El frontón parece haberse desplazado hacia afuera.</p> <p>Hay evidencia que los muros exteriores de la nave se han desplazado y que los pilares interiores han rotado.</p> <p>La bóveda de quincha ha fallado entre los arcos de madera. Las cerchas, probablemente en malas condiciones, han colapsado en el medio pero la bóveda en sí no ha fallado.</p> <p>La cúpula central no colapsó pero hay evidencia de grietas estructurales profundas y desprendimiento del revestimiento de tierra.</p>	VII	
Iglesia de Guadalupe, Ica	<p>Las torres fueron reconstruidas con pórticos de concreto y ladrillo confinado.</p> <p>Al lado opuesto de la fachada existe un arco de concreto con ladrillo confinado sobre el muro de adobe.</p>	<p>Colapso total de la parte central de la fachada, así como de la bóveda de quincha.</p> <p>Las torres probablemente golpearon la parte central de la fachada y generaron el colapso de la bóveda.</p>	VII	
Iglesia de Huaytará, Huancavelica	<p>La estructura está compuesta de muros de adobe sobre muros de piedra inca y torres de ladrillo cocido.</p> <p>Hay evidencia de los contrafuertes originales y métodos tradicionales de reforzamiento de madera.</p>	<p>No hay evidencia de grietas estructurales pero sí el colapso severo de la cúpula en la parte alta de una de las torres.</p> <p>Daño por humedad debido a la presencia de goteras.</p>	V	
Sitio Arqueológico de Tambo Colorado, Ica		<p>No hay evidencia de daño excepto rastros de grietas diagonales entre los bloques y el mortero de adobe. Se observaron, entre otras, grietas verticales en los encuentros de los muros perpendiculares.</p>	VII	
Iglesia de Humay, Ica	<p>La iglesia aparentemente ha sido seriamente modificada con áreas hechas con materiales modernos. La torre que aún queda en pie fue construida con ladrillo cocido.</p>	<p>Colapso de una gran parte de la parte central de la bóveda, probablemente debido a la presencia de daño severo por insectos xilófagos en las cerchas y vigas de madera. Se observaron conexiones originales de cuero y nuevas de pletinas de hierro. Se observaron conexiones débiles entre los muros y la bóveda.</p>	VII	

## Tipología de daños estudiados

El adobe, normalmente utilizado para construir muros gruesos, es un material de construcción de baja resistencia capaz de soportar fuerzas de compresión pero débil para fuerzas de tracción. Los esfuerzos absorbidos por un muro de adobe durante un terremoto superan generalmente su resistencia a la tracción. La edificación disipa la energía generada por el terremoto a través de la creación de grietas que terminan dividiendo el muro en partes aisladas que chocan unas contra otras hasta el colapso de la estructura. La quincha, por el contrario, es un material de membranas delgadas y flexibles de alta resistencia; el marco de madera y la estructura de caña absorben las fuerzas de tracción produciendo únicamente grietas superficiales. El colapso se produce normalmente cuando el marco de madera, deteriorado y/o desconectado de la caña, se expone a una compresión extrema y es incapaz de trabajar estructuralmente.

Tolles et al. (1996) enfatizan que la severidad de los daños de un terremoto a las construcciones de adobe "es una función de: (a) la intensidad del movimiento del suelo; (b) la geometría de la estructura, es decir, la configuración de los muros de adobe, techos, pisos, vanos, y cimentaciones; (c) la existencia y eficacia de las medidas de reforzamiento sísmico; y (d) el estado del edificio al momento del terremoto".<sup>3</sup> En el caso peruano esta afirmación se aplica también con respecto a la quincha.

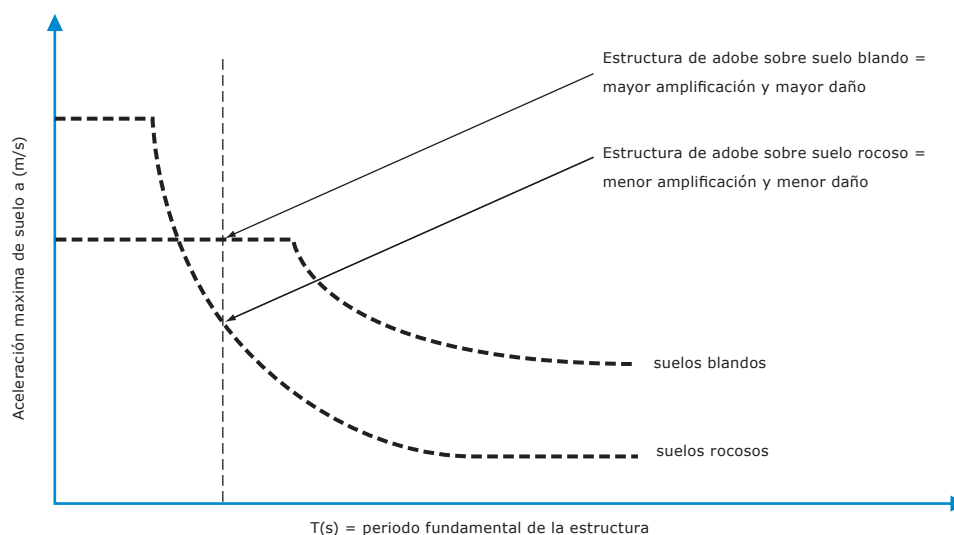
La intensidad del movimiento del suelo es imposible de controlar o prevenir y está condicionada al tipo de suelo donde está construida la estructura. Los suelos blandos amplifican la frecuencia de la energía o aceleración producida por el terremoto; mientras que los suelos firmes o rocosos la absorben, produciendo menor daño en las estructuras, permitiendo así que sus ocupantes puedan evacuarlas antes que colapsen. Las edificaciones sobre suelo blando colapsan repentinamente en menos tiempo que aquellas construidas sobre suelos rocosos; y en la mayoría de los casos, las primeras colapsan cuando sus ocupantes están aún dentro (Figura 4.3).

Las ciudades de Pisco, y en cierta medida, las de Chincha e Ica están construidas sobre suelos blandos según las características geológicas descritas en el capítulo 2.

**FIGURA 4.3**

Diagrama que muestra el espectro de respuesta teórica de las edificaciones de adobe sobre suelos rocosos versus suelos blandos.

Dibujo: Claudia Cancino.



La geometría de la edificación cumple una función fundamental en su capacidad de soportar eventos sísmicos. Hoy en día se considera que durante un evento sísmico los muros gruesos de adobe se comporten mejor que los delgados, porque cuanto más grueso el muro, más puede balancearse sin caerse y permanecer estable. Más aún, los muros de adobe conectados perpendicularmente unos a otros, o reforzados con contrafuertes, se comportan de manera aún mejor que los no reforzados. Una cantidad limitada de vanos en los muros reduce los parámetros de debilidad y aumenta la resistencia sísmica.

Tolles et al. (1996) ofrecen excelentes descripciones sobre los tipos de daños en muros de adobe después del terremoto de 1996 de Northridge en California, Estados Unidos. Este estudio, hecho en Perú en 2007, encontró tipologías de daños similares a los descritos por Tolles et al. en los sitios visitados. Como complemento al trabajo realizado en 1996, esta sección ofrece descripciones, diagramas y fotografías de los daños observados en muros, bóvedas y cúpulas de quincha después del terremoto del 15 de agosto del 2007 que afectó el sur de Perú.

### Mecanismos de deterioro de la quincha

La mayoría de los sitios visitados afectados por el terremoto fueron construidos con cúpulas, bóvedas y muros de quincha. A pesar de que el capítulo 2 presenta información acerca de los detalles constructivos de la quincha y el período en el que comenzó a utilizarse en Lima y otras ciudades, no se ha proporcionado una explicación sobre cómo la quincha se deteriora a lo largo del tiempo.

Durante los períodos pre-hispánico y virreinal en el Perú existía la costumbre de realizar un mantenimiento regular en estas estructuras que incluía el reemplazo ocasional de elementos estructurales de madera, del tejido de la caña, y de los amarres de cuero. Con el paso del tiempo y la falta de mantenimiento, los elementos de madera se deterioraron por la presencia de insectos xilófagos, y las conexiones estructurales empezaron a fallar; los amarres de cuero se volvieron frágiles y la caña se desprendió de la estructura, perdiendo su flexibilidad y resistencia a la tracción (Figuras 4.4 y 4.5). El estado de deterioro de este sistema constructivo tuvo una marcada influencia en el comportamiento de las edificaciones durante el terremoto del 15 de agosto del 2007.

### Falla de cúpula o bóveda

Varios de los sitios visitados mostraban fallas de sus cúpulas o bóvedas de quincha. Esto principalmente ocasionó el colapso parcial o total de las bóvedas y al desplazamiento de las cúpulas de las torres de las iglesias.

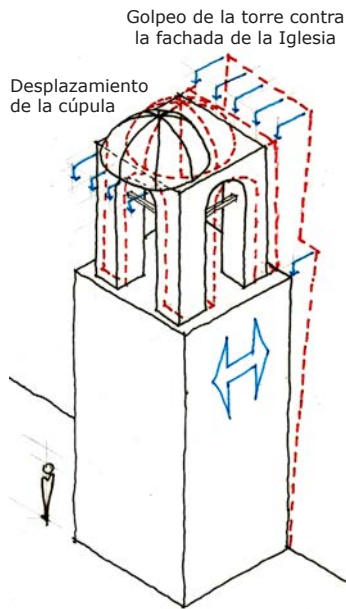
**FIGURA 4.4 (IZQUIERDA)**

Detalle de los amarres en cuero, Catedral de Ica; octubre de 2007.

**FIGURA 4.5 (DERECHA)**

Detalle que muestra el deterioro de los arcos de madera de la Iglesia de San José, Nazca; octubre de 2007.



**FIGURA 4.6**

Esquema hipotético del modo de falla de torre de iglesia. En rojo, posición original de la torre. En azul, balanceo de la torre.

**FIGURA 4.7**

Detalle del colapso total de la cúpula de la torre de la Iglesia El Carmen, Chincha; octubre de 2007.

**FIGURA 4.8**

Detalle del desplazamiento de la cúpula de la torre de la Iglesia de la Hacienda San José, Cañete; octubre de 2007.

Desplazamientos o colapso total de las cúpulas en las torres de las iglesias Iglesia de Chilca, Iglesia de El Carmen, Iglesia de Huaytará y la Capilla de la Hacienda San José.

En estas cuatro edificaciones, la diferencia del comportamiento estructural entre los pilares de quincha y las torres de adobe creó un golpeo durante el terremoto, ocasionando la falla, el desplazamiento y en algunos casos el colapso de las cúpulas (Figura 4.6). En la mayoría de los sitios visitados se observaron daños graves causados por insectos xilófagos en los elementos estructurales de las bóvedas, cúpulas y pilares de quincha, bajo el revestimiento desprendido. El daño no se limitaba a los elementos de madera, sino también se extendía al tejido de caña que amarra los elementos estructurales. Los pilares de las torres dañados no resistieron la fuerza del terremoto, fallaron, y transfirieron el esfuerzo a las bóvedas, que (debilitadas por el mal estado de sus elementos) terminaron desplazándose horizontalmente y, en algunos casos, colapsando parcialmente (Figuras 4.7 y 4.8).

#### Colapso total o parcial de las bóvedas

Iglesia de Coayllo, Iglesia de San Clemente, Iglesias de San José y San Javier, Catedral de Ica, Iglesia de Guadalupe, e Iglesia de Humay.

El colapso de las bóvedas es probablemente la consecuencia más dramática del terremoto y la que causó la mayor cantidad de fallecidos, particularmente en la Iglesia de San Clemente. Las causas del colapso de las bóvedas fueron múltiples y parecen haber sido el resultado de problemas acumulados a lo largo del tiempo.

Como se mencionó anteriormente, en la mayoría de los sitios visitados los elementos estructurales de madera y el tejido de caña de la quincha estaban gravemente dañados por insectos xilófagos; en el caso de las bóvedas, los daños se observaron en las cerchas de madera y en sus conexiones con la parte superior de

**FIGURA 4.9**

Daño sísmico a la Iglesia de Guadalupe en Ica; octubre de 2007.

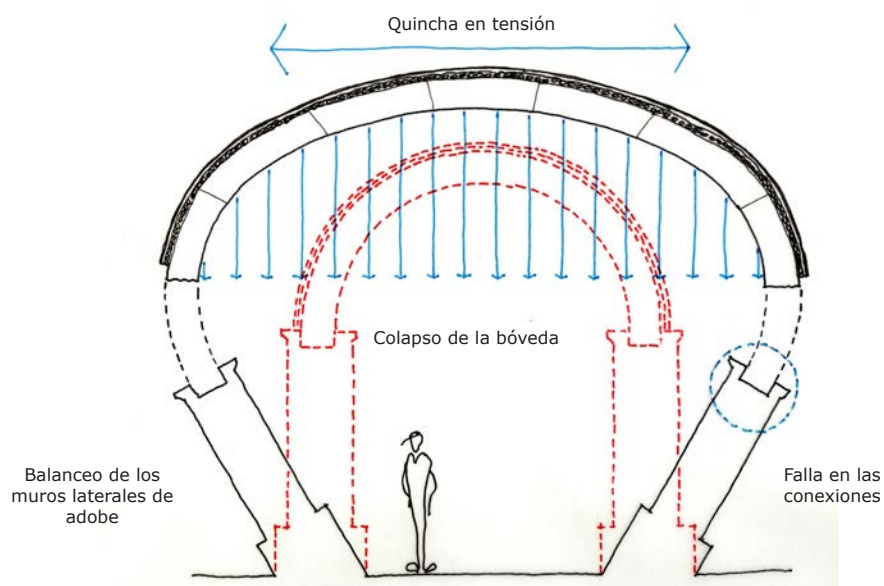


los muros de adobe o los pilares. También se encontraron evidencias de la desconexión total entre los muros laterales y la fachada, ocurrida antes o durante el terremoto, en particular en la Iglesia de Guadalupe (Figura 4.9). Otra condición previa al terremoto que contribuyó al colapso, es la presencia de una gruesa capa de tierra o revestimiento de cemento sobre las bóvedas, probablemente por la falta de un adecuado mantenimiento.

El balanceo de los muros laterales, agravado por la falta de conexiones adecuadas entre la armadura del techo y la fachada, creó tensión en la flexible cubierta de quincha. Durante el terremoto, la bóveda trató de controlar el balanceo de los muros de adobe, añadiendo tensión a las cerchas deterioradas y sus conexiones hasta el fallar; el resultado final fue el colapso de bóvedas enteras (Figura 4.10). En las iglesias de Coayllo, Guadalupe, Humay y San Clemente, la presencia de arcos de concreto reforzado a los extremos de las bóvedas rigidizó la

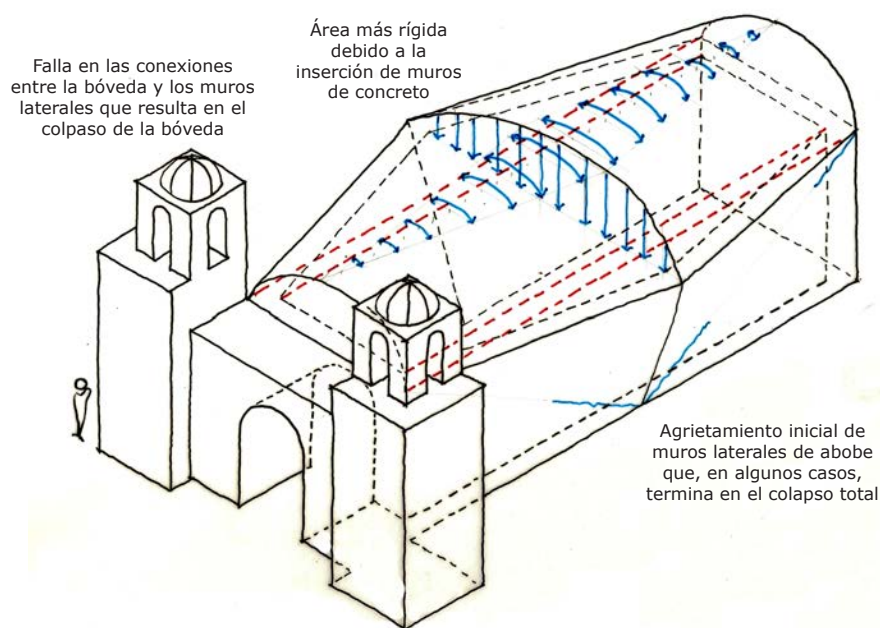
**FIGURA 4.10**

Esquema hipotético de una bóveda en tensión. En rojo, posición original de la bóveda. En negro, desplazamiento exagerado durante un movimiento sísmico.



**FIGURA 4.11**

Esquema hipotético del colapso total de la bóveda y el comportamiento fuera del plano de los muros laterales de adobe de la Iglesia de Coayllo, Cañete.

**FIGURA 4.12**

Vista del colapso total de la bóveda de la Iglesia de Coayllo, Cañete; octubre de 2007.

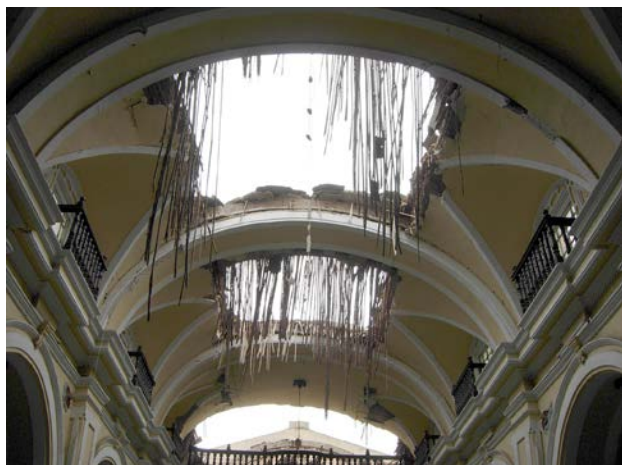


estructura; esto, en combinación con el deterioro de las cerchas, creó tensión transversal que causó la falla de la bóveda de quincha (Figuras 4.11 y 4.12).

En la Catedral de Ica, la configuración arquitectónica de la edificación ayudó a soportar parcialmente el terremoto. La presencia de lunetos entre los arcos fajones y las capillas laterales previno el colapso total de la bóveda, que al parecer tenía una pesada capa de tierra sobre la cubierta (Figuras 4.13-4.16).

Es importante mencionar que la configuración arquitectónica de la Catedral de Ica, al igual que su sistema constructivo y materiales, fueron usados en la construcción de la mayoría de las iglesias de tierra del virreinato que aún se encuentran en pie a lo largo de la costa peruana y de otros países latinoamericanos. Particularmente en el caso de la Catedral de Ica, la corta distancia entre los pilares a lo largo de la nave central, al igual que su altura, contribuyó en la capacidad de la edificación de soportar el terremoto a pesar de su proximidad al epicentro.

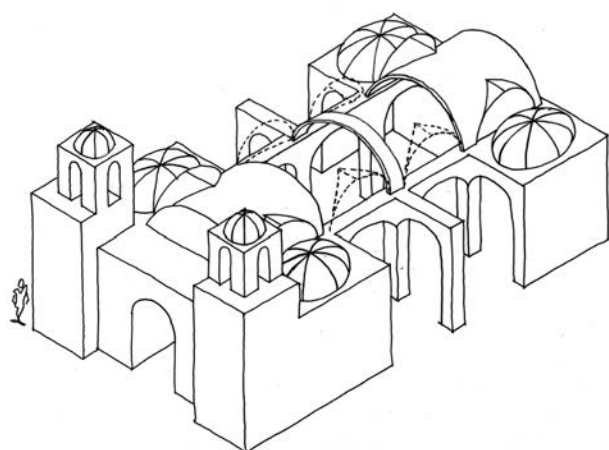




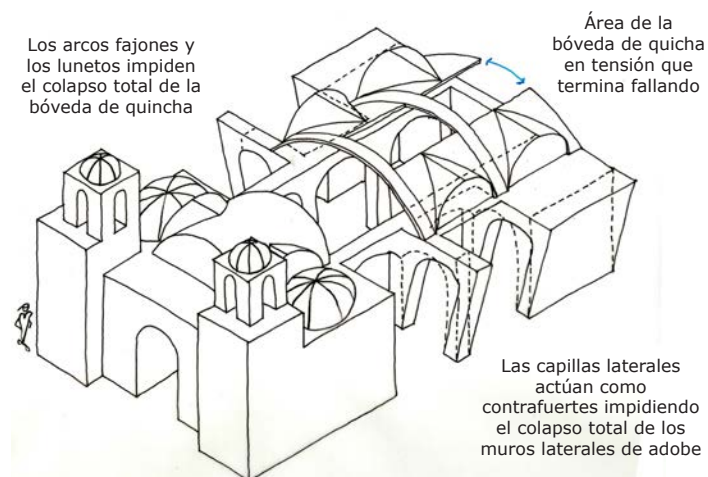
**FIGURA 4.13**  
Detalle de la falla de la nave principal de la Catedral de Ica después del terremoto de Pisco; octubre de 2007.



**FIGURA 4.14**  
Vista de la grieta donde ocurrió el colapso parcial de la bóveda de la Catedral de Ica; octubre de 2007.



**FIGURA 4.15**  
Esquema de la Catedral de Ica detallando la posición de los arcos fajones, lunetos y pilares de quincha.



**FIGURA 4.16**  
Hipótesis de colapso parcial de la bóveda de la Catedral de Ica por la falla por tensión debido al movimiento hacia el exterior de los pilares y vigas laterales.

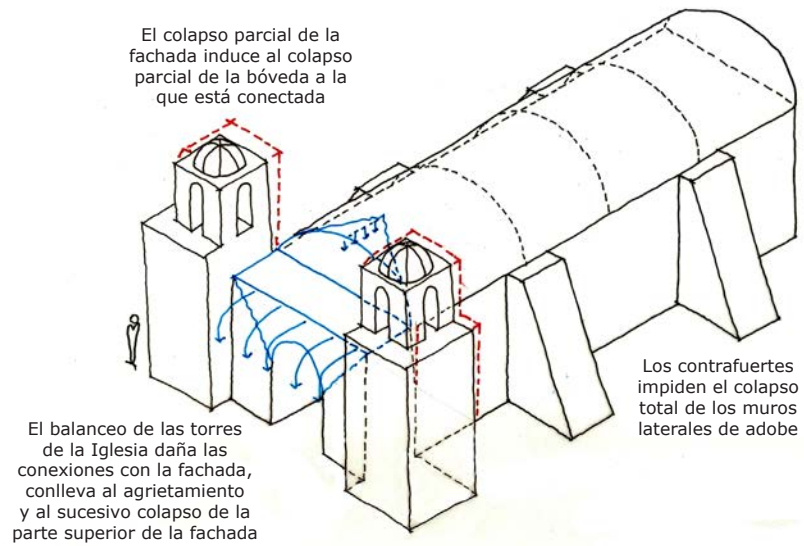
### Colapso fuera del plano

El colapso de bóvedas o cúpulas enteras fue el resultado del balanceo de los muros (fachadas y/o muros laterales) hasta el punto que sus conexiones fallaron (Figuras 4.9 y 4.17-19). En el caso de la Iglesia de Guadalupe, las torres de concreto golpearon la fachada de adobe hasta el colapso de su parte superior y de parte de la bóveda (Figuras 4.9 y 4.17). En el caso de la Iglesia de Coayllo, el colapso parcial fuera del plano de los muros laterales de adobe recientemente construidos fue la causa de la falla total de la bóveda (Figura 4.18).

El ejemplo más evidente de este tipo de falla se observó en los muros de la Iglesia de Chilca (Figura 4.19), de la casa principal de la Hacienda San José y de las residencias de los trabajadores de la Hacienda Arona y Montalván (Figura 4.20), donde paños enteros de muros de adobe colapsaron. En todos estos casos, la esbeltez de los muros no resistió al balanceo durante el terremoto. El proceso de este

**FIGURA 4.17**

Esquema hipotético de falla del muro de fachada en la Iglesia de Guadalupe, Ica.

**FIGURA 4.18**

Falla parcial fuera del plano del muro lateral de adobe de la Iglesia de Coayllo, Cañete; octubre de 2007.

**FIGURA 4.19**

Muro de adobe desconectado que muestra fallas fuera del plano en la Iglesia de Chilca; octubre de 2007.



**FIGURA 4.20**

Residencias de los trabajadores de la Hacienda Arona y Montalván que muestran colapso fuera del plano.



tipo de falla está muy bien explicado por Tolles et al. (1996) quienes indican que las "Fisuras de flexión aparecen primero como grietas verticales en los muros transversales, se extienden verticalmente o en diagonal hacia la base, y horizontalmente al muro perpendicular más cercano (...) después del desarrollo de las grietas, la estabilidad del muro depende de su esbeltez, su conexión a la estructura, las cargas verticales, y la condición de su base."<sup>4</sup>

### **Daño de columnas y pilares**

Se observaron daños de columnas y pilares en la la Catedral de Ica y en la Hacienda Arona y Montalván; esto dió la oportunidad de comprobar la flexibilidad de las estructuras de quincha, capaces de mejorar la resistencia de toda la edificación a los eventos sísmicos sin colapsar.

En el caso de la Catedral de Ica, los pilares huecos construidos con un armazón de madera y tejidos de caña recubiertos con barro y yeso, al parecer absorbieron la mayor parte de la energía y solamente sufrieron el desprendimiento del revestimiento en sus bases (Figuras 4.21 y 4.22).

En el caso de la Hacienda Arona y Montalván, parece que el techo de la galería se desplazó en dos direcciones, paralelamente y perpendicularmente a la fachada principal de la edificación. Esto generó una separación entre la galería y el edificio, y una grieta entre la galería y la torre principal (Figura 4.23). El desprendimiento del revestimiento en la parte superior de las columnas puede haber sido el resultado de su rotación. La balaustrada y las bases parecen haber prevenido el colapso total la estructura. (Figuras 4.24-4.27)

### **Desprendimiento del revestimiento**

Aunque el desprendimiento del revestimiento de barro o yeso no es considerado un daño estructural, es importante mencionarlo como condición que merece ser estudiada y reparada. Los revestimientos bien mantenidos contribuyen al mejor comportamiento estructural de la edificación.

Muchos desprendimientos fueron observados en las bóvedas, cúpulas, muros, columnas y pilares de los sitios visitados (Figuras 4.28 y 4.29). Cabe mencionar que desprendimientos no reparados dejaron expuestos los elementos de madera de la

**FIGURA 4.21 (IZQUIERDA)**

Vista de los pilares de la Catedral de Ica que muestra el desprendimiento del revestimiento de sus bases; octubre de 2007.

**FIGURA 4.22 (DERECHA)**

Detalle del desprendimiento del revestimiento en los pilares de quincha de la Catedral de Ica; octubre de 2007.



armadura de quincha de la cubierta, las columnas y pilares, causando daños por insectos xilófagos, como se observó en las Iglesias de San José y de San Javier de Ingenio en Nazca.

Durante el terremoto, los elementos estructurales de madera dañados fallaron, desconectando los muros e induciendo el colapso. Cuando el desprendimiento del revestimiento fue reparado con materiales no compatibles con la tierra (como capas de cemento sobre las bóvedas o cúpulas de quincha), la sobrecarga sobre los muros de adobe indujo al colapso fuera del plano. Ese fue probablemente el caso de la Iglesia de Coayllo y de la de Catedral de Pisco.

**FIGURA 4.23**

Desplazamiento en el techo de la Casa Hacienda Arona y Montalván, Cañete; octubre de 2007.

**FIGURA 4.24**

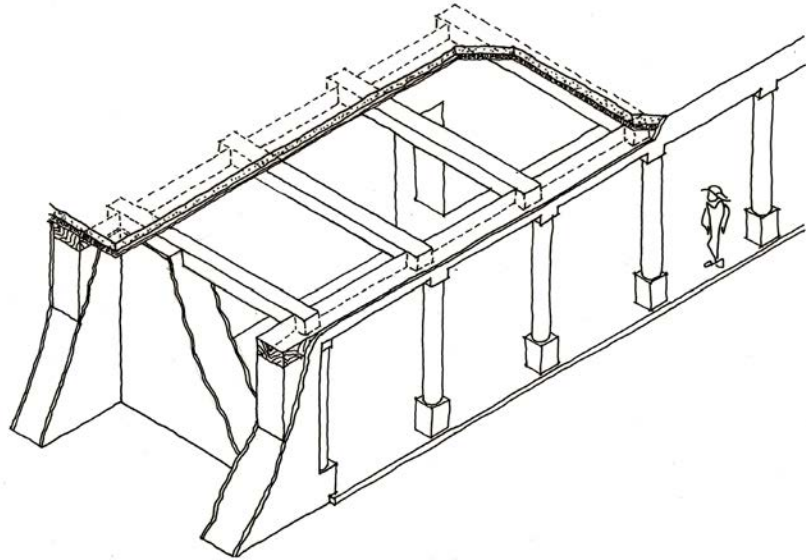
Desprendimiento del revestimiento de la columnata de la Casa Hacienda Arona y Montalván, Cañete; octubre de 2007.

**FIGURA 4.25**

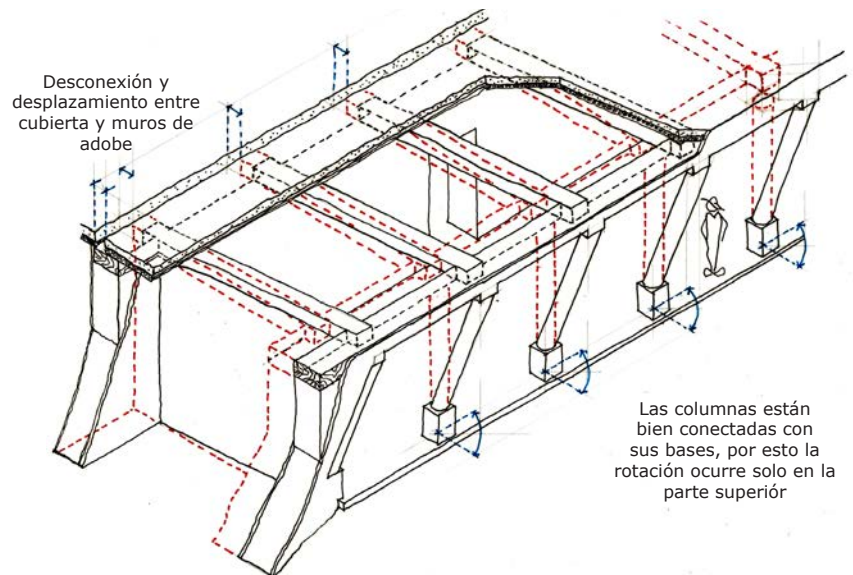
Detalle del desprendimiento del revestimiento de la columna de la Casa Hacienda Arona y Montalván, Cañete; octubre de 2007.

**FIGURA 4.26**

Esquema de la cubierta de la Hacienda Arona y Montalván.

**FIGURA 4.27**

Esquema hipotético de falla del sistema de cubierta de la Hacienda Arona y Montalván. En rojo se indica la posición original de la estructura. En negro, desplazamiento exagerado bajo una fuerza sísmica. En azul, la dirección de rotación de las columnas y el desplazamiento del techo.



## Conclusiones

Al término de la evaluación, y después de una reflexión ulterior sobre los mecanismos de falla encontrados en los sitios visitados, el equipo concluyó lo siguiente:

- La construcción con tierra en el Perú representa una parte importante de su patrimonio cultural monumental y vernáculo, y es uno de los principales materiales de construcción en los asentamientos en el Perú de hoy.<sup>5</sup> Los valores históricos, sociales, culturales y económicos de la arquitectura de tierra deben ser considerados al momento de establecer guías para su estabilización sismorresistente.
- A través de los siglos, la tierra ha sido utilizada para la construcción, sola o como parte de sofisticados sistemas constructivos (como la quincha)

**FIGURA 4.28**

Desprendimiento del revestimiento de la cúpula de la Catedral de Ica; octubre de 2007.

**FIGURA 4.29**

Detalle del desprendimiento del revestimiento de la cúpula de la Iglesia de Chilca, Cañete; octubre de 2007.

demonstrando la capacidad de los peruanos de diseñar soluciones apropiadas en respuesta a la actividad sísmica de la región. Estos materiales y técnicas tradicionales locales han requerido la experiencia de maestros constructores que supieron beneficiarse de la resistencia del material mientras desarrollaban ajustes para mitigar sus debilidades. Hay evidencia que las tecnologías constructivas peruanas intentaron abordar el diseño sismorresistente, el conocimiento local se desarrolló a lo largo del tiempo para usar la tierra como material de construcción en las zonas vulnerables a terremotos.

- Los cambios sociales y la modernización a finales del siglo XIX introdujeron nuevas tecnologías constructivas y materiales industrializados. Sin embargo, el uso del concreto se limitó a las principales ciudades, dejando la tierra como material de construcción predominante en las zonas rurales. Con el tiempo han disminuido los conocimientos locales sobre la manera correcta de mantener y construir edificaciones de tierra, dejándolas expuestas al deterioro y al subsecuente daño inducido por los terremotos. La preocupación por la seguridad de sus ocupantes y el comportamiento sísmico de las edificaciones fue lo que motivó la prohibición de la tierra como material de construcción adecuado y contemporáneo.
- La tierra sigue siendo el material de construcción predominante entre los edificios existentes. Por ello, es necesario un esfuerzo para mejorar el comportamiento sísmico de las edificaciones nuevas y desarrollar soluciones para reducir la vulnerabilidad de los sitios significativos existentes.
- El estudio se centró en los edificios de tierra con significado cultural que habían experimentado numerosos terremotos; en el caso de algunas de las iglesias, los daños anteriores no habían sido reparados. Durante el terremoto de agosto del 2007 los daños sísmicos fueron en muchos de los casos el resultado de los efectos acumulados de terremotos anteriores y de la falta de mantenimiento y reparación.

### Influencia de las tipologías arquitectónicas

Las dos tipologías básicas visitadas muestran diferencias fundamentales en su construcción y en consecuencia en su comportamiento sísmico. Las soluciones para mejorar su comportamiento estructural durante un terremoto deben ser también diferentes.

- Las haciendas se caracterizan por ser edificaciones con modestas habitaciones de planta cuadrada o rectangular, y con poca distancia entre sus muros. Los muros de adobe no son muy gruesos y los pocos muros transversales de quincha no son suficientes para estabilizarlos. Las cubiertas son planas con vigas o viguetas de madera simplemente apoyadas en los muros. El daño en estas estructuras fue el resultado de la desconexión de los muros en sus encuentros y la falta de un anclaje adecuado entre las viguetas del techo y la parte superior de los muros.
- Las Iglesias se caracterizan por tener a ambos lados de la nave muros altos, largos y gruesos, únicamente reforzados por el muro de la fachada, el transepto, y los muros de las capillas laterales. Además por cubiertas ligeras y frágiles hechas de cerchas de madera y quincha, que no pudieron restringir el balanceo de los muros laterales.

### Impacto de la falta de mantenimiento en la estructura

La integridad estructural y el comportamiento sísmico de edificaciones históricas de tierra dependen y están relacionados con lo siguiente: 1) la adherencia entre los adobes; 2) las conexiones entre cimentación y muro, entre muro y muro, y entre muro y cubierta; 3) el estado e integridad estructural de los armazones de madera de los elementos de la quincha. El comportamiento sísmico de los sitios visitados fue afectado por problemas de mantenimiento que redujeron significativamente la integridad estructural de las edificaciones, incluyendo:



**FIGURA 4.30**

Falla fuera del plano de los muros de adobe debido a la falta de conexiones apropiadas entre el techo y los muros. Casa Hacienda San José, Cañete; octubre de 2007.



**FIGURA 4.31**

Separación de la fachada principal de la bóveda de la Iglesia de la Hacienda San José de Nazca; octubre de 2007.



**FIGURA 4.32**

Desplazamiento de la cúpula superior debido a la falla de las conexiones con los pilares. Iglesia de la Hacienda San José; octubre de 2007.

**FIGURA 4.33**

Detalle de la débil adherencia entre el mortero y el adobe en la Iglesia de Coayllo, Cañete; octubre de 2007.

**FIGURA 4.34**

Detalle del daño por insectos a los muros de adobe de las viviendas de los trabajadores de la Hacienda Arona y Montalván, Cañete; octubre de 2007.

**FIGURA 4.35**

Detalle del daño por insectos xilófagos a los elementos de madera de la Iglesia San José de Nazca; octubre de 2007.

**FIGURA 4.36**

Detalle del daño por insectos xilófagos a los elementos de madera de la Iglesia de la Hacienda San José; octubre de 2007.

- Pérdida de integridad estructural y desconexión entre los elementos dañados de madera de cúpulas, bóvedas, y pilares de quincha; parapetos, tabiques y fachadas que al quedar aislados afectaron su estabilidad (Figuras 4.30-4.32).
- Grietas estructurales pre-existentes no reparadas y mortero de tierra débilmente adherido a la unidad de adobe que indujeron a un mayor agrietamiento (Figura 4.33).
- Humedad en los muros de adobe y quincha a un nivel tan alto que ocasionó su colapso.
- Daños por escarabajos en las unidades de adobe, que redujeron la resistencia de los muros (Figura 4.34).





**FIGURA 4.37**  
Detalle de la mezcla de materiales usados en la Iglesia de Coayllo; octubre de 2007.



**FIGURA 4.38**  
Detalle de la mezcla de materiales usados en la Iglesia de Chilca; octubre de 2007.



**FIGURA 4.39**  
Detalle de la mezcla de materiales usados en la Hacienda Arona y Montalván; octubre de 2007.

- Daños por insectos xilófagos en los armazones de madera de los paneles de quincha que contribuyeron al colapso parcial o total de la estructura (Figuras 4.35 y 4.36).
- Adición de diferentes materiales y sistemas constructivos a la estructura. Áreas de ladrillo cocido o de piedra, y en varios casos, pórticos de concreto armado con relleno de adobe o ladrillo cocido que tuvieron un efecto negativo en el desempeño estructural de los sitios visitados (Figuras 4.37-4.39).

### Modos de falla

Aunque es difícil evaluar las interacciones estructurales de los sistemas presentados en este informe, pueden hacerse las siguientes de observaciones generales:

- El comportamiento de los muros de carga de adobe fue coherente con las expectativas bajo sismo para muros gruesos y delgados de adobe, tal como se observó en terremotos anteriores y en pruebas de ensayo con mesas vibratoras:
  - Los muros gruesos de adobe se movieron y balancearon independientemente uno del otro, formado o reabriendo grietas, pero generalmente manteniéndose en pie.
  - Los muros delgados, como los de las viviendas de los trabajadores, no pudieron resistir el balanceo y, cuando las grietas verticales los aislaron de la estructura, colpsaron por completo.
  - Ambos comportamientos sísmicos confirman la premisa básica del GSAP que sugiere que los muros de adobe que presentan una adecuada relación entre ancho y alto se pueden considerar estables sin necesidad de mayor reforzamiento.<sup>6</sup>
- Cuando fallaron las conexiones en las iglesias con cubiertas abovedadas de madera y quincha, los muros gruesos de adobe se movieron independientemente de las bóvedas, que perdieron apoyo y posteriormente colapsaron. Estos sistemas de construcción originalmente contaban con

vigas soleras de madera con mortajas de conexión entre las cerchas y los muros. Estos se extendían sobre los apoyos de las cerchas asegurando la base de las bóvedas. Cuando las soleras de madera se encontraban en buenas condiciones, o restringidas por otros elementos como los lunetos, las cerchas permanecieron estables, mientras la porción de las bóvedas entre ellas colapsó.

- Parece que hubo tres diferentes modos de movimiento entre elementos verticales y horizontales que podrían explicar el daño ocurrido en la cubierta de quincha:
  - Los muros a largo de la nave se desplazan casi juntos. La armadura de los sistemas de cubierta se deforma en sus extremos embebidos en la parte superior de los muros de adobe. Las deformaciones son demasiado grandes para la resistencia de las cerchas deterioradas y la cubierta termina colapsando (escenario no muy probable).
  - Los muros a largo de la nave no se balancean mucho fuera del plano; pero la cubierta, muy flexible, responde a las vibraciones moviéndose verticalmente de arriba a abajo en su clave. La cubierta de quincha compuesta por elementos de madera, caña, barro y yeso es flexible pero frágil por falta de mantenimiento, y esto determina la falla (escenario algo probable).
  - Los muros a largo de la nave se mueven fuera del plano, independientemente el uno del otro. Una vez más, la cubierta flexible no puede mantener juntos los muros ni acomodar su desplazamiento relativo (escenario muy probable).

## Recomendaciones

1. Existen un número de soluciones técnicas, basadas en investigaciones científicas, disponibles e importantes de difundir para construir con tierra de forma segura y estabilizar las edificaciones históricas de tierra situadas en zonas sísmicas. El trabajo desarrollado por la PUCP, la UNI y el GSAP es crucial para la comprensión del comportamiento de las edificaciones durante un terremoto, así como para la conservación de los sitios de tierra situados en áreas sísmicas.
2. Existe potencial para desarrollar técnicas de estabilización pocas invasivas adaptando métodos y materiales tradicionales e históricos con el fin de incrementar la seguridad en los edificios de tierra existentes. Se requiere adquirir datos con base científica para aplicar conceptos y valores de ingeniería estructural a los sistemas de estabilización tradicional.
3. En el Perú existen importantes instituciones, organizaciones y una comunidad establecida de profesionales expertos con conocimiento integral del problema, quienes muestran una firme voluntad hacia la preservación de la arquitectura de tierra. Estas condiciones podrían apoyar y fomentar la investigación, implementación y difusión de métodos mejorados para la estabilización sismorresistente y metodologías adecuadas para la conservación de las edificaciones históricas de tierra.
4. No parece existir una solución obvia y evidente para el problema del colapso de las bóvedas en las iglesias. Idealmente, debería haber un mecanismo que

garantice el movimiento uniforme de los muros y que haga la cubierta suficientemente flexible y al mismo tiempo fuerte para soportar las deformaciones causadas por el movimiento fuera de plano de los muros. Esto podría obtenerse a través de sistema como tirantes, hechos de materiales compatibles y disponibles localmente, que unan los muros paralelos de la nave. Esto les permitiría desplazarse juntos y evitaría el movimiento hacia el exterior, pero no impediría el volteo hacia el interior. Conectar todos los muros en la parte superior ayudaría a limitar el movimiento relativo de los muros. Sin embargo, la estructura de cubierta debe ser suficientemente fuerte para absorber las vibraciones verticales sin colapsar.

5. Existe una necesidad urgente de desarrollar guías para la estabilización sismorresistente utilizando materiales locales y tecnologías simples con bajo costo de implementación. Si antes del terremoto se hubiesen realizado intervenciones sencillas conectando muros y cubiertas en las edificaciones visitadas durante la evaluación (según lo recomendado por las guías del GSAP), las fallas hubieran sido limitadas y el daño reducido. Un programa de intervención con métodos de reforzamiento mínimos, técnicas fáciles de reparación y mantenimiento, podrían reducir la pérdida de vidas humanas y los daños en futuros terremotos.

### Notas

- 1 Los edificios históricos visitados son de dos tipos: 1) iglesias de adobe con bóvedas y cúpulas de quincha; 2) haciendas, compuestas por edificaciones de adobe con patio central y capilla adosada, también con bóvedas de quincha.
- 2 La mayoría de las observaciones indicadas en la tabla son extractos de los informes presentados por Stephen Farneth, Philippe Garnier, Julio Vargas Neumann y Frederick Webster.
- 3 Tolles et al., *Survey of damage to historic adobe buildings after the January 1994 Northridge earthquake*, 17.
- 4 Ibid. 19.
- 5 Gran parte de la población no puede financiar otro material de construcción, especialmente en áreas rurales o poblados pequeños.
- 6 Tolles, Kimbro, y Ginell, *Planning and engineering guidelines for the seismic retrofitting of historic adobe structures*, 41-43.

# Apéndice A: lista de instituciones y profesionales participantes

Nombre	Institución	Disciplina	Información de contacto
Claudia Cancino	Getty Conservation Institute (GCI), Iniciativa de Arquitectura de Tierra	Arquitecta; Restauradora	ccancino@getty.edu
Philippe Garnier	CRATerre	Asesor del GCI; Arquitecto; Director de Asentamientos Urbanos-CRATerre	philippe.garnier@grenoble.archi.fr
Stephen Farneth	Architectural Resources Group	Asesor del GCI; Arquitecto con experiencia en la estabilización sismorresistente de edificaciones de tierra	steve@argsf.com
Patricia Navarro Grau	Patrimonio Perú	Asesora del GCI; Arquitecta	pnavarrograu@yahoo.es
Urbano Tejada	CIDAP – Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional	Asesor del GCI; Ingeniero	utejada@gmail.com
Julio Vargas Neumann	Pontificia Universidad Católica del Perú	Asesor del GCI; Ingeniero Estructural	jhvargas@pucp.edu.pe
Fred Webster	Profesional independiente	Asesor del GCI; Ingeniero Estructural; miembro del equipo del GSAP	FAWebster@aol.com
Norma Barbacci	World Monuments Fund	Arquitecta	nbarbacci@wmf.org
Juan Pablo de la Puente	World Monuments Fund	Abogado	jpdelaupent@gmail.com
Ana María Hoyle	Instituto Nacional de Cultura	Arqueóloga	amhoyle@inc.gob.pe
Jorge Lambarri	Instituto Nacional de Cultura	Arquitecto	jlambarri@inc.gob.pe
Hugo Wilfredo Torres Reyna	Instituto Nacional de Cultura	Arquitecto	wilfredo.torres@polimi.it
Miguel Cruchaga Belaunde	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	Arquitecto; Decano de la Facultad de arquitectura	mcruchaga@upc.edu.pe
José García Calderón	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	Arquitecto; Profesor universitario	jgarcia@upc.edu.pe
Mario Segami	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	Arquitecto; Director de la Facultad de arquitectura	msegami@upc.edu.pe
Mirna Soto	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	Arquitecto; Profesora universitaria de restauración	pcarmsot@upc.edu.pe
Luis Villacorta Santamato	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	Arquitecto; Profesor universitario	lvillaco@upc.edu.pe lvillacorta@ucss.edu.pe

# Bibliografía

- Abrahamson, N.A., y K.M. Shedlock. "Overview." *Seismological research letters* 68, nro. 1 (1997): 9–23.
- Agurto Calvo, Santiago. *Lima prehispánica*. Lima: FINANPRO, Empresa Financiera: Municipalidad de Lima, 1984.
- Arriola Vigo, Viviana, y Urbano Tejada Schmidt. *Manual de quincha pre-fabricada para maestros de obra: Elaboración de paneles y procesos constructivo*. Lima: Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional CIDAP, 2008. <http://www.cidap.org.pe/site.shtml?apc=I---ix-x-x1-&s=L&e=i&m=Manuales>.
- Atkinson, Gail M., y David M. Boore. "Empirical ground motion relations for subduction-zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions." En *Bulletin of the Seismological Society of America* 93, nro. 4 (2003): 1703–29.
- Benavides Rodríguez, Alfredo. *La arquitectura en el Virreinato del Perú y en la Capitanía General de Chile*. Santiago de Chile: Editorial Andres Bello, 1961.
- Bromley, Juan, y José Barbagelata. *Evolución urbana de la ciudad de Lima*. Lima: Concejo Provincial de Lima, 1945.
- Burneo, Reinhard Augustin. *Orígenes y evolución del conjunto arquitectónico de la casona de San Marcos: Programa para la conservación del patrimonio cultural*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa, 2002.
- Carbajal Fabio, Gaby Ruiz, y Cliff J. Schexnayder. "Quincha construction in Peru." En *Practice periodical on structural design and construction* 10, nro. 1 (2005): 49–55.
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), Fondo del Reconstrucción del Sur (FORSUR), Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), y World Bank. "Informe final del estudio de microzonificación sísmica y zonificación de peligro de tsunami en las ciudades de Chíncha Baja y Tambo de Mora." Lima: CISMID, 2008. <http://www.cismid-uni.org/redacis/articulos.php>.
- Cobo, Bernabé. *Historia de la fundación de Lima*. Lima: Imprenta Libera, 1629.
- Duarte Fonseca, João. *1755 O terramoto de Lisboa*. Lisboa: Argumentum, 2005.
- Earthquake Engineering Institute (EERI). "Learning from earthquakes: The Pisco, Peru Earthquake of August 15, 2007." EERI Special Earthquake Report. Oakland: EERI, 2007. [Http://www.eeri.org/lfe/pdf/peru\\_pisco\\_eeri\\_preliminary\\_reconnaissance.pdf](http://www.eeri.org/lfe/pdf/peru_pisco_eeri_preliminary_reconnaissance.pdf).
- Ferrigni, F., B. Helly, A. Mauro, L. Mendes Victor, P. Pierotti, A. Rideaud, y P. Teves Costa. *Ancient buildings and earthquakes: Reducing the vulnerability of historical built-up environment by recovering the local seismic culture: Principles, methods, potentialities*. Bari: Edipuglia, 2005.
- Gálvez, José. *Nuestra pequeña historia*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1966.
- García Bryce, J. *La arquitectura en el Virreinato y la República*. Historia del Perú, Procesos e instituciones, 9. Lima: Editorial Juan Mejía Baca, 1980: 11–161.

- Hardy, Mary, Claudia Cancino, y Gail Ostergren, eds. *Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium: Getty Center, Los Angeles, April 11–13, 2006*. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2009.
- Harth-Terré, E. *Perú: Monumentos históricos y arqueológicos*. México: Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1975.
- Harth-Terré, E., y A. Márquez Abanto. “Historia de la casa urbana virreinal en Lima.” *Revista del Archivo Nacional del Perú* 27, nro. 1 (1962): 1–100.
- Harvard University Centroid-Moment-Tensor Project (HU-CMT). <http://www.globalcmt.org/>.
- Hastings, C. Mansfield, y M. Edward Moseley. “The adobes of Huaca del Sol y Huaca de la Luna.” En *American antiquity* 40, nro. 2 (1975): 196–203.
- Instituto Geofísico del Perú. (IGP). [www.igp.gob.pe/](http://www.igp.gob.pe/).
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Ministerio de Energía y Minas del Perú. [www.ingemmet.gob.pe/](http://www.ingemmet.gob.pe/).
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). [www.indeci.gob.pe](http://www.indeci.gob.pe)
- International Seismological Centre (ISC). <http://www.isc.ac.uk/>.
- Ji, Chen, y Yuehua Zeng. “Preliminary results of the August 15, 2007 Mw 8.0 coast of central Peru earthquake.” United States Geological Survey Report, 2007. [http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2007/us2007gbcv/finite\\_fault.php](http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2007/us2007gbcv/finite_fault.php).
- Johansson, Jörgen, Paola Mayorca, Tatiana Torres, y Edwin Leon. “A reconnaissance report on the Pisco, Peru earthquake of August 15, 2007.” Informe realizado por Japan Society of Civil Engineers (JSCE), Japan Association for Earthquake Engineering (JAE) y University of Tokyo, en colaboración con Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), 2007. <http://www.jsce.or.jp/report/45/content.pdf>.
- Kanno, T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara, y Y. Fukushima. “A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data.” *Bulletin of the Seismological Society of America* 96, nro. 3 (2006): 879–97.
- Kuroiwa, Julio, y Joel Salas Peña. *Manual para el desarrollo de ciudades sostenibles*. Lima: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2008. [http://www.pnud.org.pe/data/publicacion/CiudadesSostenibles8\\_Cap6.pdf](http://www.pnud.org.pe/data/publicacion/CiudadesSostenibles8_Cap6.pdf).
- Lázares La Rosa, Fernando, Juan Pablo Almora, Jorge López Vásquez, Jorge Jonathan Cabrejos Hurtado, y Ramiro Piedra Rubio. “Análisis de acelerogramas sismo de Ica del 15 de agosto del 2007.” Lima: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), 2007. [http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis57\\_p.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis57_p.pdf).
- Lermo, Javier, Marlene Limaymanta, Yanet Antayhua, y Fernando Lázares. “El terremoto del 15 de Agosto de 2007 ( $M_w+7.9$ ), Pisco, Peru. Mapas de clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico para las ciudades de Pisco, Ica y Lima-Callao” *El terremoto de Pisco (Peru) del 15 de agosto de 2007 (7.9  $M_w$ )*, Editado por Hernando Tavera, 233–68. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 2008. [http://khatati.igp.gob.pe/Webs/cns06/libro/trabajo\\_17.pdf](http://khatati.igp.gob.pe/Webs/cns06/libro/trabajo_17.pdf).
- Ludeña Urquiza, Wiley, y José Ignacio López Soria. “La racionalidad ingeniero arquitectural.” *Construyendo el Perú: Aportes de ingenieros y arquitectos; Actas del I Congreso de Historia de la Ingeniería y la Arquitectura “Ernesto Malinowski”: 1 y 2 de julio de 1999, Colegio de Ingenieros del Perú*, 223–31. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Proyecto Historia-UNI, 2000.
- Marussi Castellan, F. *Antecedentes históricos de la quincha*. Lima: Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda INIVI, 1989.

- \_\_\_\_\_. “Bóveda a base de quincha en las edificaciones monumentales del virreinato del Perú.” En *Informes de la construcción* 37, nro. 377 (1986): 59–66.
- \_\_\_\_\_. “El adobe y la quincha.” *Navapalos 1987: Año Internacional de las Personas sin Hogar, III Encuentro de trabajo sobre la tierra como material de construcción*, 147–56. Madrid Servicio de Extensión Agraria: Ministerio de Agricultura y Pesca y Alimentación, 1990.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Norma Técnica de Edificación NTE E. 080 Adobe*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 1985
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <http://www.vivienda.gob.pe/>.
- National Peruvian Library. <http://www.bnpp.gob.pe/>.
- Office of the Resident Coordinator. *Situation report no. 21: Earthquake in Peru*. Lima: Sistema de Naciones Unidas en el Perú, 2007. <http://www.onu.org.pe/Upload/Documentos/sismo/SituationReportNo21.pdf>.
- Patronato de Lima. *Jornadas de Lima: Programa de toma de conciencia del centro histórico de Lima: Patrimonio cultural de la humanidad*. Lima: Duplotécnica S.A., 1992.
- Paz Soldán, Mateo. *Geografía del Perú: Obra póstuma del D.D. Mateo Paz Soldán*. Paris: F. Didot, 1862.
- Proyecto Regional de Patrimonio Cultural y Desarrollo PNUD UNESCO. “Adobe en América y Alrededor del Mundo, Historia, Conservación y Uso Contemporáneo. Exposición Itinerante.” *Adobe in the americas and around the world, history, conservation and contemporary use: Travelling exhibition*. Lima: Industrial Gráfica S.A., 1984.
- Real Academia Española. <http://www.rae.es/>.
- Reuter, Jas, Corporación Financiera de Desarrollo (COFIDE) y Proyecto Regional del Patrimonio Cultural PNUD/UNESCO. *¡Salvemos Lima!* Lima: Oficina de Asuntos Culturales de Cofide, 1982.
- San Cristóbal Sebastián, Antonio. *Arquitectura planiforme y textiligráfica virreinal de Arequipa*. Lima: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 1997.
- \_\_\_\_\_. *Arquitectura virreynal religiosa en Lima*. Lima: Librería Studium, 1988.
- \_\_\_\_\_. *Esplendor del Barroco en Ayacucho: Retablos y arquitectura religiosa en Huamanga*. Lima: Banco Latino: Ediciones Peisa, 1998.
- \_\_\_\_\_. *Fray Diego Maroto: Alarife de Lima, 1617-1696*. Lima: Epígrafe S.A. Editores, 1996.
- \_\_\_\_\_. *La catedral de Lima: Estudios y documentos*. Lima: Museo de Arte Religioso de la Catedral de Lima, 1996.
- \_\_\_\_\_. *Lima: Estudios de la arquitectura virreinal*. Lima: Epígrafe Editores, 1992.
- Seminario Stulpa, Patricia. “Teodoro Elmore y su aporte a la ingeniería y a rquitectura Peruana.” *Construyendo el Perú: Aportes de ingenieros y arquitectos: Actas del I Congreso de Historia de la Ingeniería y la Arquitectura “Ernesto Malinowski”: 1 y 2 de julio de 1999, Colegio de Ingenieros del Perú*, 80–94. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Proyecto Historia-UNI, 2000.
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). <http://www.sencico.gob.pe>.
- Silgado Ferro, Enrique. “Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513–1970).” En *Geofísica panamericana* 2, nro. 1 (1973): 179–243.

- Taucer, Fabio, John Alarcon, y Emily So. *2007 August 15 magnitude 7.9 earthquake near the central coast of central Peru*. Editado por Fabio Taucer, Joint Research Centre Scientific and Technical Reports. EUR 23359 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008. <http://elsa.jrc.ec.europa.eu/publications/JRC45107.pdf>.
- Tavera, Hernando. *El terremoto de Pisco (Peru) del 15 de agosto de 2007 (7.9  $M_w$ )*. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 2008. <http://khatati.igp.gob.pe/Webs/cns06/libro/indice.htm>.
- Tavera, Hernando, Isabel Bernal, y Henry Salas. *El sismo de Pisco del 15 de agosto, 2007 (7.9  $M_w$ ) Departamento de Ica – Peru (Informe preliminar)*. Lima: Peru, 2007. [http://khatati.igp.gob.pe/Webs/cns06/reportes/2007/sism\\_150807.pdf](http://khatati.igp.gob.pe/Webs/cns06/reportes/2007/sism_150807.pdf).
- Tavera, Hernando, Isabel Bernal, Fleur O. Strasser, Maria C. Arango-Gaviria, John E. Alarcón, y Julian J. Bommer. “Ground motions observed during the 15 August 2007 Pisco, Peru, earthquake.” *Bulletin of earthquake engineering* 7, nro. 1 (2009): 71–111.
- Tolles, E. Leroy, Edna E Kimbro, y William S Ginell. *Planning and engineering guidelines for the seismic retrofitting of historic adobe structures*. Los Angeles: J. Paul Getty Museum, 2003.
- Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Frederick A. Webster, y William S. Ginell. *Seismic stabilization of historic adobe structures: Final report of the Getty Seismic Adobe Project*. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2000.
- Tolles, E. Leroy, Frederick A. Webster, Anthony Crosby, y Edna E, Kimbro. *Survey of damage to historic adobe buildings after the January 1994 Northridge earthquake*. GCI Scientific Reports. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1996.
- Ulloa, Antonio, Jorge Juan, y Andrés Saumell. *Viaje a la América meridional*. Crónicas de América, 59A-B. Madrid: Historia 16, 1990.
- United States Geological Survey (USGS). Historic Worldwide Earthquakes. Peru. [http://earthquake.usgs.gov/regional/world/historical\\_country.php#peru](http://earthquake.usgs.gov/regional/world/historical_country.php#peru).
- \_\_\_\_\_. *Magnitude 8.0 – Near the coast of central Peru*. Earthquake Summary. <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2007/us2007gbcv/#summary>.
- Universidad Nacional de Ingeniería, Proyecto Historia-UNI. *Construyendo el Perú: Aportes de ingenieros y arquitectos: Actas del I Congreso de Historia de la Ingeniería y la Arquitectura “Ernesto Malinowski”: 1 y 2 de julio de 1999, Colegio de Ingenieros del Perú*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Proyecto Historia-UNI, 2000.
- Universidad Nacional de Ingeniería. *Construyendo el Perú II. Aportes de ingenieros y arquitectos, Actas del II Congreso de Historia de la Ingeniería y la Arquitectura en el Perú “Fernando Belaúnde Terry”: 28 y 29 de noviembre de 2000*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Proyecto Historia-UNI, 2001.
- Velarde, Héctor. *Aquitectura peruana*. México: Fonda de Cultura Económica, 1946.
- Wald, D.J., V. Quitoriano, T.H. Heaton, H. Kanamori, C.W. Scrivner, y C.B. Worden. “TriNet ShakeMaps: Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in Southern California.” *Earthquake spectra* 15, nro. 3 (1999): 537–55.
- Walker, Charles F. *Shaky colonialism. The 1746 earthquake-tsunami in Lima, Peru and its long aftermath*. Durham and London: Duke University Press, 2008.



# Créditos de las imágenes

## **Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional (CIDAP)**

Figuras 3.9, 3.10

## **Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)**

Figuras 2.7, 2.18, 2.19

## **Ferruccio Marussi Castellán**

Figuras 3.11–3.13

## **Juan Günther Doering**

Figuras 3.5–3.7

## **Google**

Figura 2.1

© 2011 Google-Imagery; © 2011 TerraMetrics, NASA; Map data © 2011 Geocentre Consulting, MapLink, Tele Atlas, Whereis (R), Sensis Pty.

Figura 2.2

© 2011 Google-Imagery; © 2011 TerraMetrics, NASA; Map data © 2011 DMapas/El Mercurio, Europa Technologies, Google, Lead Dog Consulting, MapLink, Inav/ Geosistemas SRL.

Figura 2.3

© 2011 Google-Map data; © 2011 DMapas/El Mercurio, Google, MapLink.

Figura 2.13

© 2011 Google-Imagery; © 2011 DigitalGlobe, Cnes/Spot Image, GeoEye.

Figura 3.8

© 2011 GeoEye, Google.

## **Instituto Geofísico del Perú**

Figura 2.4

## **Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Ministerio de Energía y Minas del Perú (INGEMMET)**

Figuras 2.8, 2.9, 2.14, 2.15, 2.17

**Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)**

Figuras 2.10–2.12, 2.16, 4.2 (map)

**J. Paul Getty Trust**

Figuras 3.15–3.17, 3.19, 3.20, 4.1, 4.2 (images), 4.3, 4.6, 4.9–4.11, 4.13, 4.15–4.17, 4.19, 4.21, 4.26, 4.27, 4.36 (Claudia Cancino, GCI)

Figures 4.2 (images), 4.7, 4.8, 4.20, 4.22, 4.25, 4.30, 4.33 (Philippe Garnier)

Figura 4.12 (Patricia Navarro Grau)

Figuras 3.1, 3.14 (Gail Ostergren, GCI)

Figuras 3.2–3.4 (GCI staff)

**Ministerio de Cultura del Perú [antes Instituto Nacional de Cultura del Perú (INC)]**

Figuras 4.2 (images), 4.4, 4.5, 4.14, 4.18, 4.23, 4.24, 4.28, 4.29, 4.31, 4.32, 4.34, 4.35, 4.37–4.39

**Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia, y la Cultura (UNESCO)**

Figura 3.18

**Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) [Antes Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI)]**

Figuras 3.21, 3.22

**United States Geological Survey**

Figuras 2.5, 2.6





The Getty Conservation Institute