

# “EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DEL CENTRO HISTÓRICO DE CHICLAYO”

J. Olarte<sup>1</sup>, J. Julca<sup>2</sup>, E. Orbegoso<sup>3</sup>

## RESUMEN

En esta investigación se introducen las definiciones de peligro y vulnerabilidad sísmica necesarias en la evaluación del riesgo sísmico. Para el peligro sísmico a escala regional se estimaron las máximas aceleraciones para Chiclayo, teniendo en cuenta las investigaciones de J. Alva (UNI) y A. Muñoz et al (PUCP). Estas aceleraciones corresponden a tres sismos con un periodo de retorno influyente en la vida útil de las construcciones existentes (sismos frecuente, ocasional y raro). Los valores estimados de aceleración son de 0,20 g, 0,25 g y 0,42 g respectivamente. Por otra parte, para el peligro sísmico a escala local se recopiló información de la zonificación geotécnica de Chiclayo (CISMID, 1992) y el mapa geológico de la zona (INGEMMET), complementando toda esta información con la realización del ensayo geofísico de microtrepidaciones en 50 puntos del cercado de la ciudad de Chiclayo, clasificando el área en 2 zonas: la zona “A” correspondiente a suelos con un periodo comprendido entre 0,5 y 0,7 seg., y la zona “B” con periodos comprendidos entre 0,7 y 0,9 seg. Con toda esta información recopilada y generada pudo caracterizarse la “zonificación geotécnica sísmica” del centro histórico de Chiclayo. La vulnerabilidad sísmica es evaluada con el método del Índice de Vulnerabilidad, donde se recogió la información de campo y se efectuó la evaluación de 2342 edificaciones. Del total de las estructuras evaluadas, el 49,5% representan las edificaciones de tierra (adobe y quincha), mientras que el 40% son de albañilería y el 10,5% de concreto armado. Las estructuras de adobe en general presentan una vulnerabilidad alta, mientras que las de albañilería y concreto armado presentan en promedio una vulnerabilidad media, con un considerable porcentaje de éstas con vulnerabilidad alta, esto debido a que Chiclayo esta atravesando un largo periodo de silencio sísmico y se ha ido descuidando las precauciones básicas de protección frente a terremotos. Relacionando los índices de vulnerabilidad de las edificaciones evaluadas con las funciones de vulnerabilidad calibradas para Chiclayo, se determinaron los índices de daño. Los escenarios de daño sísmico en la ciudad se presentan para los sismos frecuente, ocasional y raro. Finalmente el riesgo sísmico es mostrado en una curva de “pérdida máxima probable social (PML)”, donde se estima un 26,8% de pérdidas debido a daños en las estructuras para el sismo raro.

## OBJETIVO

El objetivo principal es determinar los posibles escenarios de daño en el cercado de Chiclayo, para diferentes niveles de intensidad sísmica. Asimismo realizar la zonificación geotécnica sísmica mediante el ensayo geofísico de microtrepidaciones, e implementar el método del índice de vulnerabilidad (Benedetti, *et al*, 1988). También determinar las funciones de vulnerabilidad calibradas para Chiclayo, las cuales determinarán los daños y pérdidas económicas para tres sismos escenarios considerados (sismos frecuente, ocasional y raro).

<sup>2</sup> Ingeniero Civil Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - [juliojulca@gmail.com](mailto:juliojulca@gmail.com)

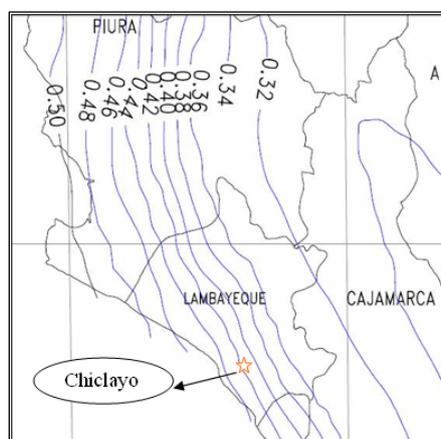
<sup>3</sup> Ingeniero Civil Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - [eduorbegoso1984@hotmail.com](mailto:eduorbegoso1984@hotmail.com)

## GENERALIDADES

La ciudad de Chiclayo se encuentra en la costa norte del Perú. Se encuentra ubicada geográficamente según latitud sur entre  $5^{\circ} 28' 37''$  y  $7^{\circ} 10' 27''$ , y longitud oeste entre  $79^{\circ} 53' 48''$  y  $80^{\circ} 37' 24''$ . La región Lambayeque conforma una de las “Macro Región Norte” con mejores potencialidades, que en corto y mediano plazo se convertirá en el polo de desarrollo del norte. Tiene una ubicación estratégica donde confluyen los pueblos del norte de la costa, sierra y selva, concentrando el mayor movimiento comercial, industrial y económico de todas estas regiones. Además, es el centro de un importante eje de vías de comunicación, como la carretera Panamericana y algunas vías de penetración. Por todo esto, Chiclayo tiene una gran importancia en el continuo desarrollo del país, la interrupción de sus actividades por un terremoto generaría cuantiosas pérdidas y un desequilibrio económico considerable.

## PELIGRO SÍSMICO REGIONAL

El análisis del peligro sísmico a escala regional, efectuado por J. Alva, se estima en términos de la tasa de excedencia de intensidades. Para ello utilizó la metodología implementada por Cornell en términos probabilísticos, la cual fue modificada e implementada por McGuire. Esta metodología integra información de las fuentes sísmogénicas, parámetros sísmológicos y leyes de atenuación, determinándose una curva de peligro sísmico donde se relaciona la intensidad sísmica en gals y la probabilidad anual de excedencia, asociada a un período de retorno. Debido a que la totalidad de edificaciones del área analizada son viviendas comunes, se consideró una vida útil de 50 años y tres intensidades sísmicas correspondientes a sismo frecuente, ocasional y raro, asociadas a periodos de retorno de 45, 75 y 475 años respectivamente.



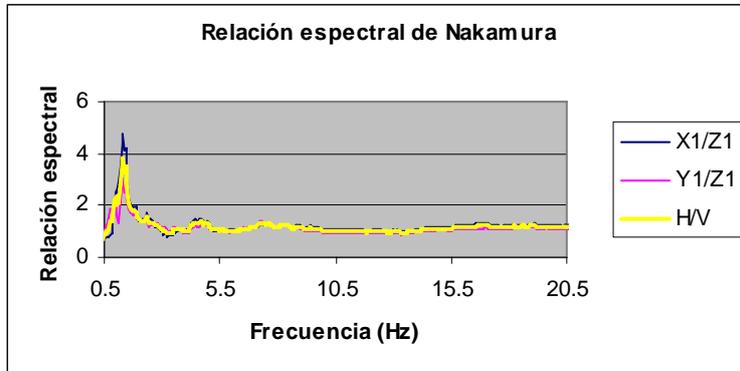
**Figura 1.-** Estimación de la aceleración para sismo de 475 años de periodo de retorno.  
Fuente: J. Alva H.

## PELIGRO SÍSMICO LOCAL

### Medición de microtrepidaciones.

El peligro sísmico a escala local se estima en base a la zonificación geotécnica, geología de la zona y ensayos de microtrepidaciones y refracción sísmica. En esta investigación se recopiló información de la zonificación geotécnica de Chiclayo (CISMID, 1992) y el mapa geológico de la zona (INGEMMET), complementando toda

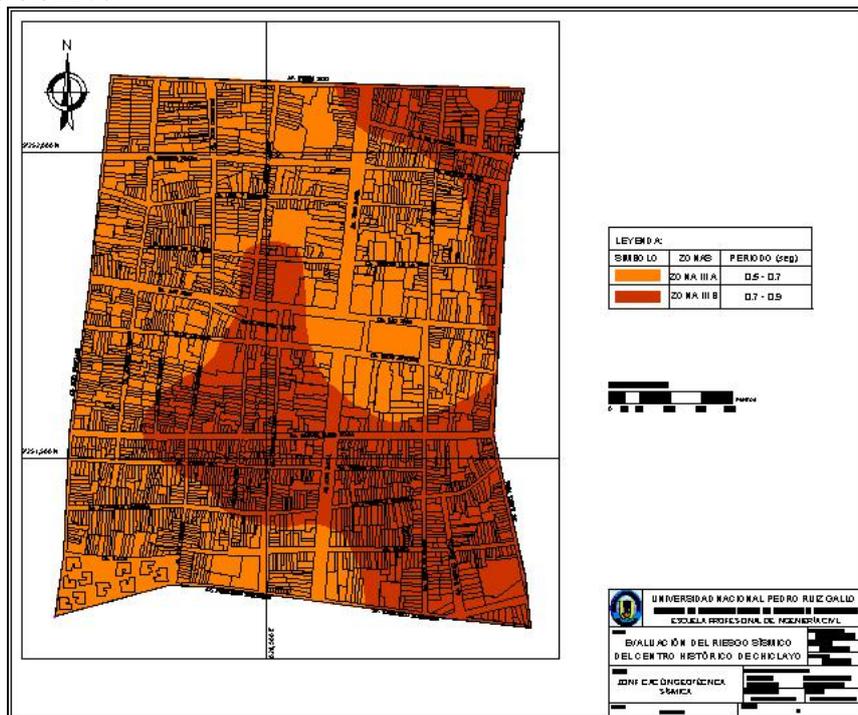
esta información con la realización del ensayo geofísico de microtrepidaciones en 50 puntos del cercado de la ciudad de Chiclayo, clasificando el área en 2 zonas: la zona “A” correspondiente a suelos con un periodo comprendido entre 0,5 y 0,7 seg., y la zona “B” con periodos comprendidos entre 0,7 y 0,9 seg. Con esta información recopilada y generada se caracterizó la “zonificación geotécnica sísmica” del centro histórico de Chiclayo.



**Figura 2.-** Relación espectral de registro de microtremor en el cercado de Chiclayo.

**Zonificación geotécnica – sísmica.**

La tendencia general de los estudios de microtrepidaciones es la de elaborar planos con curvas de isoperíodos. Estas curvas son trazadas interpolando los puntos con valores conocidos de períodos predominantes. Debido a que el área analizada es pequeña, se determinó un mapa de zonificación por períodos en vez de un mapa de curvas de isoperíodos. David Luna (CISMID) zonificó la ciudad de Chiclayo en 4 zonas geotécnicas y el centro histórico está comprendido íntegramente en la zona II, y por lo tanto si el área es homogénea, tanto geológica como geotécnicamente, será el plano de zonificación por períodos el que determine los detalles del mapa de zonificación geotécnico sísmico.



**Figura 3.-** Mapa geotécnico sísmico del cercado de Chiclayo.

## EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica se aplicó la “*metodología del Índice de Vulnerabilidad*” propuesta por los investigadores italianos Benedetti y Petrini.

### Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de adobe.

De acuerdo con la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, el índice de vulnerabilidad para edificaciones de adobe y de albañilería se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales que juegan un papel importante en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería. A cada parámetro se le atribuye, durante las observaciones de campo, una de las cuatro calificaciones A, B, C o D; siguiendo una serie de instrucciones detalladas con el propósito de minimizar las diferencias de apreciación entre los observadores. A cada una de estas calificaciones le corresponde un valor numérico “ $K_i$ ” que varía entre 0 y 45.

i	Parámetro	$K_i^*A$	$K_i^*B$	$K_i^*C$	$K_i^*D$	$W_i$
1	Org. del sistema resistente.	0	5	20	45	1,25
2	Calidad del sistema resistente.	0	5	25	45	0,25
3	Resistencia convencional.	0	5	25	45	1,5
4	Posición de edificio y ciment.	0	5	25	45	0,75
5	Diafragmas horizontales.	0	5	15	45	1,0
6	Configuración en planta.	0	5	25	45	0,5
7	Configuración en elevación.	0	5	25	45	1,0
8	Distancia entre columnas.	0	5	25	45	0,25
9	Tipo de cubierta.	0	15	25	45	1,0
10	Elementos no estructurales.	0	0	25	45	0,25
11	Estado de conservación.	0	5	25	45	1,0

**Tabla 1.-** Escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, para edificaciones de adobe y albañilería.

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso “ $W_i$ ”, que varía entre 0,25 y 1,5. Este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los parámetros dentro del sistema resistente del edificio. De esta forma, el índice de vulnerabilidad se define por la siguiente expresión:

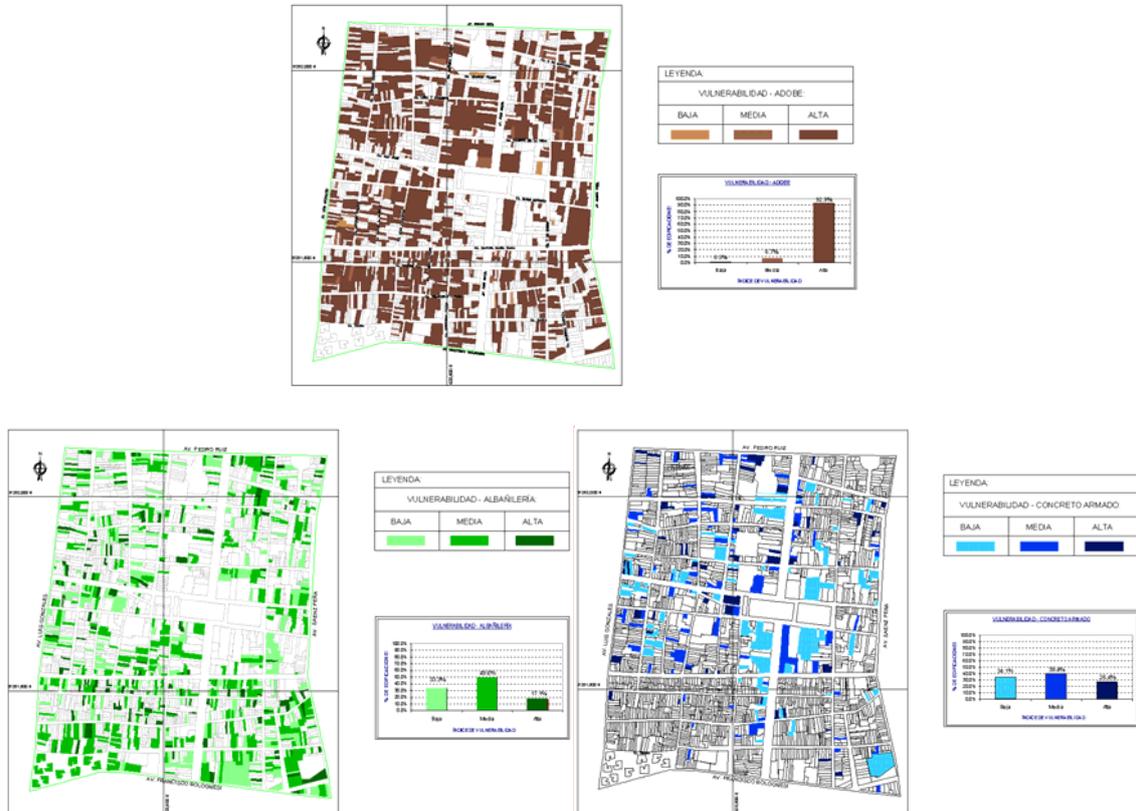
$$V = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i$$

### Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de concreto armado.

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras de concreto armado se utiliza un procedimiento similar considerando las características más importantes que influyen en el comportamiento sísmico de las estructuras. Para este caso se asigna solo tres calificaciones a diferencia de las cuatro propuestas para los edificios de adobe y albañilería.

## Resultados de la vulnerabilidad sísmica.

En esta investigación se evaluaron 2342 edificaciones, de los cuales 1160 son de adobe que representan el 49,5%, 936 edificaciones evaluadas son de albañilería las que representan el 40,0% y finalmente 246 son de concreto armado, las cuales representan el 10,5%.



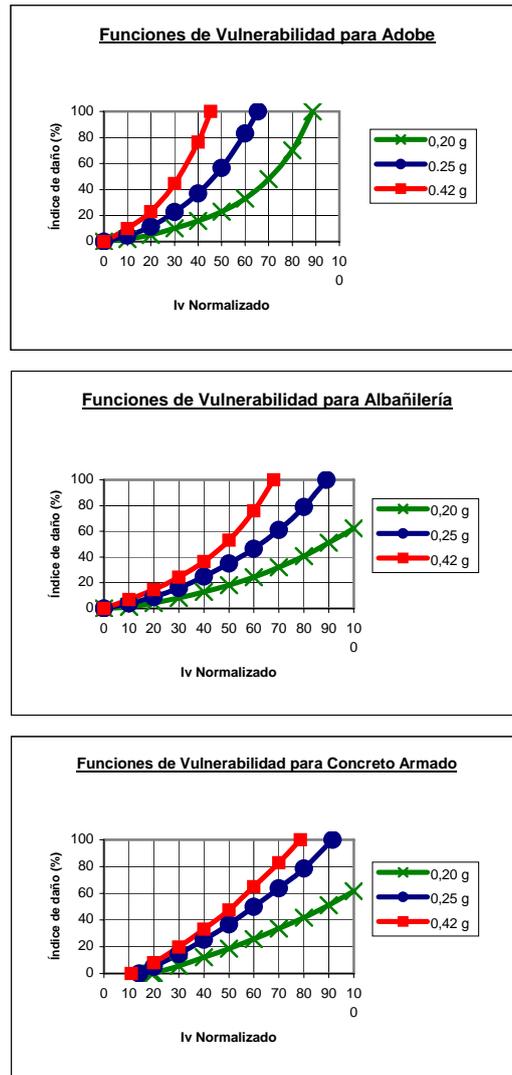
**Figura 4.-** Mapas de vulnerabilidad de edificaciones de adobe, albañilería y concreto armado del cercado de Chiclayo.

La totalidad de edificaciones de adobe presentan una alta vulnerabilidad (ver figura 5), esto quiere decir que la calidad estructural del adobe en la zona en estudio es pésima, puesto que dicho material por su gran peso atrae una considerable fuerza sísmica, la cual no puede ser resistida por ser un material débil, que se comporta frágilmente ante movimientos horizontales, pues casi no posee ductilidad. Además las construcciones de adobe son antiguas y esto ha producido el deterioro de las propiedades de los materiales que lo constituyen.

Para las edificaciones de albañilería, varios aspectos influyen en que cerca del 70% presentan vulnerabilidad media a alta, la mayoría de los cuales son resultado de la muy practicada autoconstrucción o construcción informal. En los edificios de concreto armado predomina la vulnerabilidad de baja a media, sin embargo existe un considerable porcentaje de éstas que tiene una vulnerabilidad alta, esto también es debido a varios aspectos que disminuyen la calidad de estas estructuras, como son los procedimientos constructivos deficientes con materiales de baja calidad y sin supervisión técnica, variedad de elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente, irregularidades en planta y elevación, entre otros.

## ESTIMACIÓN DE DAÑOS

Para estimar el daño estructural se calibraron funciones de vulnerabilidad para las tipologías existentes en la zona de estudio, las cuales relacionan el índice de vulnerabilidad (“Iv”) con el índice de daño estimado, condicionado por las aceleraciones máximas del suelo. Las edificaciones en el centro histórico de Chiclayo son predominantemente de uso común (viviendas), por lo que se consideraron tres intensidades sísmicas: el sismo frecuente, ocasional y raro con períodos de retorno de 45, 75 y 475 años.



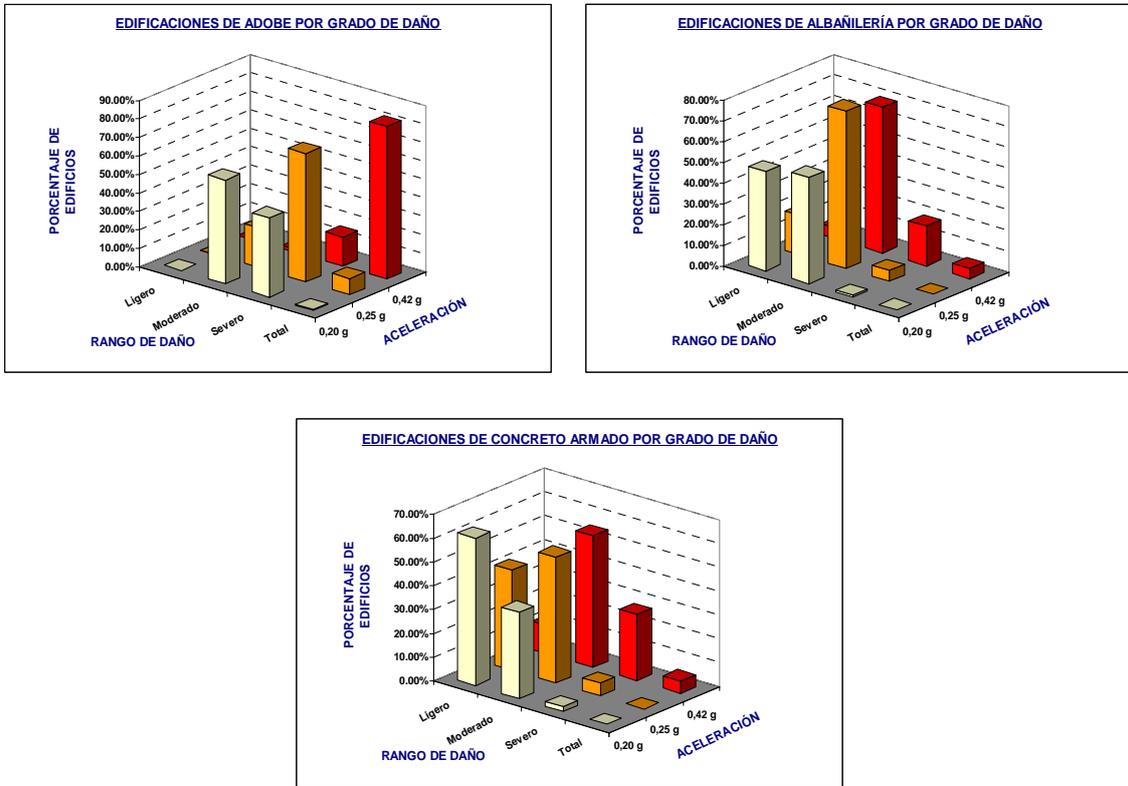
**Figura 5.-** Funciones de vulnerabilidad para edificaciones del cercado de Chiclayo.

Los niveles de daño se tomaron de los propuestos por la EERI (Earthquake Engineering Research Institute) y se muestran en la siguiente tabla.

Nivel de daño	Rango de daño (%)
Ligero	0 - 5
Moderado	5 - 25
Severo	25 - 50
Total	50 - 100

**Tabla 2.- Rangos de daño. (EERI)**

Con las funciones de vulnerabilidad calibradas, se pueden estimar los índices de daño en función de los valores de índice de vulnerabilidad y las intensidades sísmicas propuestas.



**Figura 6.-** Resultados de los niveles de daño en edificaciones de adobe, albañilería y concreto armado.

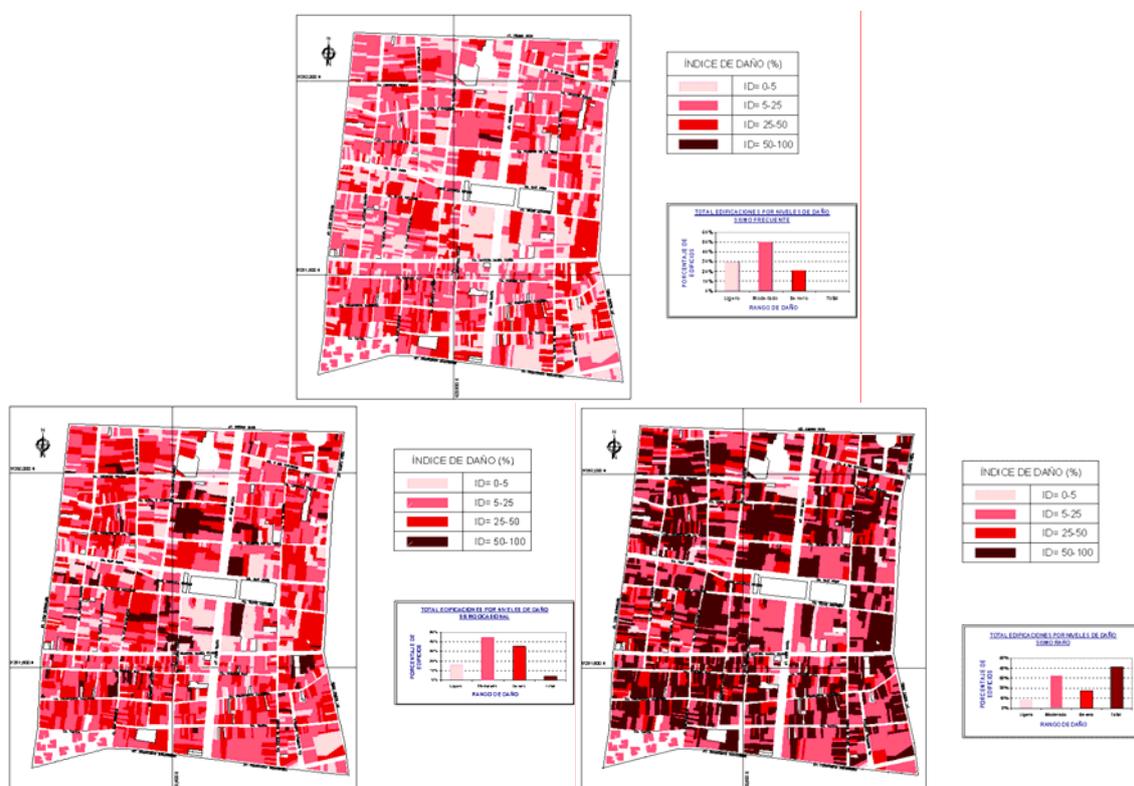
	Daño obtenido para aceleración en roca					
	0,20 g		0,25 g		0,42 g	
Nivel de daño	N° lotes	%	N° lotes	%	N° lotes	%
<b>Ligero</b>	605	25,83%	283	12,08%	81	3,46%
<b>Moderado</b>	1224	52,26%	1091	46,58%	812	34,67%
<b>Severo</b>	510	21,78%	866	36,98%	431	18,40%
<b>Total</b>	3	0.13%	102	4,36%	1018	43,47%
<b>TOTAL</b>	<b>2342</b>	<b>100%</b>	<b>2342</b>	<b>100%</b>	<b>2342</b>	<b>100%</b>

**Tabla 3.-** Daño obtenido de las edificaciones evaluadas, para diferentes demandas sísmicas.

Para el escenario de daño más crítico que correspondiente al sismo raro, se puede notar que el 34,67% de las edificaciones sufrirían un daño moderado, el 18,4% sufrirían un daño severo y más del 43,47% del total de las edificaciones evaluadas requerirían demolición o habrían sufrido colapso.

## ESCENARIOS DE DAÑO

Los mapas de escenarios de daño son determinados en base a los valores de índices de daño calculados para cada edificación. Los colores se asignan tratando de representar, el más claro a los de menor daño y el más intenso a los de mayor daño estimado.



**Figura 7.-** Escenarios de daño para sismos frecuente, ocasional y raro en el cercado de Chiclayo.

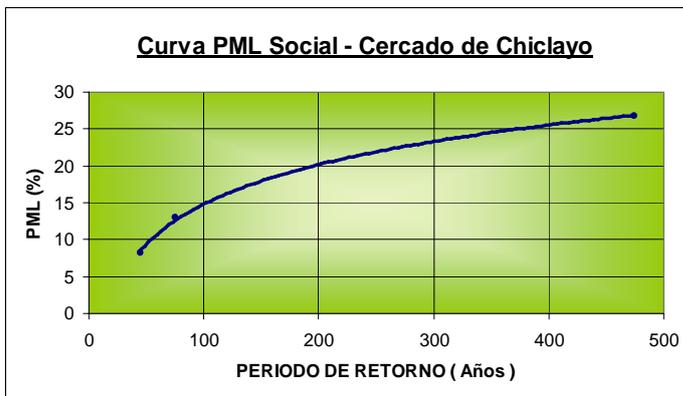
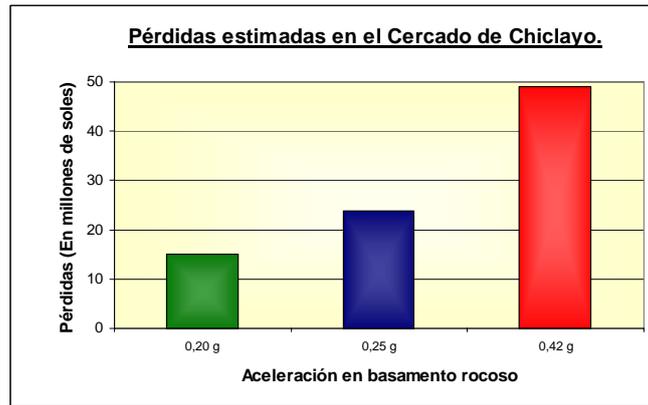
## PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE SOCIAL (PML)

Se puede observar la distribución de pérdidas en función del período de retorno, los cuales están relacionados con la aceleración esperada en la zona para diferentes tasas de excedencia. Estos resultados nos sirven para estimar la “**Pérdida Máxima Probable Social (PML)**”, el cual es un estimador del tamaño de las pérdidas máximas que serían razonables esperar en el cercado de Chiclayo durante un tiempo de exposición dado. El valor estimado de las edificaciones es de 183 millones de soles. Para los sismos frecuente, ocasional y raro se estiman pérdidas económicas de 8,2%, 13,0% y 26,8% respectivamente.

Sismo	Frecuente	Ocasional	Raro
% de pérdidas económicas	8,2%	13,0%	26,8%
Pérdidas económicas totales	S/. 15'087,000	S/. 23'872,000	S/. 49'005,000

**Tabla 4.-** Pérdidas económicas estimadas para el cercado de Chiclayo.

## Pérdidas económicas en el mercado de Chiclayo.



Periodo de retorno (años)	% Daño
45	8,2%
75	13,0%
475	26,8%

**Figura 8.- Estimación de PML social.**

Las pérdidas que se esperan son debido a daños en las estructuras, sin considerar el contenido de las edificaciones ni pérdidas debido al no funcionamiento de servicios que puedan prestar (lo que se denomina pérdidas por contenido y lucro cesante respectivamente).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones.

Casi la totalidad de edificaciones de adobe presenta una vulnerabilidad alta. Además las edificaciones de albañilería y concreto armado presentan una vulnerabilidad entre baja a media.

La vulnerabilidad alta de las edificaciones de adobe se debe principalmente a que ofrecen una mala resistencia convencional, además casi no poseen ductilidad. Esto sumado a la presencia de humedad en casi la totalidad de ellas, debido a la napa freática elevada, origina que los enlaces entre las partículas de arcilla del adobe se debiliten, lo que origina un pésimo comportamiento sísmico de las edificaciones de adobe.

Con respecto a los escenarios de daño para las diferentes aceleraciones esperadas, para el sismo raro se tendría daño severo en 1449 edificaciones, la mayoría de adobe, así como varias edificaciones de albañilería y algunas de concreto armado.

Las zonas de mayor riesgo sísmico están dispersas en toda la ciudad, pues las edificaciones de adobe están dispersas en toda el área.

Es fundamental transferir los resultados obtenidos a los organismos con responsabilidad de gestión de la protección civil para elaborar planes de mitigación.

### **Recomendaciones.**

Se debería de hacer un convenio entre los diversos programas que ofrecen viviendas a bajos costos por parte del Ministerio de Vivienda, Gobierno Regional, Gobierno Provincial y las familias que viven en las zonas más críticas según los mapas de los escenarios de daño, para tratar de hacer entender a estas familias que en vista de la precariedad de sus viviendas y de acuerdo a su situación económica, brindarles todas las facilidades para que accedan a una vivienda nueva a costos bajos y de esta manera las familias se puedan trasladar a edificios de menor vulnerabilidad. En tanto las viviendas que abandonarían, se recomienda venderlas a quienes tengan los medios económicos de demolerlas y construir nuevos edificios.

Para las ciudades de la costa peruana, recomendamos la puesta en marcha de programas de manejo del riesgo sísmico para lo cual se requiere de liderazgo, compromiso y supervisión continua por parte de los personeros de gobierno y de los líderes comunitarios para formar un consejo de asesoría.

*“El consejo asesor para la seguridad sísmica”* asesoraría y capacitaría a las entidades gubernamentales locales y al sector privado en cuanto a la preparación ante terremotos y a la gestión del riesgo sísmico. También sería responsable de establecer las prioridades de mitigación basándose en la amenaza sísmica, de desarrollar y administrar un programa de manejo del riesgo sísmico que debería ser supervisado y actualizado regularmente, de abogar por la incorporación de medidas de mitigación dentro del proceso de desarrollo urbano, de buscar financiamiento local e internacional para los proyectos de evaluación y mitigación del riesgo sísmico, entre otros.

Toda la información generada en la presente evaluación del riesgo sísmico del cercado de Chiclayo será de mucha utilidad en la *“implementación del sistema catastral”*. Un catastro urbano eficaz es una herramienta estupenda para la **toma de decisiones**, tanto para los gobiernos locales y/o municipalidades como para los vecinos o usuarios externos.

El *consejo asesor* y la *implementación del sistema catastral*, deberían ser tomados en cuenta por las autoridades en el desarrollo sostenible de la ciudad de Chiclayo.

### **REFERENCIAS**

- Alva, J. y Escalaya, M. “Actualización de los parámetros sismológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú”.
- Alva, J. y Escalaya, M. “Los sismos en el Perú y el comportamiento de las edificaciones”, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Alva, J., Meneses, J., y Huamán, C. “Microzonificación sísmica de La Punta y el Callao”.
- Blondet, M., Villa, G. y Brzev S. “Construcciones de adobe resistentes a los terremotos”. Pontificia Universidad Católica del Perú y British Columbia Institute of Technology.

- Blondet, M., Villa, G. y Loaiza, C. “¿Viviendas sismorresistentes de tierra?, Una visión a futuro”. Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Iquitos-Perú.
- Bonett, R. (2003) – “Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada”. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña – Barcelona, España.
- Castillo, A. (2005), “Seismic Risk Scenarios for Buildings In Mérida, Venezuela. Detailed Vulnerability Assessment for Non-Engineered Housing”. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña – Barcelona, España.
- Castro-Cuba, M., Chang, L. y Salas, L. “Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua”. CISMID, Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Iquitos-Perú.
- CISMID (2003), “Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico de la Gran Lima y Callao”, APESEG/CISMID-EVR-LYC-Fase I”, Asociación Peruana de Empresas de Seguros-APESEG, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres-CISMID, Lima, Perú.
- Earthquake Engineering Research Institute (EERI – March 2006). “Guidelines for developing an earthquake scenario”, EE.UU.
- Herráiz, M. (1997), “Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros”, CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Kuroiwa, J. (2002) “Reducción de desastres”, Viviendo en armonía con la naturaleza.
- Mena, U. (2002) – “Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas”. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña – Barcelona, España.
- Moreno, R. “Vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Moquegua”. CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Moreno, R., y Aguilar, Z., (2003). “Análisis del riesgo sísmico de la ciudad de Moquegua usando sistemas de información geográfica”. Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Iquitos-Perú.
- Muñoz, A., Tinmac, M., y Quiun, D. “Riesgo sísmico de edificios peruanos”, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Olarte, J., Zavala, C., Aguilar, Z. Vásquez G, y Escobar, R. (2003), “Estimación de la pérdida máxima probable PML en 10 distritos de la Gran Lima y Callao: Aplicación a la industria aseguradora peruana”, Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Iquitos-Perú.
- Olarte J., Aguilar Z., Zavala C., Romaní S. y Escobar R. (2005), “Estimación de la pérdida máxima probable PML en Lima y Callao: Aplicación a la industria aseguradora peruana”, XIX Simposio Internacional. Últimos Avances en la Ingeniería Sísmica y Gestión del Riesgo de los Desastres, CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Quispe N. (2004), “Evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Ayacucho”, Tesis de Maestría, Sección de postgrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- San Bartolomé, A. (1994), “Construcciones de albañilería”, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- San Bartolomé, A. (1999), “Análisis de edificios”, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- San Bartolomé, A., Quiun, D., y Zegarra, L. “Técnicas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe”, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Zavala, C. y Alarcón, S. “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones en el distrito de La Molina”, CISMID – Universidad Nacional de Ingeniería.