

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**PLAN DE GESTIÓN DE ESCOMBROS PRODUCIDOS POR COLAPSO  
DE EDIFICACIONES EN CASO DE SISMO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA CIVIL**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. ATAHUALPA VEGA, ANDREA FABIOLA**

**Bach. FRÍAS DÁVILA, JULIO CÉSAR**

**ASESOR: PhD. ESTRADA MENDOZA, MIGUEL LUIS**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, que son mi inspiración, cada uno a su manera. Por el profundo amor que me han brindado y todas las enseñanzas compartidas que han motivado cumplir mis metas y sueños sin rendirme.

Andrea Fabiola Atahualpa Vega.

Dedicado a mis padres Julio y Karen, por siempre apoyarme en todos los aspectos de mi vida, a mi hermano Christian, por estar siempre dispuesto a ayudarme en mi día a día, a mi abuela Carmen y mi tía Marisol por su apoyo sin condiciones y, finalmente a mi abuelo Julio, que siempre lo recuerdo como la persona más noble.

Julio César Frías Dávila.

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro sincero agradecimiento a nuestras familias, por ser soporte y apoyo permanente. A la Universidad Ricardo Palma, donde hemos adquirido valiosos conocimientos. A nuestros asesores Dr. Ing. Carlos Chávarry y PhD. Miguel Estrada por las recomendaciones, apoyo y aliento brindado. A todas las personas que contribuyeron de alguna manera con el desarrollo de esta tesis, como el Mg. Ing. Carlos Mesta, Mg. Ing. Alberto Quiroz y el Arq. Julio Atahualpa. Muchas gracias por su disposición y amabilidad.

Andrea Atahualpa y Julio Frías

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	3
1.2 Formulación del problema .....	5
1.2.1 Problema general .....	5
1.2.2 Problemas específicos .....	5
1.3 Objetivos de la investigación .....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	5
1.4 Delimitación de la investigación .....	6
1.4.1 Geográfica .....	6
1.4.2 Temporal .....	6
1.4.3 Temática .....	6
1.4.4 Muestral .....	6
1.5 Justificación del estudio .....	6
1.5.1 Conveniencia .....	6
1.5.2 Relevancia social .....	7
1.5.3 Aplicaciones prácticas .....	7
1.5.4 Utilidad metodológica .....	8
1.5.5 Valor teórico .....	8
1.6 Importancia del estudio .....	8
1.6.1 Nuevos conocimientos .....	8
1.6.2 Aporte .....	8
1.7 Limitaciones del estudio .....	9
1.7.1 Falta de estudios previos de investigación .....	9
1.7.2 Metodológicos o prácticos .....	9
1.7.3 Medidas para la recolección de los datos .....	9
1.7.4 Obstáculos en la investigación .....	9
1.8 Alcance .....	9
1.9 Viabilidad del estudio .....	10

1.9.1 Tiempo.....	10
1.9.2 Espacio.....	10
1.9.3 Condiciones económicas .....	10
1.9.4 Fuentes de información.....	10
1.9.5 Recolección de datos .....	10
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1 Marco histórico.....	11
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema .....	13
2.2.1 Investigaciones internacionales .....	13
2.2.2 Investigaciones nacionales.....	15
2.2.3 Artículos relacionados con el tema.....	17
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	19
2.3.1 Sismos.....	19
2.3.2 Peligro sísmico.....	24
2.3.3 Vulnerabilidad sísmica .....	27
2.3.4 Riesgo sísmico .....	29
2.3.5 Sismos más importantes ocurridos a través del tiempo .....	29
2.3.6 Ajuste espectral de registro sísmico .....	32
2.3.7 Análisis dinámico tiempo – historia .....	32
2.3.8 Metodología HAZUS.....	33
2.3.9 Gestión del riesgo de desastres .....	40
2.3.10 Gestión de escombros .....	42
2.3.11 Problemática de las escombreras .....	48
2.3.12 Softwares y metodologías relacionados al tema.....	56
2.4 Definición de términos básicos.....	57
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>61</b>
3.1 Hipótesis .....	61
3.1.1 Hipótesis general .....	61
3.1.2 Hipótesis específicas.....	61
3.2 Sistema de variables.....	62
3.2.1 Definición conceptual.....	62
3.2.2 Definición operacional.....	62
3.2.3 Operacionalización de las variables.....	63

<b>CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>65</b>
4.1. Método de la investigación .....	65
4.2. Tipo de la investigación.....	65
4.3. Nivel de la investigación.....	65
4.4. Diseño de la investigación .....	65
4.5 Población y muestra.....	66
4.5.1 Población .....	66
4.5.2 Muestra .....	66
4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	67
4.6.1 Técnica y método.....	67
4.6.2 Herramientas.....	67
4.6.3 Instrumentos .....	67
4.6.4 Presentación de resultados .....	67
4.6.5 Procesamiento de datos.....	68
4.7 Descripción de procedimientos de análisis.....	68
4.8 Descripción de metodología .....	68
4.8.1 Generación del inventario de edificaciones.....	69
4.8.2 Estimación del stock de materiales en las edificaciones .....	69
4.8.3 Clasificación de los estados de daño de las edificaciones .....	70
4.8.4 Estimación de pérdidas en el stock de materiales en las edificaciones .....	71
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>72</b>
5.1 Centro Histórico de Lima .....	72
5.1.1 Antecedentes.....	72
5.1.2 Delimitación .....	73
5.1.3 Materiales característicos de edificaciones.....	74
5.2 Selección del área de estudio .....	75
5.3 Delimitación del sector de estudio.....	76
5.4 Generación del inventario de edificaciones .....	77
5.5 Procesamiento de información.....	78
5.5.1 Recolección de información .....	78
5.5.2 Procesamiento de datos en software ArcGIS Pro v2.8.....	79
5.5.3 Procesamiento de datos en software Pix4D.....	79
5.5.4 Estimación del stock de materiales en las edificaciones .....	86

5.5.5 Levantamiento en campo .....	86
5.6 Clasificación de los estados de daño de las edificaciones .....	87
5.6.1 Escalamiento en SeismoMatch 2021 .....	89
5.6.2 Modelamiento en ETABS 19.....	91
5.6.3 Relación de derivas con daño según manual de HAZUS .....	96
5.7 Análisis del stock de materiales en las edificaciones .....	96
5.7.1 Área techada .....	96
5.7.2 Intensidad de material.....	97
5.8 Estimación del stock de material del área de estudio .....	98
5.9 Resultados de la evaluación de daño en las edificaciones .....	102
5.10 Resultados de la estimación de pérdidas en las edificaciones .....	103
5.10.1 Pérdidas en el stock de materiales por toneladas.....	103
5.10.2 Pérdidas en el stock de materiales por volumen.....	106
5.10.3 Distribución espacial de las pérdidas materiales .....	111
5.11 Plan de gestión de escombros .....	112
5.11.1 Identificación de categoría y clasificación de residuos de desastres .....	114
5.11.2 Estimación de la cantidad generada.....	118
5.11.3 Fase de recuperación o reconstrucción y gestión de residuos .....	119
5.11.4 Esquema de procesos de separación y disposición de residuos de desastres .....	120
5.11.5 Planificación de la estrategia de separación y tratamiento .....	122
5.11.6 Remoción de casas colapsadas .....	126
5.11.7 Selección y funcionamiento de los lugares de almacenamiento temporal .	127
5.11.8 Selección y funcionamiento de los lugares de almacenamiento.....	129
5.11.9 Gestión de residuos en refugios de evacuación .....	130
5.11.10 Reciclaje de concreto .....	131
5.12 Herramientas geomáticas en el plan de gestión de escombros .....	132
5.13 Contrastación de hipótesis .....	135
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>138</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>140</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>142</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>144</b>

<b>ANEXOS.....</b>	<b>153</b>
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	153
Anexo 2. Áreas potenciales como escombreras según el estudio SIRAD.....	154
Anexo 3. Mapa de ubicación .....	157
Anexo 4. Mapas de distribución del stock de materiales.....	158
Anexo 5. Mapas de distribución espacial del daño estructural por tipologías.....	164
Anexo 6. Mapas de distribución espacial del daño estructural.....	172
Anexo 7. Mapas de distribución espacial de pérdidas materiales en las edificaciones	175
Anexo 8. Mapa de evacuación de escombros .....	179

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Epicentro y foco de un sismo .....	20
Figura 2: Proceso del ajuste espectral.....	32
Figura 3: Proceso del análisis tiempo - historia.....	33
Figura 4: Rellenos sanitarios autorizados en Lima Metropolitana y Callao.....	50
Figura 5: Rellenos sanitarios autorizados en Lima Metropolitana y Callao.....	53
Figura 6: Situación actual de los terrenos identificados como escombreras potenciales en cuanto a su uso para depósito de residuos sólidos y escombros.....	55
Figura 7: Barrios Altos y su localización a escala metropolitana, distrital y barrial. ....	75
Figura 8: Sector de estudio. ....	77
Figura 9: Vista aérea del área de estudio, Barrios Altos.....	78
Figura 10: Vista frontal de viviendas dentro del área de estudio, Barrios Altos. ....	79
Figura 11: Modelo 3D del área de estudio en el entorno Pix4D.....	80
Figura 12: Medición de alturas de edificaciones en el entorno Pix4D. ....	80
Figura 13: Medición de volúmenes en entorno Pix4D .....	81
Figura 14: Edificación de adobe de un piso en Barrios Altos. ....	83
Figura 15: Edificación de adobe de dos pisos en Barrios Altos. ....	83
Figura 16: Edificación de albañilería de un piso en Barrios Altos. ....	84
Figura 17: Edificación de albañilería de dos pisos en Barrios Altos. ....	84
Figura 18: Edificación de albañilería de tres pisos en Barrios Altos.....	85
Figura 19: Edificación de albañilería de cuatro pisos en Barrios Altos.....	85
Figura 20: Lotización y áreas en ArcGIS Pro v2.8.....	86
Figura 21: Trabajo realizado en campo. ....	87
Figura 22: Registro de aceleraciones en la dirección EW del sismo de Lima 1966.....	88
Figura 23: Registro de aceleraciones en la dirección NS del sismo de Lima 1966.....	89
Figura 24: Elaboración de espectro objetivo para el escalamiento del registro en 0.30g.....	90
Figura 25: Acelerograma escalado para 0.30 g.....	90
Figura 26: Modelado de vivienda de albañilería de dos pisos en ETABS 19. ....	91
Figura 27: Modelado de vivienda de adobe de un piso en ETABS 19.....	91
Figura 28: Definición de las propiedades de los materiales en ETABS 19.....	92
Figura 29: Definición de las propiedades de los materiales en ETABS 19.....	93
Figura 30: Asignación de cargas para el modelamiento en ETABS 19.....	93

Figura 31: Función tiempo – historia en ETABS 19. ....	94
Figura 32: Asignación de caso tiempo – historia en ETABS 19. ....	95
Figura 33: Asignación de caso tiempo – historia en ETABS 19. ....	95
Figura 34: Relación derivas – estado de daño según manual de HAZUS. ....	96
Figura 35: Cálculo de ratios en unidades de kg/m <sup>2</sup> y m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> según tipología. ....	98
Figura 36: Porcentaje de composición del stock de materiales en toneladas. ....	99
Figura 37: Porcentaje de composición del stock de materiales en volumen. ....	99
Figura 38: Distribución espacial del adobe en volumen. ....	100
Figura 39: Porcentaje de contribución de las tipologías al stock de materiales en toneladas. ....	101
Figura 40: Porcentaje de contribución de las tipologías al stock de materiales en volumen. ....	101
Figura 41: Distribución espacial del estado de daño para el escenario 0.60 g. ....	102
Figura 42: Pérdidas materiales en toneladas según escenario sísmico para las tipologías. ....	103
Figura 43: Pérdidas materiales por material de construcción en toneladas según escenario sísmico. ....	106
Figura 44: Pérdidas materiales en volumen según escenario sísmico para las tipologías. ....	107
Figura 45: Pérdidas materiales por material de construcción en volumen según escenario sísmico. ....	111
Figura 46: Flujo de estimación de la cantidad de residuos de desastre ....	118
Figura 47: Esquema de los procesos para la separación y eliminación de residuos de desastres. ....	120
Figura 48: Esquema de los procesos para la separación y eliminación de residuos de desastres. ....	125
Figura 49: Vista panorámica del modelo 3D en línea ....	133
Figura 50: Vista general del área en línea. ....	133
Figura 51: Entorno de plataforma ArcSurvey. ....	134
Figura 52: Herramienta de búsqueda de EPA. ....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de la escala de Mercalli modificada .....	22
Tabla 2: Parámetro de peligro sísmico .....	25
Tabla 3: Sismos de diseño para la construcción de espectros de peligro sísmico .....	26
Tabla 4: Sismos de diseño para la construcción de espectros de peligro sísmico .....	26
Tabla 5: Sismos más destructivos ocurridos los últimos cinco siglos en el Perú. ....	30
Tabla 6: Niveles de diseño sísmico adaptados a la norma peruana. ....	34
Tabla 7: Clasificación por tipo de edificación. ....	35
Tabla 8: Estados de daño para muros de carga de mampostería no reforzada (URM)...	37
Tabla 9: Estados de daño para muros de carga de mampostería reforzada con diafragmas de concreto prefabricado (RM2) .....	38
Tabla 10: Derivas de entrepiso según nivel de diseño sísmico y tipo de edificación....	39
Tabla 11: Porcentaje de escombros generados por tipología y estado de daño.....	39
Tabla 12: Áreas potenciales para escombreras en función del uso actual y del tamaño. ....	54
Tabla 13: Definición conceptual de las variables. ....	62
Tabla 14: Definición operacional de las variables.....	62
Tabla 15: Operacionalización de las variables. ....	63
Tabla 16: Indicadores e índices de las variables.....	64
Tabla 17: Cantidad de viviendas por tipo de material predominante en el CHL - 2007.....	74
Tabla 18: Distribución de viviendas para la zona de estudio. ....	81
Tabla 19: Tipologías características del área de estudio.....	82
Tabla 20: Propiedades de los materiales.....	92
Tabla 21: Descripción de tipologías. ....	97
Tabla 22: Contribución de las tipologías al stock de materiales en toneladas.....	100
Tabla 23: Estados de daño para cada tipología según escenario sísmico. ....	102
Tabla 24: Pérdidas materiales por material de construcción en toneladas según escenario sísmico.....	105
Tabla 25: Pérdidas materiales en volumen según escenario sísmico para las tipologías. ....	108
Tabla 26: Pérdidas materiales en volumen según escenario sísmico para las tipologías.....	108

Tabla 27: Pérdidas materiales en volumen considerando 100% de pérdidas para el estado extensivo.....	109
Tabla 28: Volúmenes finales según escenario sísmico considerando factor de esponjamiento.....	109
Tabla 29: Volúmenes finales según escenario sísmico considerando factor de esponjamiento y 100% de pérdidas en el estado extensivo.....	109
Tabla 30: Pérdidas por material de construcción en volumen según escenario sísmico.....	110
Tabla 31: Categoría de residuos y zonificación en caso de sismo o tsunami .....	115
Tabla 32: Gestión de residuos en fases de gestión de desastre .....	119

## RESUMEN

Los sismos son fenómenos naturales que pueden causar grandes desastres en la sociedad, entre ellos los daños a la infraestructura de viviendas, ocasionando la pérdida parcial o total de los componentes estructurales. Esto se convierte en excesivas cantidades de escombros que necesitarán ser removidos y eliminados inmediatamente post-desastre, sin embargo, la remoción, disposición y su reciclaje no son, generalmente, tomados en cuenta en la preparación ante desastres. La presente investigación tiene como objetivo proponer un plan para gestionar los escombros producidos por el colapso de edificaciones en caso de sismo en un sector de Barrios Altos. Se aplicó parte de la metodología desarrollada por García (2016) y las mejoras propuestas por Mesta (2017). La metodología aplicada incluye una etapa de caracterización de edificaciones residenciales haciendo uso de herramientas geomáticas y estimación del estado de daño según cuatro escenarios sísmico con un análisis de tiempo – historia hacia la estimación de las cantidades y volúmenes de escombros generados. La investigación emplea un método deductivo con enfoque mixto, de tipo descriptivo, explicativo y correlacional. Un nivel descriptivo con diseño observacional, transversal, prospectivo y de cohorte. Al tener grandes cantidades de escombros en una emergencia donde se tiene además una interrupción importante en el área afectada, se reconoce la necesidad de implementar estrategias apropiadas para el manejo de escombros. En esta investigación se logran obtener cantidades de volumen que deberán ser removidos y eliminados, se proponen rutas de evacuación y se identifican lugares de disposición autorizados para estos escombros.

**Palabras clave:** escombros, sismos, gestión de escombros, herramientas geomáticas, estado de daño.

## ABSTRACT

Earthquakes are natural phenomena that can cause major disasters in society, including damage to housing infrastructure, causing the partial or total loss of structural components. This turns into excessive amounts of debris that will need to be removed and disposed of immediately post-disaster, however, removal, disposal, and recycling are generally not considered in disaster preparedness. The present research aims to propose a plan to manage the debris produced by the collapse of buildings in the event of an earthquake in a sector of Barrios Altos. Part of the methodology developed by García (2016) and the improvements proposed by Mesta (2017) were applied. The applied methodology includes a stage of characterization of residential buildings using geomatic tools and estimation of the state of damage according to four seismic scenarios with a time-history analysis towards the estimation of the amounts and volumes of debris generated. The research uses a deductive method with a mixed approach, descriptive, explanatory and correlational. A descriptive level with an observational, cross-sectional, prospective and cohort design. By having large amounts of debris in an emergency where there is also a major disruption in the affected area, the need to implement appropriate debris management strategies is recognized. In this investigation, it is possible to obtain quantities of volume that must be removed and eliminated, evacuation routes are proposed and authorized disposal places for this debris are identified.

**Key words:** debris, earthquake, debris management, geomatic tool, state of damage.

## INTRODUCCIÓN

A través de los años, fuertes terremotos han afectado a nuestro país, dejando evidencia el riesgo sísmico al que se encuentra expuesto el Perú. La amenaza sísmica es latente en nuestro territorio al estar ubicados en el denominado Cinturón del Fuego del Pacífico caracterizado por ser contener las zonas con mayor actividad sísmica del mundo. El último gran antecedente de desastre por acción sísmica dentro del territorio nacional pertenece al sismo en la ciudad portuaria de Pisco en el año 2007, el cual contó con una problemática de suma importancia, la gran generación de escombros después del sismo, más de 2 000 000 m<sup>3</sup> de escombros generados.

La falta de un plan de específico de acción frente a esta situación hizo difícil la gestión de los escombros, dilatándose tanto al punto de que, cuatro años después, las actividades de remoción de escombros seguían su curso.

El Centro Histórico de Lima, catalogado como “Patrimonio Cultural de la Humanidad” posee un gran valor patrimonial, sin embargo, algunos sectores se encuentran en situación de precariedad por motivos sociales, culturales entre otros. Esta situación refleja la vulnerabilidad sísmica de sus edificaciones, que además de contar con largos años de vida, son un peligro para sus habitantes.

La zona de Barrios Altos, denominada así al estar ubicada en la parte más elevada de la zona de Lima Virreinal y siendo en su época punto de reunión de la alcurnia limeña, es donde se encuentran las edificaciones residenciales más antiguas. Inicialmente compuesto por edificaciones de adobe, muchas de estas habiéndose derrumbado por los eventos sísmicos.

Debido a lo expuesto, se plantea como objetivo de la investigación la implementación de un plan de gestión de escombros generados post evento sísmico, ya que actualmente no se cuenta con una planificación de prevención adecuada, además de no disponer de suficientes lugares de disposición final como escombreras, rellenos sanitarios. La investigación abarca un carácter estructural al analizar las edificaciones, de carácter ambiental al tratar la problemática de la disposición de los escombros en lugares no autorizados, de carácter gestor al buscar la implementación del plan de gestión de escombros y carácter social al dar a conocer el riesgo en el que se encuentran los habitantes de esta zona.

La metodología trabajada se basa en la propuesta por la autora García (2016) añadiéndole el uso del manual técnico de HAZUS. La generación del inventario de edificaciones, estimación del stock de materiales en las edificaciones, definición del nivel de daño y la estimación de pérdidas materiales de las edificaciones son parte del procedimiento previo para el análisis de los resultados que son el punto de partida para el plan de gestión de escombros, de esta manera se cumplen los objetivos propuestos en la investigación.

El capítulo I describe la realidad problemática junto con al planteamiento de los problemas y objetivos, asimismo menciona la delimitación, justificación, importancia, limitaciones a la par del alcance y la viabilidad de la investigación.

El capítulo II presenta las investigaciones relacionadas con el tema, las cuales han aportado al desarrollo del presente trabajo. Dentro de este capítulo también se explica la estructura teórica y científica del estudio, donde temas como los sismos, riesgo sísmico, la metodología de estimación de daño estructural y la definición de términos básicos abarcan este inciso.

El capítulo III plantea las hipótesis que al finalizar el capítulo V son contrastadas y la operacionalización de las variables, dependiente e independiente, para una observación y medición clara de cada característica de la investigación.

El capítulo IV indica la metodología de la investigación, siendo deductiva al reconocer e identificar las variables de la investigación. Además, se indica el tipo, nivel y diseño de investigación. La muestra y técnicas e instrumentos de recolección de datos, incluyendo la descripción del procedimiento de análisis son parte del capítulo.

Finalmente, el capítulo V presenta el análisis de resultados del stock de materiales, las pérdidas materiales y la distribución del estado de daño en el área de estudio de forma didáctica al contar con mapas temáticos, gráficos y forma de trabajo en los softwares.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción de la realidad problemática

A lo largo del tiempo, Perú ha sido escenario de sismos catastróficos, esto debido a su ubicación en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, caracterizado por concentrar las zonas de subducción más importantes del mundo, las cuales ocasionan gran actividad sísmica y volcánica. Sumado a ello, las características geográficas, geológicas, entre otras (factores condicionantes) del país, influyen a una mayor exposición ante la ocurrencia de un sismo. Entre los siglos XVI y XIX, más de 2500 terremotos azotaron el país (Giesecke y Silgado, 1981), entre los más recordados se encuentra el ocurrido el 31 de mayo de 1970 en Huaraz, con una magnitud de 7,9 grados en la escala de Richter, el cual dejó 186 000 viviendas destruidas, 69 000 muertos, 150 000 heridos y más de un millón de personas sin hogar. (Morales-Soto y Zavala, 2008). Otro terremoto significativo fue el que golpeó a Pisco en 2007, causando 1 500 muertos, 2 291 heridos y 431 000 personas afectadas (Instituto Geofísico del Perú, 2014). Este terremoto causó daños en alrededor de 192 500 viviendas en diferentes provincias ubicadas cerca de Pisco: Huancavelica, Ica y Lima, que correspondían al 78% de las viviendas existentes en ese momento (Bambarén y Alatrística, 2009). Según el estudio del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2008) aproximadamente el 27% de las viviendas dañadas se consideraron destruidas por el derrumbe de muros y techos, el 73% restante presentó daños que iban desde pequeñas fisuras hasta daños graves en la mayoría de sus elementos estructurales y algunos fueron considerados inhabitables. El terremoto generó más de 900 000 toneladas de escombros solo en Pisco, el 90% del total en tres provincias de Ica (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2009).

La actividad sísmica puede plantear diferentes niveles de amenazas a la civilización. En particular, los impactos de la infraestructura residencial vulnerable incluyen muertes o lesiones, interrupción de los sistemas de transporte y comunicación, etc. Además, se pueden generar grandes cantidades de escombros después de un evento sísmico y podrían constituir problemas graves de salud, ambientales y logísticos, como propagación de enfermedades, contaminación o retrasos en la transferencia de ayudas a la zona afectada (García, 2016).

Se cuenta con información de experiencias nacionales e internacionales sobre la etapa posterior al sismo y el manejo de sus procesos de recuperación según el lugar afectado. En el caso de esta investigación, se centró la búsqueda a experiencias específicamente con manejo y gestión de escombros producidos por colapso de edificaciones en caso de sismo. Como parte del inicio de búsqueda se revisó bibliografía nacional, sin embargo, la información existente en el ámbito nacional es limitada, por lo que la información relacionada al tema que se logró obtener con cierta restricción es para el caso del terremoto ocurrido el 2007.

Como menciona el estudio “Lecciones aprendidas del fondo de reconstrucción del sur - Forsur 2007”, el desastre en la ciudad de Pisco dejó gran parte de la ciudad en escombros; más 722 000 damnificados, según datos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS); y US\$ 220,7 millones en costos de reconstrucción de infraestructura de educación, saneamiento y transporte, según el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). En aquella oportunidad, el gobierno peruano creó el fondo para la reconstrucción integral de las zonas afectadas por el sismo del 15 de agosto del 2007 (Forsur), a fin de lograr la rehabilitación y reconstrucción de la infraestructura, y coordinar con los diversos sectores la identificación de proyectos con alta prioridad. El Forsur dividió el plan de reconstrucción del sur en tres etapas, la primera etapa de emergencia incluyó las principales actividades desplegadas como la atención médica a las víctimas, remoción de escombros y la recuperación de infraestructura básica de emergencia; la coordinación entre los gobiernos centrales, regionales y locales, la preparación de un mapa de peligros y la preparación de viviendas temporales. Sin embargo, hubo aspectos que no se gestionaron de manera adecuada como la falta de claridad de roles y funciones, donde no se tenía claro qué entidad o autoridad estaba a cargo de la remoción de escombros entre otras cosas (Neyra, 2018).

Este aspecto fue totalmente determinante para la agilización de recuperación post - desastre, pues los terremotos pueden generar grandes cantidades de escombros y residuos, convirtiéndose en uno de los principales problemas de una población que enfrenta problemas de salud y la necesidad de reconstruir la ciudad (García, 2016).

De esta manera, se hace necesario lograr una planificación de prevención y reconstrucción adecuada, requiriendo la aplicación de metodologías que incluyan

conocer las características y cantidades de escombros, de forma que se plantee su disposición adecuada y posible reaprovechamiento.

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Problema general

¿De qué manera se gestionan los escombros producidos por el colapso de edificaciones en caso de sismo en Barrios Altos para el año 2021?

### 1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo se identifican las características de edificaciones para registrar los tipos de materiales incorporados en los escombros?
- b) ¿Cómo se establecen diferentes escenarios sísmicos para calcular los desplazamientos laterales relativos de las edificaciones relacionados con el estado de daño?
- c) ¿De qué manera se evalúa el daño en las edificaciones debido a sismo para categorizar el estado de daño?
- d) ¿Cómo se cuantifica los escombros generados en diferentes escenarios sísmicos?

## 1.3 Objetivos de la investigación

### 1.3.1 Objetivo general

Gestionar los escombros producidos por el colapso de edificaciones en caso de sismo para mejorar la planificación de la disposición adecuada y posible reaprovechamiento de los escombros en Barrios Altos para el año 2021.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Identificar las características de edificaciones para registrar los tipos de materiales incorporados en los escombros a través de Google Street View, levantamiento fotogramétrico, visitas a campo y formatos de levantamiento de información.
- b) Establecer diferentes escenarios sísmicos para calcular los desplazamientos laterales relativos de las edificaciones relacionados con el estado de daño a través de SeismoMatch 2021 y ETABS 19.
- c) Evaluar el daño a edificaciones debido a sismo para categorizar el estado de daño utilizando el manual técnico de HAZUS.

- d) Cuantificar los escombros generados en diferentes escenarios sísmicos para la planificación de la remoción y eliminación de escombros utilizando la metodología propuesta por García (2016).

## 1.4 Delimitación de la investigación

### 1.4.1 Geográfica

La investigación se desarrolla en la ciudad de Lima, distrito Cercado de Lima, específicamente en la zona de Barrios Altos perteneciente al Centro Histórico de Lima (CHL).

Para efectos de ordenamiento, administración y control, mediante la Ordenanza 062 de 1994, se establecieron los límites del CHL, los cuales ocupan áreas jurisdiccionales de Cercado de Lima, Rímac y periféricamente áreas de San Juan de Lurigancho, El Agustino, La Victoria, Jesús María y Breña.

### 1.4.2 Temporal

La investigación se desarrolla durante el año 2021, entre los meses de mayo y diciembre.

### 1.4.3 Temática

- Campo: Planificación de gestión de escombros.
- Área académica: Escombros.
- Línea de investigación: Geomática y ambiental.
- Sublíneas de Investigación: Estructuras, sismos y gestión.

### 1.4.4 Muestral

- Unidad de análisis: Gestión de escombros.
- Unidad de observación: Las edificaciones de un sector de Barrios Altos, Cercado de Lima.

## 1.5 Justificación del estudio

### 1.5.1 Conveniencia

La conveniencia de la presente investigación se explica en que una de las acciones a tomar inmediatamente después de ocurrido un sismo es gestionar los escombros producidos en el desastre. Es importante prever los lugares más propensos a generar mayor cantidad de escombros y contar con un plan de disposición para estos, ya que pueden impedir a las personas evacuar a lugares

seguros. Además, si no se tiene planificado los flujos de escombros que se generarían desde la etapa inicial, el manejo sería incontrolado y se iniciarían numerosos problemas como el aumento masivo de contaminación, el aumento en el costo de remoción y la reducción de su potencial reciclaje. La planificación y coordinación deficientes de la gestión de escombros después del terremoto daría lugar a un gran vertido de materiales reciclables después de que los escombros se mezcle con tierra, ropa, madera e incluso residuos peligrosos en algunos casos, lo que requeriría costosos procesos de clasificación secundaria.

#### 1.5.2 Relevancia social

En la investigación se pronostica la generación de escombros luego de un evento sísmico en un lugar determinado, proporcionando datos a través de gráficos temáticos que contengan las cantidades de escombros calculadas. Además, a través de la generación de mapas temáticos se visualizan las áreas más dañadas a priorizar para la reconstrucción y se permite establecer rutas de entrega efectivas para nuevos materiales de construcción en las viviendas afectadas.

Con la ayuda de los mapas temáticos generados se logra informar a los tomadores de decisión si el área afectada tiene capacidad suficiente para suministrar materiales. Se busca planificar de una manera eficiente el tratamiento de escombros para que puedan intervenir en procedimientos de reciclaje o reutilización en la etapa final de su vida útil.

#### 1.5.3 Aplicaciones prácticas

El método propuesto en la investigación conlleva una serie de herramientas de pronóstico que se pueden aplicar en regiones de todo el mundo con eventos sísmicos frecuentes y variedades de tipos de viviendas. Además, las ventajas del tratamiento de escombros incluyen la posibilidad de disminuir los niveles de extracción de materia prima de las reservas naturales y eventualmente reducir las cantidades almacenadas en rellenos sanitarios, aumentando su vida útil.

#### 1.5.4 Utilidad metodológica

Se elaboran formatos para la recolección de datos, entre ellos: inventario, tipología estructural, material predominante y estado de conservación de edificaciones. Además, se expone el procedimiento de estudio de datos y la intervención de diferentes softwares como SeismoMatch 2021, ETABS 19, ArcGIS Pro v2.8 y Pix4D Mapper v4.7 para elaborar un plan de gestión de escombros posterior a un evento sísmico. De esta manera, se tiene una guía que sirve de referencia para ser aplicada a distintos lugares con características similares o diferentes cambiando ciertos indicadores.

#### 1.5.5 Valor teórico

La información que se obtenga sirve para revisar, desarrollar o apoyar la aplicación de la metodología para cuantificar y caracterizar la generación de escombros en edificios residenciales después de eventos sísmicos, logrando obtener resultados sobre la generación de escombros y la capacidad de recuperación posterior a un sismo del territorio a analizar, se pueden sugerir ideas, recomendaciones o hipótesis para futuros estudios e implementar mejoras en la eficiencia de la gestión de los escombros generados post sismo.

### 1.6 Importancia del estudio

#### 1.6.1 Nuevos conocimientos

Realizar un plan de gestión de escombros para una zona específica, de esta manera se generan referencias de elaboración de un plan que, siendo modificado por diferentes variables como el lugar, tipo de edificaciones y magnitud del sismo, puede ser replicado en otros distritos.

#### 1.6.2 Aporte

El aporte de la investigación es el plan de gestión de escombros, de suma importancia para la respuesta que se activará inmediatamente después de la ocurrencia del sismo, permitiendo en primera instancia, una rápida remoción y reubicación de escombros con el fin de facilitar el rescate a las víctimas y posteriormente gestionar adecuadamente los escombros, pudiendo clasificar parte de ellos para la reconstrucción a través de tecnologías de reutilización o reciclaje.

## 1.7 Limitaciones del estudio

### 1.7.1 Falta de estudios previos de investigación

No existe bibliografía nacional sobre la gestión de escombros en casos de emergencia, específicamente para un sismo. No hay información actualizada de las características de edificaciones en Barrios Altos.

### 1.7.2 Metodológicos o prácticos

La bibliografía consultada no está estandarizada para la realidad peruana, por lo que se tiene que generar una adaptación de la información. Además, los planes de gestión de escombros que se implementan en otros países son adecuados a sus sistemas y organizaciones, de esta manera, se prevé una gran diferencia al implementarlos en países desarrollados y subdesarrollados.

### 1.7.3 Medidas para la recolección de los datos

Las investigaciones revisadas consideran diferentes tipos de suelos, materiales de construcción, tipología de edificaciones y estado de conservación de edificaciones. Por lo anteriormente expuesto se deben realizar comparaciones con características específicas del lugar a analizar.

### 1.7.4 Obstáculos en la investigación

Entre las limitaciones que presenta esta investigación se encuentra el realizar la validación de los datos utilizando fotografías actuales y visitas a campo, ya que la información existente en internet no corresponde al presente año.

## 1.8 Alcance

La investigación analiza las características de las edificaciones ubicadas únicamente en el Centro Histórico de Lima, zona de Barrios Altos. Posterior a ello, se realiza un análisis de los escombros que generados por las edificaciones debido a la ocurrencia de un sismo. Dentro del análisis de los escombros se estudian las características, cantidades, lugares de disposición final y su posible reutilización en la reconstrucción de edificaciones dañadas.

## 1.9 Viabilidad del estudio

### 1.9.1 Tiempo

La investigación se desarrolla en el tiempo establecido por el programa de titulación por tesis, el cual es de 6 meses.

### 1.9.2 Espacio

Barrios Altos es de libre acceso y permite recaudar la información necesaria y, posteriormente se efectúa la delimitación del área a estudiar.

### 1.9.3 Condiciones económicas

La investigación es viable debido a que posee inversiones de bajo costo al no ser necesario realizar ensayos en laboratorios o grandes alquileres de equipos.

### 1.9.4 Fuentes de información

La investigación es viable porque existe bibliografía que exponen metodologías para la estimación de escombros que amplía y sustentan los conceptos a utilizar.

### 1.9.5 Recolección de datos

La recolección de datos se realiza mediante fichas de evaluaciones, fotografías y archivos digitales, los cuales permiten la determinación de las variables independiente y dependiente de la investigación junto al análisis de su relación.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco histórico

La generación de escombros a causa de terremotos y otros desastres naturales han sido estudiado por diversos autores a lo largo del tiempo y en países más propensos a la ocurrencia de desastres. Estos estudios se han relacionado a la estimación de las cantidades generadas y a la implementación de estrategias en el manejo post-desastre. En cuanto a la estimación de escombros, García (2016) presentó un enfoque metodológico para caracterizar y cuantificar los escombros producidos como consecuencia de terremotos, incluyendo una caracterización de la infraestructura, estimación probabilística de daños mediante la caracterización de las funciones de vulnerabilidad con la herramienta CAPRA-GIS, y análisis de flujo de materiales (MFA) en la ciudad de Tacna en Perú.

La autora realiza una revisión de investigaciones y cita a Hirayama, Shimaoka, Fujiwara, Okayama y Kawata (2010) quienes elaboraron una estimación de los escombros obtenidos de desastres naturales, en particular terremotos e inundaciones, con base en datos de desastres pasados y mapas de amenazas nacionales, calculando los escombros para el área metropolitana de Tokio. De igual manera, menciona que Tanikawa et al. (2014) utilizó análisis de existencias de materiales para estimar las pérdidas de materiales de construcción de edificios y carreteras generadas después de un terremoto de 9,0 Mw y el posterior tsunami en Japón en 2011. Su trabajo dependía en gran medida de los sistemas de información geográfica, la intensidad de los materiales para carreteras y edificios y bases de datos estadísticas, y estimó alrededor de 33,9 millones de toneladas de pérdidas de existencias de materiales de edificios y carreteras (Tanikawa et al., 2014).

Mesta (2017) hace uso de la metodología desarrollada por García (2016), para caracterizar y pronosticar las pérdidas materiales producidas por terremotos en la ciudad de Chiclayo en Perú. Propone mejoras en la metodología que incluyen un análisis más detallado de la estructura y composición material de las edificaciones, obteniendo la cuantificación del stock de materiales contenido en la ciudad, información que permite hacer una estimación de toneladas de escombros generados posterior a un sismo.

En cuanto a la planificación para el manejo de escombros de desastres, Brown y Mike (2009) realizaron un estudio de caso de la gestión de escombros tras el huracán Katrina que ocurrió en Estados Unidos el año 2005, proporcionan una descripción general de cuestiones claves involucradas en la gestión como los objetivos, priorización y tiempo, impacto ambiental, economía, factores sociales, estructuras organizativas y de coordinación, cuestiones legislativas y aspectos financieros. Presentan el plan de manejo y enfatizan la importancia de continuar estudios para el manejo de escombros de desastres en Nueva Zelanda.

Karunasena, Amaratunga y Haigh (2012) compartieron resultados de las estrategias de gestión de residuos después de un desastre y los desafíos identificados en Sri Lanka, recopilaron datos a través de entrevistas con organizadores gubernamentales y no gubernamentales a nivel nacional y local. Identificaron como brechas en la gestión: la falta de una jerarquía establecida con un punto único de responsabilidad, reglas y regulaciones obligatorias y ejecutables, la capacidad y los fondos inadecuados, y la falta de comunicación y coordinación. Adicionalmente, Asari, Sakai, Yoshioka, Tojo, Tasaki, Takigami, y Watanabe (2013) presentan un resumen del manual realizado después del terremoto y tsunami del 11 de marzo en el este de Japón, seguido de una revisión de las pautas existentes para la gestión de desechos por desastres en varios países. El manual comparte nuevas experiencias especialmente caracterizadas por una enorme escala de información sobre desastres y tsunamis, enfatizando la separación y opciones de tratamiento posteriores. Si bien estas investigaciones relacionan la generación de escombros con más de un desastre natural, se han presentado por su relevancia para la presente investigación.

En cuanto a investigaciones relacionadas específicamente al manejo de escombros posterior a la ocurrencia de un terremoto, Askarizadeh, Karbassi, Ghalibaf y Nouri (2017), quienes utilizaron la herramienta HAZUS para estimar el daño en elementos estructurales y no estructurales en diferentes escenarios de terremotos, obteniendo el número de personas afectadas y estimaciones en volúmenes de escombros. Utilizaron la herramienta ArcGIS para establecer rutas desde áreas afectadas hasta lugares de disposición temporal y asignaron cantidades requeridas de equipos pesados, concluyendo en que la gestión de escombros no es solo una actividad logística, sino también es parte inseparable del proceso de recuperación post-desastre. Además, Poudel, Hirai, Asari, y Sakai (2019) presentaron información sobre las prácticas de

gestión de residuos de desastres y métodos de eliminación empleados en el valle de Katmandú para los escombros generados por el terremoto de Gorkha el 25 de abril de 2015, la gestión incluyó la reutilización y reciclaje de materiales en nuevas construcciones o como materiales de relleno en el desarrollo de la tierra.

## 2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

### 2.2.1 Investigaciones internacionales

Burgos (2010), tiene como objetivo desarrollar una guía para la gestión y tratamiento de residuos y desperdicios de proyectos de construcción y demolición, proponiendo alternativas para facilitar y fomentar la minimización, reutilización, valorización y reciclaje de los materiales mediante la realización de un seguimiento al ciclo de vida de los residuos de construcción y demolición (RCD), identificando cada etapa y proceso que conforma un sistema de gestión de residuos. A su vez, desarrollar el plan de gestión de residuos mediante la metodología capaz de identificar los residuos generados en el proceso de construcción y demolición de obra. La norma chilena es escasa con respecto al manejo y destino final de los RCD al no existir una ley específica que regule el manejo de estos residuos. El autor manifiesta que un plan de gestión de residuos de construcción es un instrumento que contiene un conjunto de acciones y procedimientos para facilitar el acopio y las disposiciones de residuos que al desecharse se convierten en un problema. Además, concluye que la mayor parte de residuos de construcción son generados en las etapas de acabados, siendo los materiales de mayor incidencia el concreto y áridos.

Núñez (2017), realiza una evaluación por desempeño de una edificación de cinco pisos con un análisis tiempo – historia en el software ETABS 19 usando acelerogramas sintéticos a partir del espectro de respuesta según la norma ecuatoriana para evaluar el comportamiento sísmico de la estructura con base en los códigos de FEMA con el objetivo de comparar el desempeño de la edificación del análisis tiempo – historia con el análisis *pushover* y determinar si la estructura tiene tendencia a colapsar, donde se demostró que el análisis tiempo – historia es óptimo para brindar resultados del comportamiento de la estructural más reales frente a un sismo.

Furcas y Balletto (2012), investigan las consecuencias de los eventos sísmicos en las infraestructuras urbanas y qué políticas se deben de tomar para una reconstrucción posterior a base del reciclado de los escombros de los terremotos. Para los procesos de reconstrucción de las ciudades después de eventos sísmicos, los procedimientos requieren grandes cantidades de minerales de construcción, en particular, arena, grava y piedra chancada, debido a que estos elementos pueden ser reutilizados en pavimentaciones, concreto premezclado, asfalto, etc. En Italia, después del sismo de 1997 en Umbría, se implementó la “metodología de Umbría” la cual consistió en la recuperación de "residuos mixtos resultantes de la demolición". Metodológicamente, la estimación se obtuvo haciendo una primera evaluación de los tipos de edificios (edificios de mampostería, típicos de los centros urbanos medievales). La metodología de gestión de residuos de la región de Umbría tras el terremoto de 1997 cuantificó por primera vez las cantidades de escombros, basándose actividades de demolición para luego verificar los datos con las cantidades obtenidas en algunas demoliciones reales, siendo un primer precedente con respecto a la línea de investigación.

García (2003), tiene como objetivo dimensionar la cantidad de desechos de construcción y demolición generados en Bogotá, diseñando una metodología para la estimación de volumen y caracterización de los escombros producidos en la ciudad, asimismo, determinar la ubicación de la disposición de estos, y verificar si abarcan las necesidades reales de la ciudad para un desarrollo sostenible. Se concluyó que en los procesos de construcción y demolición se producen diferentes tipos de desechos, los cuales se pueden clasificar en reciclables, reutilizables, destinados a escombreras y peligrosos, siendo los agregados los predominantes. Para la localizar la disposición de desechos se deben tener en cuenta criterios como la distancia, cantidad de nueva área construida, uso de la tierra y capacidad e infraestructura vial. Es muy importante aclarar que demostrar los usos y aplicaciones del material reciclado no es suficiente si no se contempla una normatividad que regule y acepte el uso de dicho recurso, como material reutilizable.

Díaz y Muñoz (2017), tienen como objetivo el diseñar una estrategia la cual permita la integración de las fases más críticas de la generación y transferencia del modelo de gestión de construcción y demolición, el cual permita la reducción del flujo de RCD en el sistema urbano y de esta manera reduciendo el deterioro ambiental en la Ciudad de Cali, Colombia. Se delimitó el sistema a estudiar a través del establecimiento de flujos de materia y energía del sistema urbano de Cali, determinando los indicadores de metabolismo urbano, el cual haga posible hablar de sostenibilidad del sistema de gestión de RCD en la ciudad. La metodología del análisis de flujos de materiales (AFM) evalúa la existencia (stock) de materiales dentro de un sistema definido en espacio y tiempo, los cuales pueden ser controlados haciendo un balance de todos los insumos, existencias y productos de un proceso. El AFM permitió identificar cómo se mueve la masa y energía dentro del sistema de generación de RCD. Por lo tanto, podemos decir que el AFM es una herramienta clave para la evaluación del metabolismo urbano ya que nos permite entender los procesos como la construcción, transporte, consumo y disposición de los residuos.

### 2.2.2 Investigaciones nacionales

Mesta (2017), realiza la estimación de pérdidas en el stock de materiales de edificaciones después de un evento sísmico centrado en la ciudad de Chiclayo. Se estima el stock de materiales de las edificaciones basado en la metodología propuesta por García (2016) para la caracterización y dar un pronóstico de las pérdidas materiales, la cual cuenta con cuatro fases: generación del inventario de edificaciones, estimación del stock de materiales en las edificaciones, evaluación del riesgo sísmico de las edificaciones y la estimación de pérdidas materiales de las edificaciones. La generación del inventario está fundada bajo el tipo de vivienda y material predominante en las paredes exteriores, mientras que la estimación del stock de materiales fue desarrollada considerando parámetros como el área techada e intensidad de materiales. La evaluación probabilista del riesgo consta de tres etapas: evaluación de la amenaza, caracterización de la exposición y análisis de vulnerabilidad de las edificaciones. Finalmente, la estimación de pérdidas en el stock de materiales fue desarrollado con los conceptos propuestos por el manual técnico HAZUS MH - MR5 de FEMA.

Palacios y Pérez (2015), analizan la vulnerabilidad de los edificios de concreto armado en el distrito de Santiago de Surco para distintos escenarios sísmicos, estimando los estados de daño propuestos por FEMA en la metodología del manual técnico HAZUS MH - MR4: ligero, moderado, extensivo y completo. Las edificaciones fueron clasificadas según sistema estructural, nivel de diseño sísmico y tipo de uso. El modelamiento de las edificaciones y la simulación de los escenarios sísmicos fueron realizados en ETABS 19, obteniendo las derivas de entrepiso para cada escenario, y relacionando los estados de daño con estas derivas. Como última fase, se expresa la vulnerabilidad de las edificaciones en mapas temáticos.

Arbieto (2020), plantea el objetivo de determinar una metodología la cual permita cuantificar los residuos sólidos de construcción y demolición en La Merced, Chanchamayo en el 2016. Se identificaron las clases de residuos sólidos de construcción y demolición generados en el distrito de La Merced. Posteriormente, se identificaron los factores influyentes en la cuantificación de los RCD para finalmente identificar los que presentan una potencial valorización.

Delgado y Rubiños (2019), estiman el nivel del riesgo sísmico de la infraestructura de las estaciones de bomberos en Lima Metropolitana y Callao al verse, de manera previsible, afectadas por un evento sísmico para evaluar las consecuencias. Con la aplicación del manual de HAZUS, utilizando la metodología propuesta por el FEMA, se calcula el porcentaje de daño posible que presentarían las estaciones de bombero.

Arce y Tapia (2014), plantean los siguientes objetivos: la correcta aplicación del reglamento para la gestión de RCD y promover la reutilización y minimización de los RCD en edificaciones urbanas. De esta manera, evitar la disposición final fuera de lugares autorizados contando con un plan de gestión. A pesar de contar con una norma la cual regula el tratamiento de los RCD (el reglamento para la gestión y manejo de los residuos sólidos de las actividades de la construcción y demolición) el desconocimiento y la falta de control de los residuos es evidente debido a la casi inexistente aplicación.

Carbajal (2018), establece analizar la gestión y manejo actual de residuos de las actividades de construcción civil del sector vivienda en Lima y Callao. Como objetivos específicos plantea elaborar un diagnóstico de la gestión y manejo de los RCD y proponer alternativas de mejora. La investigación se elaboró mediante la revisión de documentos científicos, artículos periodísticos y normas tanto legales como técnicas. Sobre la situación del manejo de información sobre la gestión de RCD no se cuenta con un registro histórico que relacione la magnitud del área construida y los residuos generados a partir de ella. Esto representa una primera limitación puesto que no se cuenta con una línea base a partir de la cual se puedan establecer metas de minimización, reducción y reutilización de residuos derivados de las actividades de construcción civil en la ciudad de Lima. Este desconocimiento limita la eficiente planificación para establecer infraestructura para el tratamiento de los RCD, ya sea para reaprovechamiento o para disposición final.

### 2.2.3 Artículos relacionados con el tema

García, Kahhat y Santa Cruz (2016), proponen un marco metodológico para caracterizar y cuantificar los escombros generados antes y después de la ocurrencia de un evento sísmico. Con la ayuda del software CAPRA-GIS, una herramienta de cálculo de riesgo probabilístico basada en el Sistema de Información Geográfica (SIG), calculan el porcentaje de daño físico y, posteriormente establecen estados de daño (es decir, ligero, moderado, extensivo y completo) para calcular la cantidad de escombros generados después de un terremoto se propone el uso de datos de HAZUS.

Mesta, Santa Cruz y Kahhat (2018), realizan la estimación probabilista de escombros después de un evento sísmico, siendo el caso de estudio la ciudad de Pisco, Perú, utilizando la metodología de la ingeniería sísmica basada en el desempeño y sistemas de información geográfica. La data oficial de la estimación del volumen de escombros del sismo de Pisco del 2007 fue reportada como 1 000 000 m<sup>3</sup>, mientras que la metodología propuesta arrojó 1 196 000 m<sup>3</sup>, siendo aceptada la metodología al obtenerse una cifra muy próxima a la cifra oficial. La metodología involucra cuatro fases: definición de tipologías constructivas, la estimación de stock de materiales, la generación de curvas de vulnerabilidad y el análisis de riesgo sísmico.

Asari et al. (2013), presentan un resumen del manual “Estrategias de Separación y Tratamiento de Residuos de Desastres” realizado después del terremoto y tsunami del 11 de marzo en el este de Japón, siendo el primer manual en incluir residuos de tsunamis. Se comparten diversas opciones técnicas para la separación y tratamiento posterior de los residuos. Además, hacen una revisión de las pautas existentes para la gestión de residuos por desastres en varios países, identificando pautas útiles creadas por agencias internacionales y los problemas relacionados con los sistemas de gestión, que varían considerablemente según el país y la localidad.

Brown y Milke (2009), describen de manera general ocho puntos que consideran claves en la gestión de escombros: objetivos de gestión de escombros, priorización y tiempo, impacto ambiental, economía, factores sociales, estructuras organizativas y de coordinación, cuestiones legislativas y aspectos financieros/mecanismos de financiación. Esto en torno a un estudio de caso de la gestión de escombros después del huracán Katrina ocurrido en 2005 en Estados Unidos. Mencionan que los documentos de planificación preparados por los gobiernos generalmente se construyen a partir de la experiencia de eventos anteriores en el país y se enmarcan en torno a la legislación, las estructuras organizativas y los mecanismos de financiación existentes. Luego de analizar diferentes puntos, concluyen que existe un valor social, económico y ambiental real en la planificación para el manejo de los escombros de desastres. No es solo un ejercicio logístico, sino una parte integral del proceso de recuperación ante desastres.

Askarizadeh et al. (2017), estimaron daños en elementos estructurales y no estructurales utilizando la herramienta HAZUS para diferentes de escenarios de terremotos con magnitudes de 4.5, 6 y 7.5 en la escala de Richter en Ray City, estas magnitudes dañarían gravemente el 49, 72 y 82% de los edificios, respectivamente. El número de víctimas se estimaron en el rango de 558 a 2220 personas, calculando también que se generarían 93, 197 y 331 km<sup>3</sup> para los tres escenarios. Con la herramienta ArcGIS propusieron la mejor ruta desde las áreas afectadas hasta los lugares de disposición temporal y asignaron la cantidad requerida de equipos pesados y mano de obra para proponer la planificación de la disposición de escombros. Además, se presenta un conjunto

de factores incluida la diversidad de los desechos existentes, la separación de los desechos reciclables, la asignación del mejor lugar y ruta para la eliminación de desechos en el menor tiempo y con la distancia más corta en la red de calles.

Poudel et al. (2019) presentan información sobre los métodos empleados para gestionar los escombros de desastre en el Valle de Katmandú, generados por el terremoto de Gorkha el 25 de abril de 2015. Cuantificaron la cantidad de escombros de edificios generados y gestionados en destinos dentro del área central de la ciudad que fue desviado del sitio de disposición propuesto por el gobierno. Incluyeron visitas de campo, interacción con las comunidades, reuniones con funcionarios relacionados con el manejo de escombros y referencias a informes publicados. La gestión incluyó la reutilización y reciclaje de materiales de construcción en nuevas construcciones o como materiales de relleno en el desarrollo de la tierra. También se depositaron en áreas bajas, acantilados y riberas del río; sin embargo, el método de eliminación fue el vertido a cielo abierto. Finalmente, estimaron 3,23 millones de toneladas de escombros generados en el área central de la ciudad del Valle de Katmandú, gestionándose 1,07 millones de toneladas dos años después del terremoto y con malas prácticas medioambientales, aproximadamente 2,17 millones de toneladas de escombros de construcción aún no se habían gestionado hasta la fecha de su estudio.

## 2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1 Sismos

Los sismos se producen por la fractura de la roca que forma la corteza o manto superior de la tierra; se le llama foco o hipocentro del sismo al lugar del primer movimiento y de la liberación de energía en la falla, el epicentro es el punto en la superficie de la tierra que se encuentra sobre el foco o hipocentro. Las fuerzas causantes de los movimientos en la superficie de la Tierra están situadas en su interior, los avances en el conocimiento que ahora se tiene acerca del interior de la Tierra han demostrado que esas fuerzas pueden estar relacionadas con las migraciones continentales (Alcaraz, 2017). La Figura 1 detalla la diferencia entre epicentro y foco.

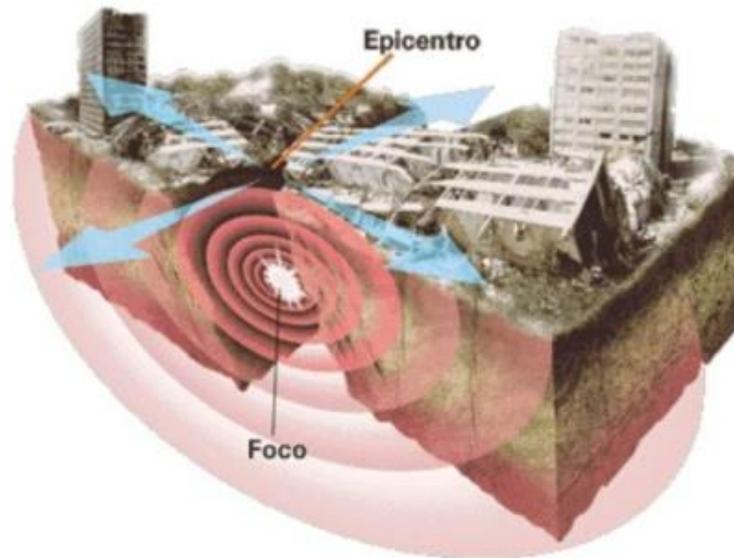


Figura 1: Epicentro y foco de un sismo  
Fuente: Slideshare, 2011.

a) Caracterización de los sismos

La caracterización de los sismos ha sido un tema de investigación constante alrededor del mundo, en especial para los países más propensos a sufrirlos. Los sismos “son movimientos originados por la liberación de energía que se inicia en un punto de ruptura en el interior de la Tierra” (CENEPRED, 2017, p.28). Los sismos cuentan con diversos parámetros sísmicos, siendo los más representativos la magnitud e intensidad. Con estos parámetros es posible la caracterización cuantitativa y cualitativa de un sismo.

b) Magnitud

La magnitud de un sismo caracteriza cuantitativamente el evento sísmico, es decir, es la cantidad de energía liberada por acción de un sismo. Por consiguiente, representa la energía liberada en el hipocentro, siendo un valor que no cuenta con relación con la ubicación de un punto geográfico (CENEPRED, 2017).

Se han formulado distintas escalas de magnitud basadas en la medición de sismómetros, los cuales registran las diferentes ondas sísmicas generadas por el sismo, siendo la más utilizada la magnitud de momento al contar con mayor

rango de medición (mide valores mayores a siete sin saturarse, es decir, permite el registro de mayores amplitudes máximas) (Muñoz, 1989).

c) Intensidad

La intensidad de un sismo es una medida cualitativa que permite determinar el nivel de daño generado por el sismo en las personas, viviendas, infraestructura y naturaleza. Además, a diferencia de la magnitud, la intensidad sí puede variar según la ubicación de los puntos geográficos, siendo los efectos más destructivos mientras más cerca se encuentren al epicentro. (CENEPRED, 2017).

La escala de Mercalli modificada es la más utilizada a nivel mundial, la cual se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Descripción de la escala de Mercalli modificada

<b>Grado de intensidad</b>	<b>Descripción</b>
I	No es sentido. Sólo lo registran los sismógrafos.
II	Es sentido por personas que se hallan en reposo, en edificios altos o en lugares que favorecen la percepción.
III	Es sentido en el interior de las habitaciones. Los objetos colgantes se balancean. La vibración es parecida al paso de un camión ligero. Es posible estimar su duración. Puede no ser considerado como un sismo.
IV	Los objetos colgantes se balancean. Vibración, semejante al paso de camiones pesados, o se recibe una sensación como si una pelota pesada golpeará las paredes. Los carros estacionados se mecen. Las ventanas, los platos y las puertas traquetean. Los vasos tintinean. Los cacharros chocan. En el rango superior de IV las paredes y armazones de madera rechinan.
V	Es sentido fuera de las casas; puede estimarse su dirección. Las personas dormidas despiertan. Los líquidos experimentan alteraciones; algunos se derraman. Los objetos inestables y pequeños se mueven, así como las celosías y los cuadros. Los relojes de péndulo se detienen, echan a andar o cambian de velocidad.
VI	Es sentido por todos. Muchas personas se asustan y salen corriendo de sus casas. Se dificulta caminar. Las ventanas, platos y objetos de vidrio se rompen. Adornos, libros, etcétera, caen de los estantes. Los cuadros se desprenden de las paredes. El mobiliario se mueve o cae. Se agrieta el yeso débil y las construcciones tipo D. Suenan las campanas pequeñas (iglesia, escuela). Los árboles y los arbustos se sacuden (visiblemente) o se escucha la agitación de sus ramas y hojas.
VII	Es difícil permanecer de pie. Los automovilistas sienten cómo se agita el piso. Los objetos colgantes vibran. Se rompen los muebles. Daños a construcciones tipo D, incluyendo grietas. Las chimeneas débiles se parten al nivel del techo. Se produce caída de yeso, de ladrillos sueltos, de piedras, de tejas, de cornisas, de parapetos sin apoyo y de ornamentos arquitectónicos. Se abren algunas grietas en las construcciones tipo C. Se observan olas en los estanques; el agua se enturbia con lodo. Hay derrumbes y aludes en los bancos de arena o grava. Tañen las campanas grandes. Los canales de irrigación quedan dañados.

---

VIII	<p>Se dificulta conducir un vehículo y quizás hasta se pierde el control del auto. Daños a las construcciones tipo C; colapso parcial. Algunos deterioros en las construcciones B; ninguno en las construcciones A. Caída de estuco y de algunas paredes de ladrillo.</p> <p>Torcedura y caída de chimeneas (casas y fábricas), monumentos, torres, tanques elevados. Las casas de armazón son movidas de sus cimientos si no están aseguradas a ellos. Se rompen las ramas de los árboles. Cambios en el flujo o la temperatura de manantiales y pozos. Grietas en terreno húmedo y en pendientes empinadas.</p>
IX	<p>Pánico general. Las construcciones son destruidas: las de tipo C quedan gravemente dañadas o, a veces, se caen del todo y las de tipo B quedan dañadas seriamente. Averías generales a los cimientos, y muy serias a las cisternas y presas. Las tuberías subterráneas quedan rotas. Grietas conspicuas en el terreno. En las zonas aluviales, la arena y el lodo son arrojados a las orillas, surgen las llamadas fuentes de terremoto y se abren cráteres de arena.</p>
X	<p>La mayor parte de las construcciones de mampostería y armazón, así como sus cimientos son destruidos. Algunas estructuras y puentes, cuidadosamente construidos caen. Hay daños serios en presas, diques y terraplenes. Se producen grandes aludes. El agua es arrojada a la orilla de canales, ríos, lagos, etc. La arena y el lodo son desplazados horizontalmente en playas y terrenos planos. Los rieles de las vías de ferrocarril se doblan levemente.</p>
XI	<p>Los rieles quedan doblados considerablemente, y las tuberías subterráneas completamente fuera de servicio.</p>
XII	<p>La destrucción es casi total. Grandes masas de roca son desplazadas. Las líneas del nivel quedan distorsionadas. Los objetos son arrojados al aire.</p>

---

Fuente: Tomado de Terremotos (pp.156 - 158), por Nava, 1987.

Con respecto a la clasificación de construcciones mencionadas en la Tabla 1, Nava (1987) indica que:

Las construcciones A hacen referencia a trabajo, concreto y diseños buenos; reforzadas, en especial lateralmente, y amarradas usando acero, concreto, etcétera; diseñadas para resistir fuerzas laterales. Las construcciones B refieren a trabajo y concreto buenos; reforzadas, pero no diseñadas especialmente para resistir fuerzas laterales. Las construcciones C refieren a trabajo y concretos

ordinarios; sin debilidades extremas, como falta de amarres en las esquinas, pero tampoco reforzadas ni diseñadas contra fuerzas horizontales. Finalmente, las construcciones D refieren a los materiales débiles como adobe; concreto pobre; baja calidad de mano de obra; débiles horizontalmente. los documentos. (pp.156 – 158)

### 2.3.2 Peligro sísmico

Para entender la definición de peligro sísmico es importante conocer, como primer paso, la definición de peligro. Los peligros se definen como “procesos, eventos físicos, fenómenos naturales, incidentes tecnológicos o actividades humanas potencialmente dañinos que pueden causar pérdidas de vida o heridos, daño a la propiedad, alteración social y económica y/o degradación del ambiente en un área determinada y en un período de tiempo dado” (ISDR, 2004, p.2007).

De manera que, el concepto de peligro sísmico queda definido como la probabilidad de que, en un lugar determinado, dentro de un periodo específico de tiempo, ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un valor fijado (Alva, 1993).

Por otro lado, la caracterización de los peligros se realiza en función de su ubicación, frecuencia de recurrencia, intensidad, magnitud, tiempo, modo de evolución y probabilidad de ocurrencia (Ocola, 2005).

Por lo tanto, el peligro sísmico, según el *Earthquake Research Institute* (EERI), es definido como cualquier fenómeno físico relacionado a los sismos capaz de producir adversidad en la actividad humana tales como sacudimiento del terreno, deslizamientos, derrumbes, etc. (EERI, 1984).

#### a) Niveles de peligro sísmico

Para la estimación de los estados de daño de las edificaciones, previamente se deben definir los niveles de peligro sísmico, el cual representa la probabilidad de ocurrencia o periodo de retorno (Taipe, 2020).

Del mismo modo, hace referencia a los efectos debido a la ocurrencia de un sismo, como por ejemplo el sacudimiento del suelo, deslizamientos, licuefacción, etc. La Tabla 2 abarca los parámetros del peligro sísmico.

Tabla 2: Parámetro de peligro sísmico

<b>Peligro</b>	<b>Parámetro</b>
Movimiento	aceleración máxima espectro de respuesta elástica espectro de respuesta inelástica registro tiempo - historia
Licuefacción	capacidad portante permisible asentamiento diferencial vertical esperado desplazamiento de suelo lateral esperado
Avalancha	desplazamiento de suelo lateral y vertical esperado
Asentamiento	asentamiento diferencial esperado
Ruptura	movimiento vertical y horizontal

Fuente: Tomado de Criterios de diseño por desempeño para la norma peruana de diseño sismorresistente (p.125), por Taipe, 2020.

Los niveles de peligro sísmico pueden ser establecidos siguiendo distintas metodologías deterministas y probabilistas, para la presente investigación se toma como referencia la propuesta por el comité VISION 2000, de manera que se posibilita el conocimiento del estado de daño frente a distintos niveles de peligro sísmico y las pérdidas materiales producidas. Además, Taipe (2020) realizó el cálculo de las aceleraciones máximas de los sismos de diseño para las capitales de los departamentos del Perú. La Tabla 3 presenta los sismos de diseño recomendados por el comité junto a la aceleración máxima calculada para Lima.

Tabla 3: Sismos de diseño para la construcción de espectros de peligro sísmico

<b>Sismo de diseño</b>	<b>Periodo de retorno</b>	<b>Probabilidad de excedencia</b>	<b>Tasa anual de excedencia</b>	<b>Aceleración máxima (g)</b>
Frecuente	43 años	50% en 30 años	0.02310	0.24
Ocasional	72 años	50% en 50 años	0.01386	0.27
Raro	475 años	10% en 50 años	0.00211	0.44
Muy raro	970 años	10% en 100 años	0.00105	0.52

Fuente: Adaptado de Comité VISION 2000, por SEAOC, 1995. Además de Criterios de diseño por desempeño para la norma peruana de diseño sismorresistente (p.132), por Taipe, 2020.

Seguidamente, la Tabla 4 relaciona las aceleraciones máximas calculadas con la intensidad instrumental, daño potencial y temblor percibido.

Tabla 4: Sismos de diseño para la construcción de espectros de peligro sísmico

<b>Aceleración máxima</b>	<b>Intensidad instrumental</b>	<b>Daño potencial</b>	<b>Percepción del temblor</b>
0.24	VII	moderado	muy fuerte
0.27	VII	moderado	muy fuerte
0.44	VIII	moderado/extensivo	severo
0.52	VIII	moderado/extensivo	severo

Fuente: Adaptado de Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and modified Mercalli intensity in California (p.563), por Wald et al., 1999.

### 2.3.3 Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica de una estructura se define como la predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño. Se puede realizar a muchas partes de la estructura, entre las cuales sobresalen:

- Elementos estructurales
- Elementos no estructurales
- Contenidos (maquinarias, muebles, enseres y demás elementos que forme el mobiliario de la estructura)

Un estudio de vulnerabilidad sísmica no sólo atiende la vulnerabilidad de los elementos estructurales, sino que también, está asociada a la organización humana y a su relación con la infraestructura. Esta relación debe considerar los distintos estados de la infraestructura para las diversas situaciones de desastre (Bonett, 2003).

#### a) Vulnerabilidad sísmica en el Perú

Nuestro país ha sufrido importantes desastres naturales, siendo los más recurrentes los sismos. Con respecto a las razones por la cual se encuentra en la zona de mayor sismicidad del mundo, INDECI (2009) afirma que:

El territorio peruano está ubicado en la costa occidental del subcontinente, en el denominado Círculo de Fuego del Pacífico -región que bordea el océano Pacífico y que es escenario del 75% de la sismicidad total del planeta-; muy cerca de su litoral convergen la placa de Nazca y la placa sudamericana, adentrándose la primera a una velocidad anual de 10 centímetros por debajo de la segunda, lo que crea una presión tectónica que periódicamente libera energía y se manifiesta en sismos de diversa magnitud. (p.19)

Además de la gran actividad sísmica desarrollada en nuestro país, otras catástrofes como el Fenómeno El Niño y las sequías han sido parte de los peligros a los que la población peruana se ha enfrentado. Sin embargo, existen procesos sociales, como la ocupación desordenada e inapropiada del territorio sin planificación, los cuales aumentan el grado de vulnerabilidad ante los desastres previamente mencionados (INDECI, 2012).

## b) Factores de vulnerabilidad sísmica

El concepto de vulnerabilidad sísmica involucra el comportamiento de la estructura ante el sacudimiento de un sismo, por lo que se afirma que es una propiedad intrínseca de la estructura (Sandi, 1986). Años después, Barbat (1998) añade al concepto previamente descrito que la vulnerabilidad sísmica está asociada de manera directa con las características físicas y estructurales de diseño.

El alcance del daño está condicionado por la acción sísmica y la capacidad sismorresistente de la estructura, de tal forma que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica contenga vínculos necesarios con la definición de acción y daño sísmico (Safina, 2002).

En consideración de lo mencionado en los párrafos previos, Bonett (2003) afirma que:

El concepto de vulnerabilidad sísmica es indispensable en estudios sobre riesgo sísmico y para la mitigación de desastres por terremotos. Se entiende por riesgo sísmico, el grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica. A dicho lapso de tiempo se le denomina período de exposición o período de vida útil de la estructura. Por otra parte, la mitigación de desastres, en el ámbito de ingeniería, corresponde a la totalidad de las acciones que tienen como objetivo la mejora del comportamiento sísmico de los edificios de una zona, a fin de reducir los costes de los daños esperados durante el terremoto. (p.9)

(Safina, 2002) indica que para evaluar la vulnerabilidad sísmica existen diversas metodologías y técnicas, las cuales dependen principalmente de los siguientes factores:

- Naturaleza y objetivo del estudio
- Información disponible
- Características del elemento que se pretende estudiar
- Metodología de evaluación empleada
- Resultado esperado
- Destinatario de esta información. (p.45)

#### 2.3.4 Riesgo sísmico

“Se entiende por riesgo sísmico al grado de pérdida, destrucción o daño esperado debido a la ocurrencia de un determinado sismo. Está relacionado con la probabilidad que se presenten o manifiesten ciertas consecuencias, lo cual está íntimamente vinculado al grado de exposición, su predisposición a ser afectado por el evento sísmico y el valor intrínseco del elemento” (Safina, 2002, p.38).

#### 2.3.5 Sismos más importantes ocurridos a través del tiempo

El último gran terremoto que ha golpeado el Perú ocurrió en el año 2007, teniendo como epicentro la ciudad costera de Pisco, aproximadamente a 230 kilómetros al sur de la capital peruana, no obstante, este evento sísmico no ha sido el de mayor envergadura.

Los historiadores coinciden que la ciudad de Lima ha sido sacudida por 43 grandes terremotos, pero que los terremotos de 1586, 1655, 1687 y 1746 fueron de carácter destructivo, alcanzando intensidades de IX a X en la escala de Mercalli modificada (Tavera y Heras, 2002; Silgado, 1975).

La ocurrencia de sismos de distintas magnitudes es un fenómeno muy común en el Perú. El IGP indicó que, durante el año 2020, se registraron más de 800 sismos, de los cuales el 70% ocurrieron en la zona costera, siendo la región con mayor exposición al riesgo de ser afectada por eventos sísmicos. El silencio sísmico que el Perú se encuentra atravesando es evidente, puesto que el último gran terremoto data del año 1746, en ese sentido el silencio sísmico lleva 275 años. La mayoría de movimientos telúricos son imperceptibles y no generan mayores daños ni preocupación de la población, sin embargo, lo que sí preocupa es la intensidad del próximo gran sismo al acumularse la energía sísmica durante todo este periodo.

A continuación, se presentan los sismos más destructivos ocurridos los últimos cinco siglos en el Perú, los cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Sismos más destructivos ocurridos los últimos cinco siglos en el Perú.

<b>Fecha</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Epicentro</b>	<b>Zonas afectadas</b>	<b>Víctimas y daños materiales</b>
19/10/1609	8.5 escala de Richter	Océano Pacífico, 30 km al noroeste del Callao	Costa central del Perú	Aprox. 200 muertos, 500 casas derrumbadas.
20/10/1687	8.0 escala de Richter, intensidad IX MM	Océano Pacífico, frente a las costas de Nasca	Costa central del Perú	Fue el terremoto más destructor ocurrido en Lima desde su fundación. Lima y Callao quedaron reducidos a escombros. El maremoto en el Callao causó 100 muertes.
28/10/1746	8.8 magnitud de momento, intensidad X MM	Océano Pacífico, oeste del Callao	Costa y sierra central del Perú	Mayor terremoto de la historia de Lima, maremoto gigantesco, Callao totalmente destruido. Quedaron en pie 25 de 3000 casas. Murieron 1141 de 60 000 habitantes.
24/05/1940	8.2 escala de Richter, intensidad VIII MM	Océano Pacífico frente a las costas del Callao y departamento de Lima	Costa central del Perú	Dejó un saldo de 179 muertos y 3500 heridos. Las zonas más afectadas en Lima fueron el Centro, Barranco, La Molina y Chorrillos.
17/10/1966	7.5 escala de Richter, intensidad VIII y IX MM	Océano Pacífico frente a las costas de Huacho y Barranca, departamento de Lima	Costa central del Perú	Acompañado de un maremoto moderado. 220 muertos; 1800 heridos; 258 000 damnificados. Las zonas más afectadas de Lima fueron La Molina, Puente Piedra, las zonas antiguas del Rímac y del Cercado, las zonas adyacentes a los cerros y una banda a lo largo del río Rímac hasta el Callao.

31/05/1970	7.8 escala de Richter, intensidad VIII MM	Océano Pacífico a 110 km al oeste de la ciudad de Chimbote.	La costa central peruana, así como los valles interandinos del callejón de Huaylas y el callejón de Conchucos	Uno de los más destructivos sismos en el siglo en el hemisferio sur. La mayor destrucción ocurrió a 350 Km de Lima, sepultó la ciudad de Yungay, departamento de Ancash. Causó 65 mil muertes, 160 mil heridos y daños estimados en 550 millones de US\$.
3/10/1974	7.4 escala de Richter, intensidad IX MM	Al oeste de la región central, en la costa sur del departamento de Lima.	Departamentos de Lima e Ica	Duración de cerca de 2 minutos, 252 muertos; 3600 heridos. Son afectadas Lima, Mala, Cañete, Chincha y Pisco. En Lima sufrieron daños edificios públicos, iglesias, monumentos históricos. El tsunami inundó varias fábricas en el Callao.
15/08/2007	7.0 escala de Richter, 7.9 Mw, intensidad en Pisco VII – VIII MM, Lima VI MM	60 km de Pisco	Pisco, Lima, Huancavelica	El sismo causó la muerte a 1500 personas, heridas a 1291, se censaron damnificados. Destruyó 48 208 viviendas, 45 500 otras quedaron inhabitables y 45 813 fueron afectadas; 14 establecimientos de salud fueron destruidos y 112 afectados.

Fuente: Tabla elaborada tomando como referencia los documentos Terremotos en el litoral central del Perú: ¿podría ser Lima el escenario de un futuro desastre? (p.219), por Nelson Morales y Carlos Zavala, 2008. Además de Plan de Prevención y Reducción del Riesgo del Desastre del Cercado de Lima 2021 – 2023 (p.41), por Municipalidad de Lima, 2019

### 2.3.6 Ajuste espectral de registro sísmico

El ajuste espectral o escalamiento sísmico es la modificación del contenido de frecuencia de un registro sísmico “ajustando” su espectro de respuesta hacia un espectro objetivo que para esta investigación es construida bajo la normativa E. 030 Diseño Sismorresistente del Perú. El contenido de frecuencia traza la amplitud del sismo y de qué manera se distribuye. Trabajando de esta manera, se representa el peligro sísmico con la construcción de distintos espectros objetivos. La Figura 2 representa el proceso del ajuste espectral.

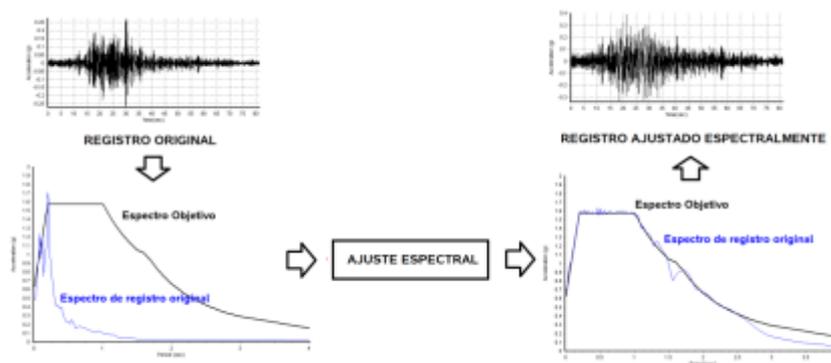


Figura 2: Proceso del ajuste espectral

Fuente: Tomado de Incorporación de réplicas en el desempeño sísmico de los edificios 2H y 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca (p.24), por Aguilar, 2019.

### 2.3.7 Análisis dinámico tiempo – historia

Es un método de análisis dinámico comparativo el cual consiste en el cálculo de la respuesta dinámica de una estructura a través del tiempo, utilizando registros de acelerogramas reales o sintéticos (Núñez, 2017). Emplea como demanda un registro sísmico el cual seguirá una historia de movimiento que depende del contenido de frecuencia y amplitudes del acelerograma. La Figura 3 detalla el proceso del análisis.

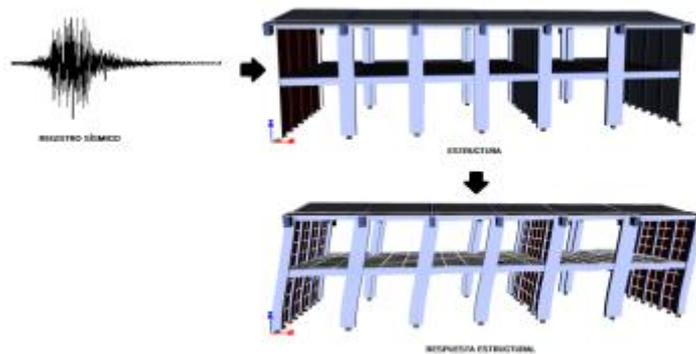


Figura 3: Proceso del análisis tiempo - historia

Fuente: Tomado de Incorporación de réplicas en el desempeño sísmico de los edificios 2H y 4F de la Universidad Nacional de Cajamarca (p.34), por Aguilar, 2019.

Adicionalmente, Núñez (2017) afirma:

En un análisis tiempo - historia lineal podemos darnos una idea de cuánto tendrá que resistir nuestra estructura y por cuanto tiempo en estado de fluencia, siempre y cuando conozcamos el punto mencionado. Por ser lineal este análisis, las condiciones de la estructura no cambiarán conforme va pasando el tiempo (...). Con un análisis tiempo - historia no lineal, podremos darnos una idea más clara ya que incorpora las propiedades inelásticas de los materiales. (p.14)

Según expresa PhD. Genner Villarreal, para realizar un correcto análisis tiempo – historia, se debe cumplir con ciertas condiciones: “mínimo tres registros con las dos componentes ortogonales, registro en el lugar de estudio, registro en el mismo tipo de suelo y escalamiento al espectro de objetivo” (Canal Genner Villarreal Castro, 2020, 6m19s).

### 2.3.8 Metodología HAZUS

HAZUS es una metodología desarrollada por FEMA (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias por sus siglas en inglés) para la estimación de pérdidas potenciales por terremotos, inundaciones y huracanes en los Estados Unidos para posteriormente tomar decisiones de planificación de respuesta ante estos peligros naturales (FEMA, 2003).

Dentro del manual técnico HAZUS – MH MR4, capítulo 5, se presenta la metodología de estimación de daño la cual describe los estados de daño a la que las edificaciones están expuestas según su nivel de diseño sísmico, clasificación y derivas de entrepiso.

Se definen cuatro niveles de diseño sísmico: alto, moderado, bajo y pre – código. El nivel de diseño pre – código abarca a todas las edificaciones construidas antes de la implementación de códigos sísmicos de diseño. Los tres niveles restantes se basan en las zonas sísmicas que la *Uniform Building Code* (UBC) propone para el territorio estadounidense (FEMA, 2003). La Tabla 6 muestra la adaptación del código de diseño sísmico a la norma peruana.

Tabla 6: Niveles de diseño sísmico adaptados a la norma peruana.

<b>Zona sísmica del UBC</b>	<b>Equivalencia a la norma peruana</b>	<b>Después de 1975</b>	<b>1941 - 1975</b>	<b>Antes de 1941</b>
4	Zona 4	Alto	Moderado	Pre - código
2B	Zona 2	Moderado	Bajo	Pre - código
1	Zona 1	Bajo	Pre - código	Pre - código

Fuente: Tomado de HAZUS – MH MR4 Technical Manual (p.193), por FEMA, 2003.

La clasificación de las edificaciones se compone según tipo de ocupación (residencial, comercial, industrial u otros) y tipo de edificación (36 tipos de edificaciones según su sistema estructural y materiales) la cual se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Clasificación por tipo de edificación.

Designación	Descripción	Altura			
		Rango		Típico	
		Nombre	Pisos	Pisos	Metros
W1	Madera, pórticos ligeros (< 465		Todos	1	4
W2	m2)	-	Todos	2	7
	Madera, comercial e industrial				
	(>465m2)				
S1L		Bajo	1 -3	2	7
S1M	Pórticos de acero	Mediano	4 -7	5	18
S1H		Alto	8 +	13	48
S2L		Bajo	1 -3	2	7
S2M	Pórticos de acero arriostrado	Mediano	4 -7	5	18
S2H		Alto	8 +	13	48
S3	Pórticos de acero liviano	-	Todos	1	5
S4L	Pórtico de acero con paredes de	Bajo	1 -3	2	7
S4M	concreto armado vaciado in-situ	Mediano	4 -7	5	18
S4H		Alto	8 +	13	48
S5L	Pórticos de acero con paredes de	Bajo	1 -3	2	7
S5M	bloques no reforzados	Mediano	4 -7	5	18
S5H		Alto	8 +	13	48
C1L		Bajo	1 -3	2	6
C1M	Pórticos de concreto armado	Mediano	4 -7	5	15
C1H		Alto	8 +	13	37
C2L		Bajo	1 -3	2	6
C2M	Muros de corte de concreto	Mediano	4 -7	5	15
C2H	armado	Alto	8 +	13	37
C3L	Pórticos de concreto armado con	Bajo	1 -3	2	6
C3M	muros de albañilería no reforzada	Mediano	4 -7	5	15
C3H		Alto	8 +	13	37
PC1	Paredes de concreto prefabricadas	-	Todos	1	5
PC2L	Pórticos prefabricados de concreto	Bajo	1 -3	2	6
PC2M	armado con muros de corte de	Mediano	4 -7	5	15
PC2H	concreto armado	Alto	8 +	13	37
RM1L	Muros de albañilería armada con	Bajo	1 -3	2	6
RM1M	diafragmas de madera o acero	Mediano	4 +	5	15
RM2L	Muros de albañilería armada con	Bajo	1 -3	2	6
RM2M	diafragmas de concreto	Mediano	4 -7	5	15
RM2H	prefabricado	Alto	8 +	13	37
URML	Muros de carga de albañilería n o	Bajo	1 -3	2	6
URMM	reforzada	Mediano	4 +	5	15
MH	Casas móviles	-	Todos	1	4

Fuente: Tomado de HAZUS – MH MR4 Technical Manual (pp.175 - 176), por FEMA, 2003.

En vista de que el manual técnico de HAZUS fue desarrollado bajo los códigos estadounidenses tomando en cuenta las características propias de los Estados Unidos, es necesario adaptar la información a la realidad peruana considerando características similares. Se establecieron a las edificaciones de adobe como *unreinforced masonry bearing walls* (URM) y a las edificaciones de ladrillo o mampostería como *reinforced masonry bearing walls with precast concrete diaphragms* (RM2).

Las edificaciones URM incluyen elementos estructurales que varían según la antigüedad del edificio y, en menor medida, su ubicación geográfica. Las edificaciones construidas antes de 1900, cuentan con la mayor parte de la construcción de pisos y techos con revestimientos de madera sostenidos por marcos de madera. Los muros perimetrales, y posiblemente algunos muros interiores, son de mampostería no reforzada. Las paredes pueden estar ancladas o no a los diafragmas. Los lazos entre las paredes y los diafragmas son más comunes para los muros de carga que para los muros que son paralelos a la estructura del piso. Las ataduras del techo suelen ser menos comunes y están espaciadas de manera más errática que las que se encuentran en los niveles del piso. Las particiones interiores que interconectan los pisos y el techo pueden reducir los desplazamientos del diafragma.

De la misma manera, las edificaciones catalogadas como RM2 tienen muros de carga similares a las estructuras de mampostería reforzada con diafragmas de cubierta de madera o metal, pero el techo y los pisos se componen de elementos prefabricados de concreto como tablones o vigas en T y el techo prefabricado junto a los elementos de la losa se apoyan en vigas interiores y columnas de acero o concreto (fabricado in – situ o prefabricado).

El daño estructural para las edificaciones se vincula con valores medianos de derivas de entrepiso reflejándose en los estados de daño, con diferente descripción según edificación. Los estados de daño establecidos son: ligero o leve, moderado, severo y completo. Seguidamente, se detallan los estados de daño para las edificaciones mencionadas en la Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 8: Estados de daño para muros de carga de mampostería no reforzada (URM)

Estado de daño	Descripción
<p>Ligero</p> 	<p>Grietas finas diagonales, escalonadas en superficies de paredes de mampostería; grietas más grandes alrededor de las aberturas de puertas y ventanas en paredes con una gran proporción de aberturas; movimientos de dinteles; grietas en la base de los parapetos.</p>
<p>Moderado</p> 	<p>La mayoría de las superficies de las paredes presentan grietas diagonales; algunas de las paredes presentan grietas diagonales más grandes; las paredes de mampostería pueden tener una separación visible de los diafragmas; grietas significativas de parapetos; algo de mampostería puede caer de paredes o parapetos.</p>
<p>Extensivo</p> 	<p>En edificios con un área relativamente grande de aberturas en las paredes, la mayoría de las paredes han sufrido grietas extensas. Se han caído algunos parapetos y muros a dos aguas. Es posible que las vigas o las armaduras se hayan movido en relación con sus soportes.</p>
<p>Completo</p> 	<p>La estructura se ha derrumbado o está en peligro inminente de derrumbarse debido a una falla en el plano o fuera del plano de las paredes. Se espera que se derrumbe aproximadamente el 15% del área total de los edificios URM con daños completos.</p>

Fuente: Elaboración propia adaptado de HAZUS – MH MR4 Technical Manual (pp.190), por FEMA, 2003.

Tabla 9: Estados de daño para muros de carga de mampostería reforzada con diafragmas de concreto prefabricado (RM2)

Estado de daño	Descripción
<p>Ligero</p> 	<p>Grietas finas diagonales en las superficies de las paredes de mampostería; grietas más grandes alrededor de las aberturas de puertas y ventanas en paredes con una gran proporción de aberturas.</p>
<p>Moderado</p> 	<p>La mayoría de las superficies de las paredes presentan grietas diagonales; algunas de los muros de corte han excedido su capacidad de rendimiento reflejado por grietas más grandes.</p>
<p>Extensivo</p> 	<p>En edificios con un área relativamente grande de aberturas en las paredes, la mayoría de los muros de corte han excedido su capacidad de rendimiento y algunas de los muros han excedido su capacidad final, exhibido por grandes grietas diagonales a través de la pared y refuerzo de pared visiblemente pandeado. Los diafragmas también pueden presentar grietas.</p>
<p>Completo</p> 	<p>La estructura está colapsada o está en peligro inminente de colapso debido a la falla de las paredes. Aproximadamente el 13% (de poca altura), el 10% (de mediana altura) o el 5% (de gran altura) del área total de los edificios RM2 con daños completos se espera que sea colapsado.</p>

Fuente: Elaboración propia adaptado de HAZUS – MH MR4 Technical Manual (pp.190), por FEMA, 2003.

Para finalizar, se presenta la Tabla 10 de derivas para definir el daño estructural.

Tabla 10: Derivas de entrepiso según nivel de diseño sísmico y tipo de edificación.

Nivel de diseño sísmico	Tipo de edificación	Tasa de deriva en el umbral de daño estructural			
		Ligero	Moderado	Extensivo	Completo
Alto	W1/W2	0.004	0.012	0.040	0.100
	C1L, S2L	0.005	0.010	0.030	0.080
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.008	0.024	0.070
Moderado	W1/W2	0.004	0.010	0.031	0.075
	C1L, S2L	0.005	0.009	0.023	0.060
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.007	0.019	0.053
Bajo	W1/W2	0.004	0.010	0.031	0.075
	C1L, S2L	0.005	0.008	0.020	0.050
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.006	0.016	0.044
	URML, C3L, S5L	0.003	0.006	0.015	0.035
Pre - código	W1/W2	0.003	0.008	0.025	0.060
	C1L, S2L	0.004	0.006	0.016	0.040
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.003	0.005	0.013	0.035
	URML, C3L, S5L	0.002	0.005	0.012	0.028

Fuente: Tomado de HAZUS – MH MR4 Technical Manual (p.211), por FEMA, 2003.

En el capítulo 12 del manual técnico HAZUS - MH MR4 se muestra la obtención de la estimación de escombros generados una vez determinados los estados de daño de las edificaciones. Se presenta la adaptación de la tabla general de estimación de escombros para las edificaciones de adobe y mampostería o ladrillo en la Tabla 11.

Tabla 11: Porcentaje de escombros generados por tipología y estado de daño.

Tipo de edificación	Casa de ladrillo		Casa de adobe
	Ladrillo, mortero	Concreto, acero	Adobe, barro
Ligero	5%	0%	5%
Moderado	25%	3%	25%
Extensivo	60%	30.5%	55%
Completo	100%	100%	100%

Fuente: Tomado de HAZUS – MH MR4 Technical Manual (p.549), por FEMA, 2003.

### 2.3.9 Gestión del riesgo de desastres

Después del terremoto de Pisco del 2007, el cual dejó muy golpeada a la ciudad en términos económicos, con cerca de 90 000 viviendas destruidas, 519 fallecidos, sistemas de agua, saneamiento y electricidad interrumpidos (Ferradas, 2015), además de contar con una reconstrucción inconclusa por años, se extrajeron reflexiones, recomendaciones y conclusiones para el actuar frente a situaciones con características similares en el futuro plasmadas en el libro “Lecciones aprendidas del sur, sismo de Pisco, 15 de agosto 2007” desarrollado por INDECI, de esta manera buscando afrontar de forma inmediata la catástrofe, teniendo la experiencia del 2007.

Sin embargo, no es el único documento enfocado en la gestión de riesgos, prevención y reducción de riesgos de desastres existente, puesto que las entidades municipales cuentan en su mayoría, con diversos planes de prevención y gestión de riesgos con miras a los próximos años, ya que “la incorporación de la gestión del riesgo de desastres – GRD es parte de sus funciones en sus procesos de planificación, ordenamiento territorial, gestión ambiental e inversión pública, con el propósito de prevenir y proteger la vida y salud de la población, el patrimonio de las personas y del estado, así como proteger las condiciones medio ambientales”. (Municipalidad de Lima, 2019, p.9)

La gestión de riesgos de desastres (GRD), según la Ley N°29664 creada por el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), se define como aquel proceso social cuya finalidad es la prevención, reducción y control de forma permanente de los factores de riesgos de desastre en la sociedad, tomando en cuenta la adecuada preparación y respuesta ante situaciones de desastre. De igual forma, hace énfasis con relación a lo económico, ambiental, seguridad, defensa nacional y territorial buscando perdurar en el tiempo (SINAGERD, 2011).

Al mismo tiempo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE) de Colombia la define también como un proceso social, el cual se encuentra “orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones,

instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres” (MINAMBIENTE, 2012, p.1). La gestión del riesgo de desastres es responsabilidad de todas las autoridades competentes, como gobiernos regionales y locales, la cual se encuentra bajo regulación al tener carácter obligatorio la integración al Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres de la información técnica y científica que generan con respecto a peligros, vulnerabilidad y riesgo (SINAGERD, 2011).

La Ley N°29664 no solo contempla la gestión del riesgo de desastres, sino también la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, puesto que mientras la gestión plantea el cómo alcanzar los objetivos propuestos, la política tiene la facultad de decidir qué hacer.

En tal sentido, la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres es se plantea como el conjunto de orientaciones dirigidas a impedir o reducir los riesgos de desastres, evitando así la generación de nuevos riesgos debido a contar con una adecuada preparación, atención, rehabilitación, reconstrucción ante situaciones de desastres, minimizando así los efectos negativos que puedan causarse sobre la población, la economía y el ambiente (SINAGERD, 2011).

Por otro lado, en el artículo 13 de la Ordenanza 206 del Plan Maestro del Centro Histórico de Lima, Municipalidad de Lima (1994) indica lo que una política de seguridad, prevención y mitigación de desastres debe abarcar, presentado en seguida:

- Establecer las áreas de mayor riesgo sísmico u otros, así como las vías de emergencias.
- Definir las áreas de refugio, su acceso y equipamiento básico.
- Establecer las normas de uso de edificación, mantenimiento y prevención necesarias.
- Identificar las áreas e inmuebles en estado crítico o de colapso.
- Realizar acciones de coordinación de la Municipalidad con la población en general, y el Instituto Nacional de Defensa Civil a fin de instrumentar los lineamientos de acción. (p.6)

Por último, en el inciso 6.2 de la Ley N°29664, SINAGERD (2011) detalla los procesos a seguir para la implementación de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. El detalle se muestra a continuación:

- Estimación del riesgo: acciones y procedimientos que se realizan para generar el conocimiento de los peligros o amenazas, analizar la vulnerabilidad y establecer los niveles de riesgo que permitan la toma de decisiones en la Gestión del Riesgo de Desastres.
- Prevención y reducción del riesgo: acciones que se orientan a evitar la generación de nuevos riesgos en la sociedad y a reducir las vulnerabilidades y riesgos existentes en el contexto de la gestión del desarrollo sostenible.
- Preparación, respuesta y rehabilitación: acciones que se realizan con el fin de procurar una óptima respuesta de la sociedad en caso de desastres, garantizando una adecuada y oportuna atención de personas afectadas, así como la rehabilitación de los servicios básicos indispensables, permitiendo normalizarlas actividades en la zona afectada por el desastre.
- Reconstrucción: acciones que se realizan para establecer condiciones sostenibles de desarrollo en las áreas afectadas, reduciendo el riesgo anterior al desastre y asegurando la recuperación física, económica y social de las comunidades afectadas. (p.3)

#### 2.3.10 Gestión de escombros

Una tarea necesaria en la fase de recuperación temprana es la eliminación de los residuos del desastre (por ejemplo, escombros). Residuos que pueden sobrepasar la capacidad de las instalaciones existentes y tener una influencia negativa en otras actividades de recuperación y respuesta a emergencias. En el momento de un desastre, los planificadores deben determinar la cantidad de residuos generados, reunirlos en sitios de almacenamiento temporal, seleccionar y organizar las opciones adecuadas de eliminación o reciclaje. Debido a que puede ser difícil hacer estas cosas durante un estado de emergencia, es importante que se contemplen estos escenarios cuando los tiempos sean normales y se elaboren planes o pautas para realizar estas tareas.

La primera y más completa guía sobre gestión de escombros en caso de catástrofe fue la de la USEPA "*Planning for Disaster Debris*" (EPA 1995).

Diferentes organizaciones alrededor del mundo han reconocido la necesidad de planificar la gestión de los escombros en caso de catástrofe. Los documentos de planificación elaborados por los gobiernos se basan generalmente en la experiencia de eventos anteriores en el país y se enmarcan en la legislación, las estructuras organizativas y los mecanismos de financiación existentes.

La planificación para residuos de desastres naturales propuesta por la organización EPA (*United States Environmental Protection Agency*) se basa en varios desastres naturales experimentados por los Estados Unidos y toma nota de las consideraciones de planificación, las opciones de implementación, las lecciones aprendidas del pasado y varios recursos de referencia.

Se puede dividir en tres elementos: actividades de planificación previa (afirmación del requisito de FEMA para la elegibilidad de asistencia pública, organización de un equipo para crear el plan y establecimiento de un cronograma para actualizar el plan); actividades auxiliares (identificación de tipos de residuos y previsión de cantidades, aplicación de la normativa ambiental local, confirmación de la capacidad actual de gestión de residuos e identificación de equipos, y desarrollo de un plan de comunicaciones); e implementación (remoción, recolección, manejo, reciclaje y eliminación de residuos de desastres).

El plan expone la necesidad de conservación del medio ambiente y enfatiza la necesidad de una gestión adecuada de los residuos peligrosos, la selección de ubicaciones aceptables para el almacenamiento o la puesta en escena, el uso apropiado de la capacidad disponible del vertedero y el uso de oportunidades de reutilización y reciclaje en la mayor medida posible. Enfatiza la importancia de tomar en consideración cada tema, actualizar periódicamente el contenido de cualquier guía y estar completamente preparado para desastres.

Las Directrices de Gestión de Residuos de Catástrofes de la Sección de Emergencias Medioambientales de la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (directrices de la UNOCHA) se redactaron en 2011. Ofrecen una explicación completa y equilibrada de los componentes importantes de los planes de gestión de escombros en cuanto a la

prestación de asistencia internacional a los países afectados. Estas pautas enumeran tres puntos como objetivos de gestión de residuos:

1. Minimizar los riesgos para la vida y la salud humanas.
2. Reducir los riesgos para el medio ambiente
3. Asegurar que la realización de cualquiera de los valores del plan beneficie a las comunidades afectadas.

OXFAM, una confederación internacional que trabaja junto a organizaciones y comunidades locales en más de 90 países, proporcionando ayuda de emergencia, llevando a cabo proyectos de desarrollo a largo plazo y prestando apoyo a comunidades fomentando la resiliencia en tiempos de crisis. Formaliza los componentes de varias actividades individuales y da cinco pautas individuales, para la gestión y eliminación de residuos de refugios de evacuación y residuos domésticos, la gestión de residuos humanos, la eliminación de residuos humanos y la eliminación de grandes cantidades de residuos de desastres.

Hay tres aspectos únicos en los informes: facilitan que un lego comprenda el tema en cuestión al dar ejemplos de los riesgos que plantea la eliminación inadecuada de residuos; describen la jerarquía básica de residuos (reducción y minimización de residuos, reutilización y reparación de residuos y reciclaje); y dan explicaciones concisas, incluidas ilustraciones, de los requisitos para las bolsas de eliminación de residuos humanos y para el establecimiento de pozos.

Por parte de la Organización Mundial de la Salud se presentan puntos concretos sobre la seguridad del agua y el saneamiento en situaciones de emergencia. En las páginas de residuos sólidos se explica la importancia de dar a las víctimas tareas que realizar, proteger a la mano de obra, fomentar el reciclaje y explicar cómo construir un pozo comunal en el que depositar los residuos. Las notas también consideran las necesidades de las personas socialmente vulnerables, como las personas en desventaja física.

Dentro de la revisión de planes de gestión de escombros dos temas esenciales a prever son la cuantificación y la caracterización de escombros, importante para decidir cómo recoger, clasificar y gestionar los residuos a cierta escala.

a) Cuantificación de escombros

La cuantificación de los escombros es necesaria para enfrentar el momento de un desastre natural. Es probable que se necesite un lugar para el apilamiento temporal de los escombros y residuos, lo que podría deberse a algunos problemas, como sitios de entierro completos y equipos de remoción/transportes insuficientes (Karunasena et al., 2012; Zhou et al., 2015).

Las metodologías aplicadas para obtener esta información en caso de sismos han ido mejorando con el tiempo y presentando diferencias según países.

Fujino y Noguchi (2009) presentó un método para estimar la destrucción de escombros y evaluar las opciones disponibles para la gestión de escombros en Tokio. Nouri et al. (2011) estudiaron los métodos utilizables para controlar la generación de escombros de destrucción en las obras.

Wang y Hu (2010) estimó la cantidad de escombros de destrucción generados utilizando un modelo estadístico marrón et al. (2013) estudiaron los escombros generados por la destrucción y la construcción centrándose en el balance de masa de los elementos en un programa de separación. Karta et al. (2004) intentaron estudiar el análisis de fuentes de generación, estimando la destrucción y los escombros de la construcción, así como el proceso de gestión de los escombros en Grecia.

Entre otros de los estudios que se han realizado para calcular la cantidad potencial total de escombros de construcción se hizo en Nepal, donde se calculó a partir de datos de la Oficina Central de Estadísticas de Nepal para edificios dañados (área de piso, número de pisos y tipo de edificio) y las tasas de generación de unidades (excluyendo cimientos) para cada edificio dañado.

Tasas unitarias no mencionadas en Poudel et al. se calcularon utilizando el mismo método y valores de tasas de generación unitaria para los tipos de edificios compuestos que los de Poudel et al. para cada piso de acuerdo con su respectivo tipo de edificio. Estas tasas de generación unitaria para pisos de

diferentes tipos de edificios y el área del piso de cada piso dan la cantidad de cada edificio y la suma de los edificios dañados proporciona el potencial total de residuos de edificios generados. La CBS 2017 los datos brindan información sobre la situación actual de cada edificio dañado bajo estudio en diferentes categorías: (a) dañado — escombros limpios, (b) dañado — escombros sin limpiar, (c) cubiertos por deslizamientos de tierra, (d) dañados — escombros despejados — nuevo edificio construido, (e) dañado — no usado, (f) dañado — usado en riesgo, (g) dañado — reparado y usado, y (h) no dañado. La cantidad de residuos de construcción calculada a partir del método anterior se clasifica además en términos de gestión de escombros como (a) ya despejados, (b) dejados para despejar y (c) sin necesidad de despejar.

Se utilizaron tasas de generación unitaria de materiales de construcción individuales para cada tipo de edificio para calcular la cantidad total de materiales de construcción individuales del total de escombros ya removidos. La cantidad total y la proporción de cada material de construcción se calcularon mediante el proceso anterior. A partir de encuestas y entrevistas con expertos, se derivó el potencial de reutilización o reciclaje de diferentes materiales de construcción, que eran específicos para cada caso y área. El rango de tasas de reutilización o reciclaje con las cantidades totales individuales de edificios ya despejados da el rango de la cantidad total de materiales de construcción reutilizados o reciclados.

Conocer la cantidad exacta, o una estimación cercana, de los escombros generados por un terremoto posibilita considerar en detalle las maquinarias, herramientas y equipos que se deberán utilizar para la remoción de estos. Permite prever equipamiento que esté disponible en la localidad o el necesario de adquirir en caso de emergencia.

#### b) Caracterización de escombros

Para la caracterización de escombros es importante considerar el tipo de desastre ocurrido, el área geográfica afectada y su ubicación, ya que según estos factores los efectos en las características de los residuos serán mayores (volumen, composición, etc.). La ocurrencia de fenómenos como terremotos suelen ocasionar el incremento de la cantidad de residuos sólidos.

En Europa se ha seguido las recomendaciones de la ONU, en específico las recomendaciones de la Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios en coordinación con la Agencia Sueca de Contingencias Civiles. Por una parte, se clasifican los residuos que se generan más comúnmente durante los desastres, sus problemas, impactos y características y se desarrolla un protocolo de acción para las primeras 72 horas de emergencia. Entre los residuos más comunes generados durante un desastre se encuentran: elementos de hormigón, acero, madera, arcilla y alquitrán de edificios e infraestructuras dañadas; mobiliario; partes de las redes eléctricas y telefónicas, como postes eléctricos, cables, equipos electrónicos, transformadores; partes de sistemas de distribución de agua y alcantarillado; residuos orgánicos como arcilla, barro, árboles, ramas, arbustos, hojas de palmera; productos químicos, colorantes y otras materias primas utilizadas en la industria; residuos de operaciones de rescate; barcos, automóviles, autobuses y bicicletas dañados; munición sin explotar (por ejemplo, minas terrestres); residuos de asentamientos y campamentos de desastres, incluidos residuos de alimentos, materiales de embalaje, excretas y otros residuos de suministros de socorro; pesticidas y fertilizantes; limpiadores domésticos; pintura, barniz y solventes; y residuos sanitarios. (Abarca y Aliste, 2020, pp.20-21)

En el caso específico de terremotos, al colapsar las estructuras ‘in-situ’, quedan los residuos dentro de edificios y estructuras dañadas. Ocasionando complejizar la segregación de residuos peligrosos de los no peligrosos (Abarca y Aliste, 2020).

Con respecto a la caracterización de residuos de construcción y demolición, Runfola y Gallardo (2009) refieren que este procedimiento permite identificar y estimar valores como el volumen, el peso o las proporciones de los residuos de construcción. De esta manera, la caracterización de residuos es un proceso que incluye acciones y una metodología destinados a recolectar información; ello, con el fin de determinar las cantidades de los residuos, cómo están compuestos éstos y cuáles son sus propiedades en determinados escenarios. Esta definición se aplica a la caracterización de escombros generados por un terremoto, ya que es necesario obtener datos sobre los compuestos y propiedades de estos, procedimientos de identificación y reconocimiento.

García (2016) en el desarrollo de su metodología, utilizó la herramienta Análisis de Flujo de Materiales (MFA) para caracterizar y cuantificar los escombros asociados con el evento sísmico, esto también permitió analizar los nuevos materiales necesarios en la etapa de reconstrucción. El análisis permite visualizar la cadena de suministro de material antes y después del terremoto, enfatiza los materiales primarios y la ubicación de posibles deficiencias en la cadena de suministro para el área afectada. Todo esto a través del software STAN 2.5, que desarrolla el comportamiento de cada material en diferentes escenarios gráficamente, logrando visualizar de una mejor manera la cadena de suministro del material.

En su investigación logra identificar los cinco materiales de construcción más importantes: ladrillo, acero, concreto, madera y adobe.

Las cantidades iniciales de material en toneladas se obtienen de la cantidad promedio ponderal total del material involucrado en la construcción de una vivienda, cantidades obtenidas del proceso de caracterización multiplicadas por el número total de viviendas para cada tipo.

Después del desastre el porcentaje de la cantidad de escombros generados se multiplica por la cantidad inicial de materiales en el sector residencial y todas las cantidades de escombros se transfieren a la etapa global “escombros generados” (García, 2016, p.12).

### 2.3.11 Problemática de las escombreras

Dentro del territorio peruano, la gestión de los residuos sólidos se encuentra sujeta a la Ley N°27314, Ley General de Residuos Sólidos, promulgada por el Congreso de la República del Perú y modificada en el año 2017 por el Decreto Legislativo N°1278, el cual da por aprobada la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos para fortalecer la gestión y manejo de residuos sólidos.

La Ley N°27314 “establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada (...) se aplica a las actividades de proceso y operaciones de la gestión y manejo de

residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final” (Congreso de la República, 2000, p.1).

Tiene como objetivo el manejo en su totalidad, y de manera sostenible, de la gestión de los residuos sólidos a través de planes, estrategias, políticas y acciones de los que intervienen en dicha gestión (Congreso de la República, 2000).

Como primer paso, se define el concepto de residuo sólido. Se considera como residuo sólido a toda sustancia, producto en estado sólido o semisólido, que el generador se encuentra en la obligación de ejecutar la disposición de este bajo la normatividad de la ley, incluyendo los siguientes procesos: minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final (Congreso de la República, 2000).

Seguidamente, los residuos de construcción y demolición (RCD) son aquellos que son generados durante el proceso de construcción, demolición, rehabilitación, obras menores, remodelación entre otros. Son clasificados como peligrosos (restos de tubos fluorescentes, envases de pinturas, lacas, removedores de grasas, madera tratada, asbesto, etc.) y no peligrosos (reutilizables, reciclables, aprovechables) (MVCS, 2013).

Los residuos de construcción y demolición son considerados como residuos no municipales, por consiguiente, el generador de estos residuos es responsable del manejo de forma segura, ambiental y sanitariamente correcta. El Decreto Supremo N°003 - 2013 - VIVIENDA expone exclusivamente el Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición.

El manejo de los RCD se debe realizar en infraestructuras especialmente para este tipo de residuos, clasificándose de la siguiente manera: centros de acopio para residuos sólidos, plantas de tratamiento, escombreras para disposición final, rellenos de seguridad para residuos sólidos peligrosos y celdas en rellenos sanitarios (MVCS, 2013).

En Lima y Callao existe un déficit de lugares de infraestructura de disposición final de residuos sólidos, al contar solamente con cinco rellenos sanitarios según el Ministerio del Ambiente, en el mapa nacional de infraestructura de disposición final de septiembre del 2021, mostrados en la Figura 4.



Figura 4: Rellenos sanitarios autorizados en Lima Metropolitana y Callao.  
Fuente: Tomado de Mapa Nacional de Infraestructura de disposición final, por MINAM, 2021.

A continuación, se brindan detalles de los rellenos autorizados en Lima Metropolitana y Callao.

- Relleno sanitario El Zapallal (1): Relleno autorizado operado por Innova Ambiental, en el distrito de Carabayllo con una extensión de 440 hectáreas. Atiende a los distritos de Ancón, Barranco, Breña, Carabayllo, Cercado de Lima, Magdalena, Puente Piedra, San Luis, San Martín de Porres, Santa Rosa.
- Relleno sanitario Portillo Grande (2): Relleno autorizado operado por Innova Ambiental, en el distrito de Lurín con una extensión de 307 hectáreas. Atiende a los distritos de Cercado de Lima, Lurín, Miraflores, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, San Borja, San Juan de

Miraflores, Santa María del Mar, Villa El Salvador, Villa María del Triunfo.

- Relleno Sanitario Huaycoloro (3): Relleno autorizado operado por Petramás S.A.C., en Huarochirí con una extensión de 1570 hectáreas. Atiende a los distritos de Ate, Chaclacayo, Chorrillos, Cieneguilla, El Agustino, Jesús María, La Molina, La Victoria, Los Olivos, Lurigancho, Pachacamac, Pucusana, Rímac, San Isidro, San Juan de Lurigancho, San Luis, San Miguel, Santa Anita, Santiago de Surco, Surquillo, Villa El Salvador, Matucana, Santa Eulalia, San Mateo de Otao y Surco.
- Botadero controlado Modelo (4): Botadero controlado y operado por Petramás S.A.C., en la región Callao. Atiende a los distritos de Comas, El Agustino, Independencia, Jesús María, La Molina, Lince, Los Olivos, Pueblo Libre, San Isidro, San Martín de Porres, San Miguel, Santa Anita, Santa Rosa, Bellavista, Callao, Carmen de la Legua, La Punta, La Perla, Mi Perú y Ventanilla.
- Planta de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos TARIS S.A. (75)

Dada la coyuntura, para situaciones de desastres se debe considerar áreas potenciales para la ubicación de escombreras, las cuales fueron identificadas en el estudio SIRAD realizado por INDECI, con el objetivo de aumentar la capacidad de almacenamiento de escombros producidos por un gran terremoto. Los criterios fueron desarrollados en base al Reglamento para la Gestión de Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición: zonas con área mínima de dos hectáreas para escombros limpios (cerca del 70% del total de los escombros generados resultantes del colapso de estructuras como ladrillos, bloques de concreto, tierra, etc.) y sucios (alrededor del 30% donde se consideran electrodomésticos, plásticos, vidrios, sustancias químicas, vehículos, etc.) y volumen mínimo de residuos de aproximadamente 50 000 m<sup>3</sup>) (INDECI, 2011).

El Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos Sólidos de las Actividades de la Construcción y Demolición, desarrollado por el MVCS (2013) detalla aún más los criterios:

- a. Ser compatible con la zonificación asignada en los planes de desarrollo urbano.
- b. En caso de implementación de escombreras en áreas de canteras de extracción no metálicas se considera, según corresponda, el estado de la concesión, titularidad del terreno, declaración de pasivo ambiental minero, entre otros.
- c. Estar ubicada a una distancia no menor de 500 m de una zona poblada, pudiendo establecerse una distancia menor o mayor de acuerdo al estudio ambiental.
- d. Cuando el terreno presente una pendiente mayor a 30 grados, debe justificarse técnicamente en el proyecto de infraestructura y en el estudio ambiental correspondiente la pertinencia del mismo.
- e. La dirección de los vientos debe ser contraria a la zona poblada más cercana.
- f. La ubicación de una escombrera debe considerar su emplazamiento en relación a cuerpos de agua, captaciones, manantiales y demás puntos de agua.
- g. Debe estar ubicado fuera de áreas arqueológicas y zonas reservadas o áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento.
- h. En casos de desastres naturales, los lugares de almacenamiento temporal de residuos sólidos de construcción y demolición pueden estar ubicados en zonas urbanas para su posterior transporte a las escombreras previstas para estos fines. Dicho lugar es autorizado por la Municipalidad Provincial correspondiente. Las zonas urbanas que se habiliten temporalmente no pueden ser utilizadas para la disposición final de ningún tipo de residuo peligroso. (p.29)

Siguiendo los criterios detallados con anterioridad, se identificaron 43 áreas en Lima y Callao: 18 existentes (7 autorizadas, 11 informales) y 25 no utilizadas, pero con potencial de convertirse en escombreras en situación de desastre por terremoto (INDECI, p.149). Seguidamente, se muestra las áreas identificadas en la Figura 5 y en el anexo 2 se brindan mayores detalles.

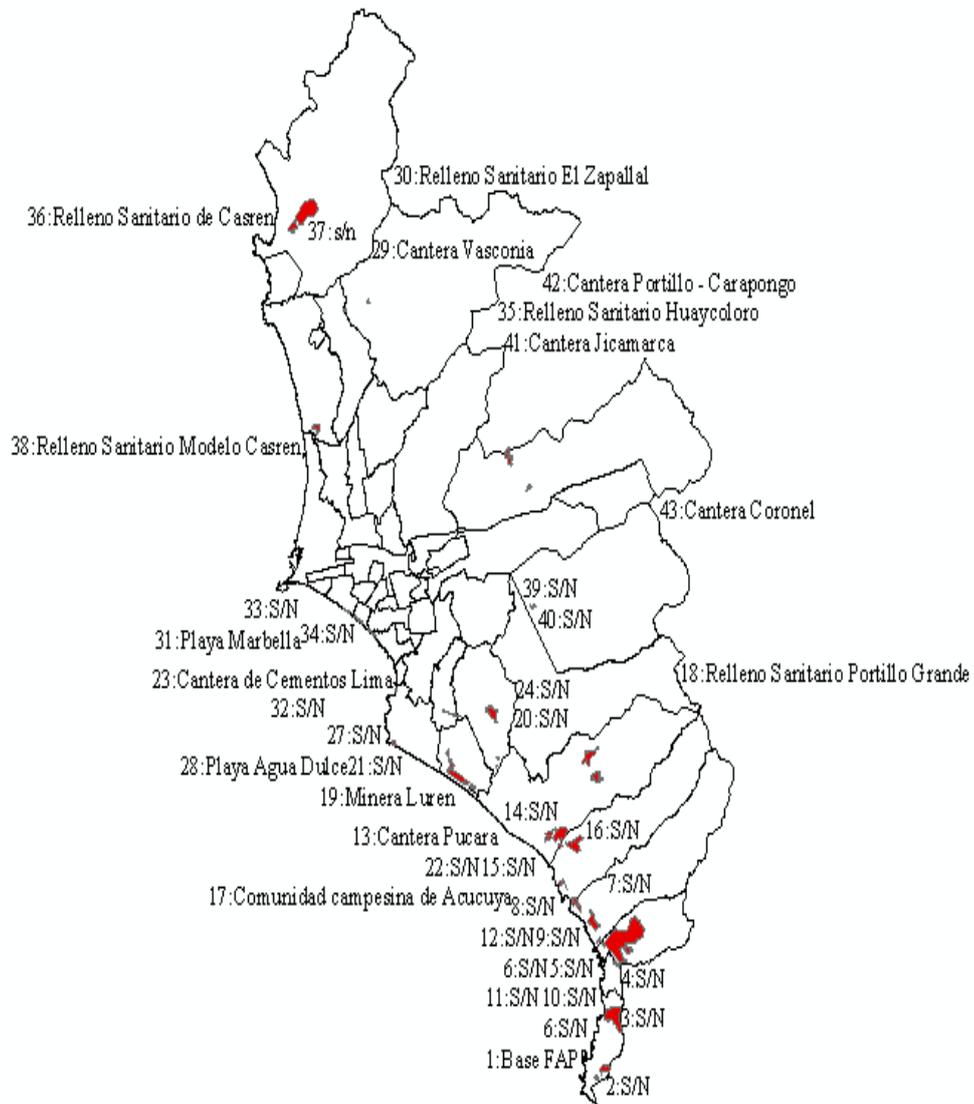


Figura 5: Rellenos sanitarios autorizados en Lima Metropolitana y Callao.  
 Fuente: Elaboración propia en ArcGIS Pro con data de INDECI.

La Tabla 12 muestra la distribución de áreas potenciales para usarse como escombreras según situación actual y extensión.

Tabla 12: Áreas potenciales para escombreras en función del uso actual y del tamaño.

Superficie de las áreas	Superficies extensibles en áreas ya utilizadas para depósitos		Superficies potenciales en áreas todavía no utilizadas para depósitos		Total	
	Número de áreas	Superficie (ha)	Número de áreas	Superficie (ha)	Número de áreas	Superficie (ha)
< 10ha	7	26.1	8	45.8	15	71.9
10–20 ha	5	63.4	3	44.6	8	108.1
20–50 ha	4	108.9	3	110	7	218.9
> 50ha	2	123	11	2613.5	13	2736.5
Total	18	321.4	25	2813.9	43	3135.4
		10.3%		89.7%		100%

Fuente: Tomado de Estudio SIRAD (p.149), por INDECI, 2011.

La extensión total a considerar como posible para atender el volumen en potencia de escombros debido a un gran sismo es de 3135 hectáreas, con una capacidad aproximada de 75 millones de m<sup>3</sup>, cifra que comparada con los escombros generados en el terremoto del 2010 en Haití (más de 20 millones de m<sup>3</sup>), supera con creces a los escombros generados en Haití. De las 43 áreas identificadas, 20 portan el calificativo de recomendable, al contar con buena accesibilidad, bajo impacto ambiental, alejadas de zonas habitadas y fuentes de agua que podrían almacenar 32 millones de m<sup>3</sup> de residuos. Las 19 áreas con el calificativo de posible, se encuentran más cerca a la población, con impacto ambiental moderado, lo cual implicaría una limitación para la escombrera en potencia como provisional las cuales podrían almacenar 42 millones de m<sup>3</sup>. Por último, las cuatro áreas restantes calificadas como poco recomendables, con una capacidad potencial de 1.3 millones de m<sup>3</sup>, se ubican en Villa El Salvador y Punta Hermosa. Cuentan con esta calificación al tener altos costos de preparación de terreno (INDECI, 2011). La Figura 6 muestra espacialmente las áreas según la clasificación otorgada por aptitud.

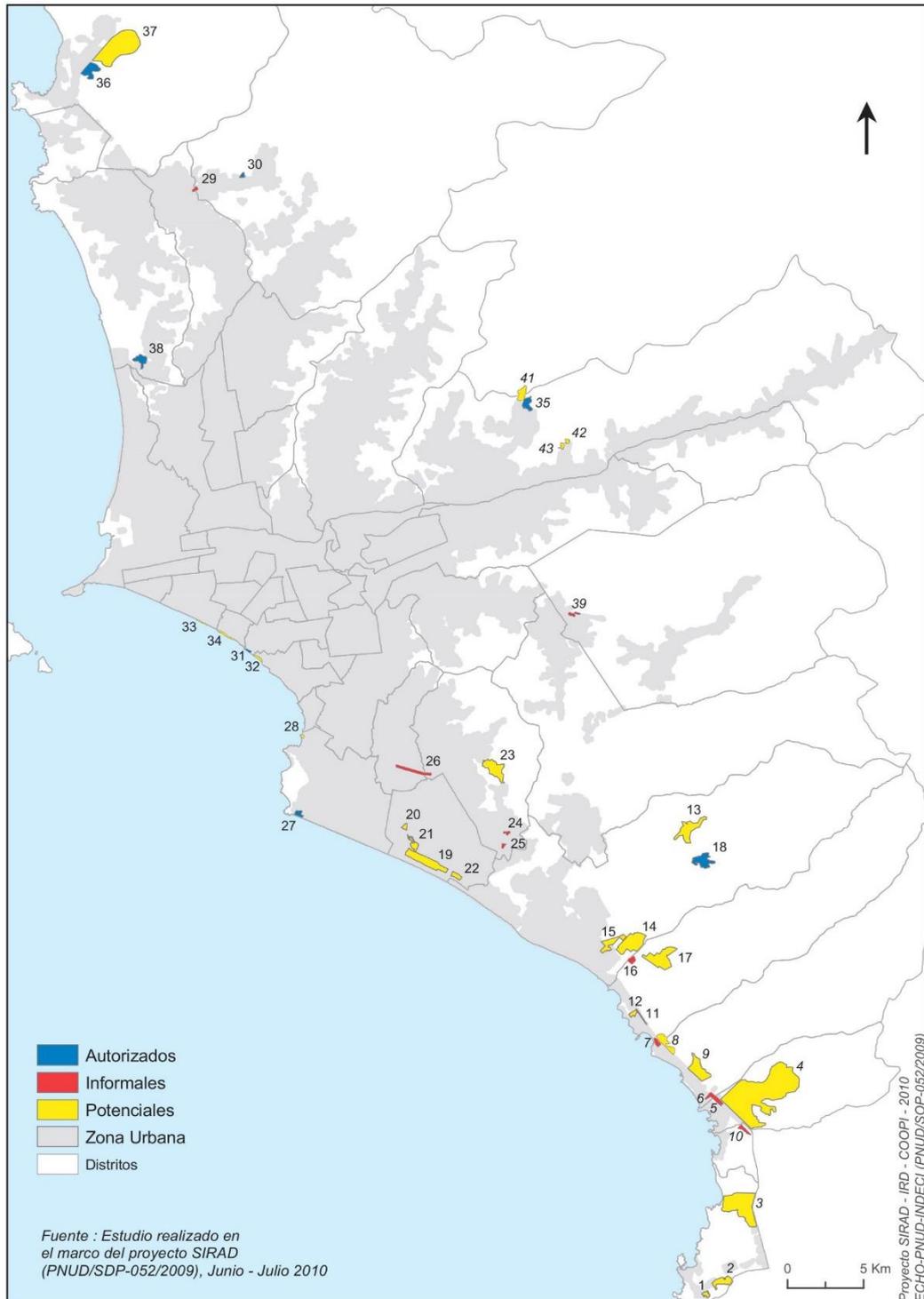


Figura 6: Situación actual de los terrenos identificados como escombreras potenciales en cuanto a su uso para depósito de residuos sólidos y escombros.

Fuente: Tomado de Estudio SIRAD (p.150), por INDECI, 2011.

Se aprecia que la gran mayoría de terrenos se encuentran en el sur de Lima, lo cual hace la repartición desigual geográficamente. Si bien se consideran los botaderos informales de la Costa Verde, no deben ser considerados al tener un

impacto ambiental muy alto. Solo en situaciones que lo requieran podrían tomarse como parte de una primera fase temporal.

Cabe resaltar que el 55.8% de las áreas y 67.9% son terrenos de propiedad privada, por lo tanto, se deben llegar a acuerdos con el sector privado para la administración de estas áreas (INDECI, 2011).

Lima sí cuenta con terrenos para uso de escombreras en caso de un terremoto de gran magnitud, sin embargo, la implementación y planificación del plan de manejo de escombros es prácticamente inexistente en las municipalidades, no se cuenta con acondicionamiento de espacios adecuados y mucho menos con un plan de emergencia.

### 2.3.12 Softwares y metodologías relacionados al tema

#### ArcGIS

Khan y Mohiuddin (2018) refieren que ArcGIS es un marco de datos geográficos (GIS) para trabajar con mapas y datos geográficos. Además, es un programa GIS que puede realizar investigación espacial en información vectorial y ráster, alterar y geocodificar información y crear mapas excelentes. Incorpora el programa ArcGIS Online que se dirige a una etapa de mapeo para producir mapas y aplicaciones web intuitivos.

Booth y Mitchell (2001) mencionan que ArcGIS Pro v2.8 se puede usar de diferentes formas, dependiendo de la complejidad de sus necesidades. Algunas personas lo usan principalmente como una herramienta de análisis y mapeo para un solo usuario, generalmente en el contexto de un proyecto finito bien definido. Otras personas usan ArcGIS Pro v2.8 en un sistema multiusuario diseñado para satisfacer las necesidades continuas de información geográfica de una organización. El SIG multiusuario a veces se divide en SIG departamental y empresarial, de acuerdo con el nivel de complejidad e integración de un sistema con el funcionamiento diario de una organización.

#### Pix4D

El software Pix4D Mapper v4.7 es un software que permite realizar el proceso fotogramétrico de una serie de imágenes, con el fin de obtener una serie de productos cartográficos los cuales permiten realizar diferentes tipos de

mediciones lineales y volumétricas con alta precisión. La máxima aportación de este software es la gran capacidad de absorción de datos e interpretarlos simultáneamente para otorgar un ortomosaico de altísima resolución y modelos digitales de elevaciones con una precisión mucho más que admisible para la obtención de cartografía que es, uno de los aspectos que más interesa para la tecnología SIG. Además, permite obtener los siguientes resultados:

- Triangulación fotogramétrica.
- Construcción de una nube densa de puntos.
- Modelos digitales de elevación (MDE).
- Exportación de ortomosaico georreferenciado.
- Modelos digitales de terreno (MDT).
- Cálculo de volúmenes

#### ETABS 19

El software ETABS 19 es de gran importancia para el análisis estructural y dimensionamiento de edificios. Brinda desde la posibilidad de realizar el modelado de la estructura hasta el diseño y detalles estructurales con comandos fáciles de trabajar, permitiendo la rápida generación del modelo.

ETABS 19 proporciona diversas herramientas para los ingenieros estructurales, realiza informes de cálculo con optimización automatizada.

#### SeismoMatch 2021

La aplicación de SeismoMatch 2021 se encarga de realizar *matching* o escalar acelerogramas de sismos hacia un espectro de respuesta objetivo. Con su algoritmo sofisticado posibilita el escalamiento sísmico rápidamente después de que el usuario cargue el acelerograma y defina el espectro de respuesta objetivo, y para finalizar realice los ajustes del rango de periodos. Realizado el procedimiento descrito, el escalamiento está terminado.

## 2.4 Definición de términos básicos

### Escombros

“Todo residuo sólido sobrante de la actividad de la construcción de obras civiles o de otras actividades conexas complementarias o análogas” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011, p.5).

### Caracterización de escombros

“Actividad cualitativa que recurre a datos con el fin de profundizar el conocimiento sobre la composición de los escombros, realiza una serie de fases tales como la organización de datos con la toma de muestras de campo representativas desde puntos de vista físicos y mecánicos para la evaluación de su uso potencial en diferentes campos de la construcción y viabilidad de su uso como materiales de construcción estandarizado” (Sandoval, 2017).

### Gestión de escombros

“Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos de ámbito nacional, regional y local” (Congreso de la República, 2000, p.18).

### Daño sísmico

“Es el grado de degradación o destrucción causado por un fenómeno peligroso sobre las personas, los bienes, los sistemas de prestación de servicios y los sistemas naturales o sociales. Desde el punto de vista estructural, generalmente se relaciona con deformaciones irreversibles (inelásticas), por lo tanto, cualquier variable de daño debe ser preferiblemente referida a una cierta cantidad de deformación” (Bonett, 2003, p.19).

### Estado de daño

“Definiciones cualitativas que sirven como indicadores del grado de daño global de la edificación o del nivel de perturbación que sufre el mantenimiento de sus funciones. Constituyen una medida discreta del nivel de deterioro que puede sufrir la edificación” (Safina, 2003, p.51).

### Herramientas geomáticas

“Herramientas de hardware, software y datos geográficos, diseñado para capturar, almacenar, manipular y analizar todo tipo de información geográfica con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión. Se utiliza para fusionar datos, realizar análisis espaciales y ver los resultados en tiempo real. Esto ayuda a comprender la relación entre los daños materiales, las personas y ayuda a gestionar la respuesta” (ESRI, 2020).

#### Disposición final

“Acción de colocación ordenada de los residuos sólidos en los lugares de destinos final sin perjudicar el ambiente y la salud de la población” (MVCS, 2016, p.35).

#### Escombrera

“Instalación para la disposición final de residuos sólidos no reaprovechables (inertes) procedentes de las actividades de la construcción o demolición” (MVCS, 2016, p.35).

#### Reaprovechamiento

“Obtener un beneficio a partir del residuo sólido de la construcción y demolición. Se reconoce como técnica de reaprovechamiento el reciclaje, recuperación o reutilización” (MVCS, 2016, p.35).

#### Reutilización

“Toda actividad que permita reaprovechar directamente el bien, artículo o elemento que constituye el residuo sólido, con el objeto de que cumpla el mismo fin para el que fue elaborado originalmente en alguna relacionada sin que para ello se requieran procesos adicionales de transformación” (MVCS, 2016, p.35).

#### Reciclaje

“Proceso mediante el cual se procesan y transforman los residuos de construcción y demolición, para valorizar su potencial de reincorporación como materia prima o insumos para la obtención de nuevos productos” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2012, p.6).

#### Desastre

“Efecto de un suceso súbito e inesperado que altera la prestación de bienes y servicios de una comunidad en un momento determinado, debido a la exposición desmedida al riesgo ( $\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} * \text{Amenaza}$ ); afectando la vida y bienestar de sus miembros produciendo consecuencias humanas, sociales y económicas, que pueden variar en duración según las estrategias de afrontamiento” (Pretell, 2008).

#### Adobe

“Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad” (SENCICO, 2020, p.8).

### Albañilería o mampostería

“Material estructural compuesto por “unidades de albañilería” asentadas con mortero o “unidades de albañilería” apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido” (SENCICO, 2020, p.15).

### Deriva

“Diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles consecutivos” (Safina, 2003, p.15).

### Sistema de Información Geográfica

“Colección integrada de datos y software para computadoras, utilizados para ver y administrar información sobre sitios geográficos, analizar relaciones espaciales y modelar procesos espaciales. Proporciona un marco de referencia para agrupar y organizar datos espaciales e información relacionada para visualizarla y analizarla.” (Wade y Sommer, 2015, p.222).

## **CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis general

Al gestionar los escombros producidos por el colapso de edificaciones en caso de sismo se mejora la planificación de la disposición adecuada y posible reaprovechamiento de los escombros.

#### 3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Al identificar las características de edificaciones se logra registrar los tipos de materiales incorporados en los escombros a través de Google Street View, levantamiento fotogramétrico, visitas a campo y formatos de levantamiento de información.
- b) Al establecer los diferentes escenarios sísmicos se logra calcular los desplazamientos laterales relativos de las edificaciones relacionados con el estado de daño.
- c) Al evaluar el daño a edificaciones debido a sismo se categoriza el estado de daño utilizando el manual técnico de HAZUS MH.
- d) Al cuantificar los escombros generados en diferentes escenarios sísmicos se planifica la remoción y eliminación de escombros.

### 3.2 Sistema de variables

#### 3.2.1 Definición conceptual

Tabla 13: Definición conceptual de las variables.

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>
<b>V. Independiente</b>	
Colapso de edificaciones en caso de sismo	El colapso de edificaciones hace referencia a la disminución de la resistencia de la estructura, generando incapacidad en su función, pérdida de estabilidad y destrucción. Esto puede generarse por la ocurrencia de un sismo, dependiendo de la magnitud con el que se presente.
<b>V. Dependiente</b>	
Plan de gestión de escombros	Conjunto de estrategias de planificación que permiten prever la disposición adecuada de escombros, estableciendo lugares de acopio provisional y opciones adecuadas de eliminación o reciclaje.

Fuente: Elaboración propia

#### 3.2.2 Definición operacional

Tabla 14: Definición operacional de las variables.

<b>Variable</b>	<b>Definición operacional</b>
<b>V. Independiente</b>	
Colapso de edificaciones en caso de sismo	Se establecen diferentes escenarios sísmicos a través del software SeismoMatch 2021 permitiendo la simulación en ETABS 19 para definir los estados de daños de las edificaciones que serán identificadas a través de mapas temáticos.
<b>V. Dependiente</b>	
Plan de gestión de escombros	Se analizan estrategias para el manejo de escombros, tecnologías de reutilización y reciclaje de los residuos de construcción para las edificaciones a reconstruir y la existencia de rellenos sanitarios.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 Operacionalización de las variables

Tabla 15: Operacionalización de las variables.

Variables	Indicadores	Índices	Instrumentos	Herramientas
<b>V. Dependiente</b>				
Plan de gestión de escombros	Identificación	Inventarios de edificaciones		Pix4D
	Planificación	Aplicación de software		ArcGIS Pro v2.8
	Organización	Elaboración de mapas y gráficos.	Formatos para levantamiento de información	Bibliografía IGP
	Ejecución	Aplicación de metodologías y cálculos revisados en bibliografías.		Estudios INDECI
	Control	Identificación de sitios adecuados de disposición para escombros.	Levantamiento fotogramétrico.	Google Earth Pro
<b>V. Independiente</b>				
Colapso de edificaciones en caso de sismo	Características de edificaciones	Reconocimiento de la infraestructura.		Registro in situ, Google Street View.
	Características de sismo	Escalamiento sísmico.		ETABS 19, SeismoMatch 2021, Norma E30.
	Colapso de edificaciones	Metodología HAZUS	Formatos de cálculo.	Bibliografía INDECI, IGP
	Cuantificación y caracterización de escombros	Estimación de pérdidas de materiales.		Manual técnico de HAZUS
	Disposición y reciclaje de escombros	Análisis de lugares potenciales.		Metodología para cuantificar y caracterizar la generación de escombros en edificios residenciales después de eventos sísmicos.
				Decretos supremos, leyes y reglamentos de gestión de residuos sólidos, manuales internacionales.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Indicadores e índices de las variables.

<b>Variable dependiente</b>		<b>Variable independiente</b>	
<b>Plan de gestión</b>		<b>Colapso de edificaciones</b>	
<b>Indicadores</b>	<b>Índices</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índices</b>
Identificación	Inventarios de edificaciones	Cantidad	Reconocimiento de la infraestructura
		Tipología estructural	
		Material predominante	
Planificación	Aplicación de software	Estado de conservación	Escalamiento sísmico.
		Escenario sísmico	
Organización	Elaboración de mapas y gráficos.	Estado de daño	Metodología HAZUS.
		Clasificación de estado de daño según escenario sísmico y tipología.	
Ejecución	Aplicación de metodologías y cálculos revisados en bibliografías.	Caracterización de escombros.	Cálculo según porcentajes de materiales de edificaciones.
		Cuantificación de escombros en toneladas y volumen.	
Control	Verificación de sitios adecuados para disposición de escombros.	Disposición. Reciclaje.	Elaboración de mapas de vertederos y rellenos autorizados, identificación de rutas para disposición de escombros.

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO**

### **4.1. Método de la investigación**

La presente investigación emplea un método deductivo, porque reconoce e identifica las variables de estudio, plantea las hipótesis para cada uno de sus objetivos, operacionaliza las variables y propone una solución al problema de la investigación, es aplicada, ya que propone una metodología con la que se caracterizan y cuantifican los escombros generados por el colapso de edificaciones en caso de un sismo para elaborar un plan que permita gestionarlos de manera adecuada y puedan ser reutilizados. Tiene un enfoque mixto, siendo cuantitativo ya que en los resultados se presentarán indicadores, porcentajes y cantidades de escombros generados según la magnitud del sismo y cualitativo debido a que se establecerán procedimientos para obtener los resultados y se propondrá un plan de gestión. El instrumento de recolección de datos es prolectivo, porque el investigador diseñó formatos y/o fichas, para organizar, recopilar, resumir o anotar la información y/o datos utilizados en el estudio.

### **4.2. Tipo de la investigación**

La investigación es de tipo descriptivo, explicativo y correlacional toda vez que estudia la relación o grado de asociación existente entre la variable independiente y la variable dependiente, estableciéndose que a la ocurrencia de un sismo de mayor magnitud mayor es la generación de escombros que se generarán en el lugar a evaluar.

### **4.3. Nivel de la investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo debido a que se busca obtener respuesta al problema de la investigación haciendo uso de cuadros, gráficos porcentuales y cuantificación de diversos indicadores.

### **4.4. Diseño de la investigación**

El diseño es observacional, debido a que la información a recaudar necesita visitas a campo, estudios de experiencias de sismos pasados y reconocimiento de características del lugar de estudio. Es transversal, porque la información obtenida fue en un momento determinado y no necesita más mediciones. Es prospectivo, porque con instrumentos prolectivos se recoge información de campo y es retrospectivo, dado que se obtiene información adicional de instituciones o

investigaciones pasadas. Finalmente, el estudio del diseño es de cohorte (causa-efecto), porque estudia, evalúa e implementa la variable independiente (evento sísmico), con la finalidad de dar respuesta al problema de la investigación.

#### 4.5 Población y muestra

##### 4.5.1 Población

La población abarca la ciudad de Lima, distrito Cercado de Lima, específicamente en la zona de Barrios Altos perteneciente al Centro Histórico de Lima (CHL).

##### 4.5.2 Muestra

Para determinar la muestra se aplicó la ecuación 1 de muestreo para población finita:

N = población (184)      Z = nivel de confianza al 95% (1.96)

p = probabilidad a favor (0.5)      e = error de estimación (0.05)

q = probabilidad en contra (0.5)      n = tamaño de muestra

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{N * e^2 * Z^2 * p * q} = 125 \tag{1}$$

Sin embargo, se consideró el 100% de la población al contar con las herramientas necesarias para abarcar la totalidad de la población. Por lo tanto, la muestra de estudio comprende 184 lotes pertenecientes al área entre las calles Jr. Áncash, Wari, Jr. Junín y Manuel Pardo en la zona de Barrios Altos.

Subconjuntos de la población:

- Criterios de inclusión: Movimiento sísmico, Barrios Altos, Centro Histórico de Lima, edificaciones de vivienda, tipologías estructurales de adobe, tipologías estructurales de mampostería.
- Criterios de exclusión: Desastres naturales diferentes a sismos, estacionamientos, pistas, losas deportivas, estaciones de servicio, monumentos históricos, colegios, parques y jardines.

## 4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 4.6.1 Técnica y método

- Visitas a campo: Como parte de las técnicas a emplearse para la recolección de datos se tienen las visitas a campo, en las cuales la información se recopila a través de entrevistas, encuestas, fotografías y demás formatos.
- Levantamiento fotogramétrico: Metodología existente a utilizarse para la cuantificación y caracterización de los escombros generados por sismo. Tiene como base la bibliografía a consultar para la presente investigación.

### 4.6.2 Herramientas

- Manual técnico de HAZUS MH: La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) junto al Gobierno de los Estados Unidos de América desarrollaron metodologías para estimar el riesgo y planificar la capacidad de respuesta de la ciudadanía ante situaciones de desastre por acción de fenómenos naturales como sismos, inundaciones, tsunamis y huracanes.
- Norma E030 Diseño Sismorresistente: Normativa para el análisis sísmico.
- Decretos Supremos y Reglamentos sobre la gestión de residuos sólidos.
- Google Street View: Herramientas de búsqueda de ubicaciones proporcionado por Google, el cual permite localizar lugares específicos, rutas, imágenes entre otras funciones.

### 4.6.3 Instrumentos

- Formatos para levantamiento de información: Se identifican las características de las edificaciones, considerando la tipología estructural y los materiales.
- Ortofotos: Fotografías obtenidas en el levantamiento fotogramétrico en orden de ayudar visualmente a identificar las características de las edificaciones.

### 4.6.4 Presentación de resultados

- Mapas temáticos
- Gráficos pastel
- Tablas
- Gráficos de barras verticales

#### 4.6.5 Procesamiento de datos

- Software: SeismoMatch 2021
- Software: ETABS 19
- Software: ArcGIS Pro v2.8
- Software: Pix4D

#### 4.7 Descripción de procedimientos de análisis

El procedimiento de análisis es basado en la metodología empleada por García (2016) parte en base a los siguientes puntos:

- a) Recopilación de datos de la zona de estudio: Revisión de información catastral a en plataformas de INEI, ICL, Google Maps. Actualización de información existente con vuelo fotogramétrico de dron, creación de modelo 3D en Pix4D Mapper v4.7 y exportación a ArcGIS Pro v2.8.
- b) Aplicación de metodología: Generado el inventario de las edificaciones, se realiza el metrado de las muestras de cada tipología establecida para calcular una ratio de  $\text{kg/m}^2$  y  $\text{m}^3/\text{m}^2$  que permitirá estimar el stock de materiales en las edificaciones. Posteriormente se realiza el escalamiento sísmico del acelerograma del sismo ocurrido en Lima del año 1966 para generar distintos escenarios sísmicos y relacionar los resultados con estados de daños propuestos el manual técnico de HAZUS MH.
- c) Estimación de pérdidas: La evaluación de los estados de daño de las edificaciones permite obtener porcentajes de pérdidas de materiales que generará cada tipología, de esta manera se estiman las pérdidas materiales de las edificaciones para cada escenario sísmico.
- d) Análisis de resultados: Con los resultados obtenidos, se cuantifica los escombros (toneladas y volúmenes) producidos por tipo de vivienda, por tipo de material y se plasman en mapas temáticos.
- e) Propuesta de plan: Se analizan lugares adecuados para la disposición de los escombros generados y se proponen mejoras en la gestión de RCD según su cuantificación y caracterización estimadas.

#### 4.8 Descripción de metodología

Se describe la metodología aplicada en el estudio, la cual fue desarrollada por García (2016) para pronosticar las pérdidas materiales producidas por terremotos. Las

principales diferencias en esta investigación están en la clasificación de la infraestructura residencial y la estimación de daño físico de las mismas. También se consideraron las mejoras propuestas a la metodología por Mesta (2017), donde se hace un análisis más detallado en la cuantificación del stock de materiales.

A continuación, se detallan las etapas de la aplicación de la metodología.

#### 4.8.1 Generación del inventario de edificaciones

Las edificaciones son clasificadas en diferentes tipologías según las características similares que presenten, en este estudio se considera principalmente que coincidan con: material predominante y número de piso; dado que en la zona las viviendas tienen distribuciones de áreas similares. El inventario fue construido de acuerdo a información del Instituto Catastral de Lima, vuelo de inspección y vuelo fotogramétrico que logra procesarse en un modelo geo-referenciado facilitando la visualización de diversos atributos.

#### 4.8.2 Estimación del stock de materiales en las edificaciones

En el estudio se consideran diferentes estrategias para analizar dos parámetros: área techada de edificaciones -  $AT$  ( $m^2$ ) e intensidad de materiales -  $MI$  ( $kg/m^2$ ), como indicadores del tamaño y composición material de las edificaciones, respectivamente. Con ambos parámetros, se logra estimar el stock de materiales, tal y como se muestran en las ecuaciones 1 y 2:

$$M_{m,i} = (\sum AT_i \times N_i) \times IM_{m,i} \quad (1)$$

$$MS = \sum_{m,i} M_{m,i} \quad (2)$$

Donde,  $AT_i$  = área techada edificación para la tipología  $i$  ( $m^2$ ),  $N_i$  = número de edificaciones para la tipología  $i$ ,  $IM_{m,i}$  = intensidad de material para el material  $m$  y tipología  $i$  ( $kg/m^2$ );  $M_{m,i}$  = masa de material  $m$  contenido en tipología  $i$  ( $kg$ );  $MS$  = stock de materiales de las edificaciones. Datos adaptados de Mesta (2017).

##### a) Estimación del área techada

En el modelo geo-referenciado se cuenta con el área de lote, lo que permite obtener un área techada, descontándole previamente los vacíos que se aprecien en planta. Se hacen necesarios:

- ✓ Uso de mapas catastrales: Obtenidos de las autoridades municipales, proveen las dimensiones de los lotes (longitud, área).
- ✓ Vuelo fotogramétrico de dron: Esta herramienta permite procesar un modelo 3D, donde se logran vistas panorámicas y en planta de las calles, lo cual permite obtener el número de pisos de las viviendas y estado de conservación de manera actualizada.

El área techada fue calculada multiplicando el área del lote por el número de pisos por una ratio de área construida según inspección (aprox. 70-80%).

#### b) Estimación de las intensidades de material

Las intensidades de material IM fueron calculadas para cada tipología. Debido a que Barrios Altos cuenta con edificaciones antiguas que carecen de planos de construcción o especificaciones técnicas se utilizan distintas fuentes de información:

- ✓ Investigación in-situ: Realizar mediciones en campo para obtener información de los componentes estructurales visibles (longitud y espesor de muros, área techada). Esto permite elaborar planos de referencia para hacer los metrados respectivos.
- ✓ Opinión de expertos: Información más detallada como dimensiones de sobrecimiento o techos en viviendas de adobe es consultada con expertos en procesos constructivos.
- ✓ Literatura: Información necesaria sobre la densidad de los materiales es revisada en los códigos de diseño y normativas.
- ✓ El cálculo necesario para obtener la masa es multiplicar el volumen obtenido en el metrado por su densidad o peso.

#### 4.8.3 Clasificación de los estados de daño de las edificaciones

Se establecen 4 escenarios para el análisis de resultados: 0.10 g, 0.20 g, 0.30 g y 0.40 g.

El manual técnico de HAZUS propone la clasificación de los estados de daño de las edificaciones según los desplazamientos laterales relativos obtenidos después de efectuarse el análisis estructural de las tipologías existentes de la zona de estudio. Una vez obtenidas las derivas, los estados de daño son

clasificados en ligero, moderado, extensivo y completo, donde se observa que cuando las derivas crecen, el estado de daño es mayor.

#### 4.8.4 Estimación de pérdidas en el stock de materiales en las edificaciones

La estimación de las pérdidas materiales para los diferentes escenarios planteados requiere hacer uso de un enfoque empírico propuesto en el manual técnico HAZUS. Mesta (2017) menciona que el método se basa en el uso de tablas para estimar la fracción de escombros generados, de acuerdo al estado de daño en el que se encuentra la edificación y a la tipología constructiva, tal y como se muestran en las ecuaciones 3 y 4.

Estimamos las pérdidas en el stock de materiales - LMS de las ecuaciones:

$$LM_{m,i} = \sum DF_{m,i,k} \times M_{m,i,k} \quad (3)$$

$$LMS = \sum_{m,i} LM_{m,i} \quad (4)$$

Donde,  $DF_{m,i,k}$  = fracción de escombros del material  $m$  contenido en la tipología  $i$  debido al estado de daño  $k$  (%);  $M_{m,i,k}$  = masa de material  $m$  contenido en la tipología  $i$  con estado de daño  $k$  (kg);  $LM_{m,i}$  = masa de pérdida de material  $m$  en la tipología  $i$ ;  $LMS$  = pérdida en el stock de materiales de las edificaciones. Datos adaptados de Mesta (2017).

## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Centro Histórico de Lima

#### 5.1.1 Antecedentes

Una de las zonas más vulnerables e importantes del Perú es el Centro Histórico de Lima, que dentro de sus características fundamentales se evidencia su rol de centralidad, valor patrimonial y precariedad. Se distingue tanto por un uso de suelo intensivo y un dinamismo de actividades comerciales, como por la concentración de administraciones, instituciones y equipamientos de nivel metropolitano y nacional. El valor patrimonial del Centro Histórico, declarado “Patrimonio Cultural de la Humanidad” por parte de la UNESCO en 1991, y el reconocimiento de gran parte del área central considerada de elevado valor patrimonial por parte del Instituto Nacional de Cultura, constituye un fuerte criterio para el desarrollo de labores de rehabilitación y de renovación, con especial énfasis en elementos y espacios patrimoniales, en su mayoría, referidos a inmuebles en condiciones precarias y deterioradas (*Cooperazione Internazionale*, 2010).

Pese a su gran importancia, ha pasado por un proceso intensivo de consolidación urbano-social, que ha generado una mayor concentración de población, generando un espacio de alta vulnerabilidad que repercute en las condiciones locales y distritales de desarrollo.

La zona de estudio es amplia e históricamente reporta distintas etapas de evolución en su habilitación urbana, por lo que es posible encontrar en el mismo ámbito construcciones muy antiguas y construcciones relativamente recientes. Esto mismo hace que se empleen distintos materiales en su construcción y que las características aparentes de ellas varíen mucho. Por ejemplo, muchas de las viviendas de las zonas más antiguas (cercanas a la plaza mayor, o a la alameda de los descalzos en el Rímac) tienen paredes de adobe muy anchos con alturas de entrepiso grandes (cerca de cuatro metros de altura) y un solo nivel, mientras que en zonas residenciales más o menos recientes (algunas zonas de Barrios Altos o del Rímac) se pueden encontrar construcciones de albañilería confinada con alturas de entrepiso convencionales (2.08 a 3.00 m) y con dos, tres y hasta cuatro pisos.

Adicionalmente, en el Centro Histórico tiene lugar una intensa actividad comercial, tanto formal como informal, lo que ha contribuido a que se construyan galerías comerciales y edificios de oficinas de varios pisos (el Centro Cívico de Lima, ubicado entre las calles Bolivia, España y el Paseo de la República, fue durante mucho tiempo el edificio civil más alto del Perú), algunos construidos principalmente de concreto armado.

Conforme a lo expuesto, Centro Histórico de Lima se hace un espacio adecuado para aplicar un estudio de gestión de escombros producidos por colapso de edificaciones, debiendo ejecutar un inventario de edificaciones que detalle la tipología de estructuras existentes y materiales con los que han sido construidos. Haciendo uso de esa información, aplicando metodologías y softwares se puede establecer un escenario sísmico que resultaría en diversos resultados de cantidad y características de escombros, para los cuales se propone un plan de gestión.

#### 5.1.2 Delimitación

Según el capítulo V de la Ordenanza 062 del reglamento de administración del Centro Histórico de Lima (1994), los límites definitivos del CHL se establecieron con la finalidad de ordenar, administrar y controlar el centro histórico (Municipalidad Metropolitana de Lima, 1994).

Asimismo, el artículo 25 de la Ordenanza 201 del Plan Maestro del Centro Histórico de Lima, ordenanza publicada por la Municipalidad Metropolitana de Lima (1998) define al CHL como “una estructura socioeconómica, espacial y cultural, que da testimonio de un período significativo de la historia de la ciudad, constituye expresión de la creatividad cultural de la comunidad local y mantiene las características y calidades de vida propias de núcleos urbanos en actividad” (p.6).

A su vez, la Ordenanza 201 del Plan Maestro del Centro Histórico de Lima en sus artículos 21, 22 y 23 establece la división de zonas según su conformación y características físicas – culturales contemplando diversos criterios de jerarquización, densidad de ambientes de inmuebles monumentales. Las tres zonas del Centro Histórico de Lima se distribuyen en zona A, siendo aquella que está conformada por ambientes monumentales y monumentos de

arquitectura civil - religiosa, los cuales no deben ser alterados al ser considerados como de primer orden, aunque los elementos de segundo orden sí son posible las adecuaciones correspondientes. La zona B mantiene una relación con la zona A, pero con elementos urbano – monumentales de menor jerarquía y sin ser homogénea. Seguidamente, la zona C abarca áreas de protección paisajística, dentro de ellas el río Rímac, cerros San Cristóbal, El Altillo y Santa Rosa, cuya finalidad es la conservación del entorno y fundamentalmente, recreativo. Para concluir, el artículo 26 menciona la extensión del CHL, ocupando áreas jurisdiccionales del Cercado de Lima y Rímac, áreas periféricas de San Juan de Lurigancho, El Agustino, La Victoria, Jesús María y Breña. (Municipalidad Metropolitana de Lima, 1994).

### 5.1.3 Materiales característicos de edificaciones

La distribución de los inmuebles desarrollada por El Instituto Catastral de Lima (ICL) clasifica a los inmuebles del CHL en cinco categorías, según el material predominante de la construcción: tradicional, ladrillo, concreto y madera. El material más predominante es el ladrillo o bloque de cemento con un 57%, seguido del adobe o tapia con el 24%, y finalmente el 5% perteneciente a madera u otro material. Estos porcentajes se ven reflejados en la siguiente Tabla 17.

Tabla 17: Cantidad de viviendas por tipo de material predominante en el CHL - 2007.

<b>Tipo de material</b>	<b>Viviendas</b>	<b>%</b>
Ladrillo o bloque de cemento	22204	57.31
Adobe o tapia	9262	23.91
Madera (pona, tornillo, etc.)	1335	3.45
Quincha (caña con barro)	5335	13.77
Otro material	605	1.56
<b>Total</b>	<b>38741</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Tabla elaborada con información obtenida de Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Tomado de Plan Maestro del Centro Histórico de Lima al 2025 (p.327), por Municipalidad de Metropolitana de Lima, 2014.

## 5.2 Selección del área de estudio

Barrios Altos lleva este nombre por su ubicación en la cota más alta de Lima virreinal; territorialmente se encuentra emplazado sobre el valle producido por la cuenca hidrográfica del río Rímac, al lado este del Centro Histórico de Lima y del distrito de Cercado. Sus delimitaciones son al norte por el río Rímac, al oeste por la avenida Abancay, al sur por la avenida Grau y al este por el jirón José de Rivera y Dávalos, como se muestra delimitado con línea roja en la Figura 7, dándole a este lugar localización estratégica, situación heredada desde su fundación, con una eficiente conectividad dentro del actual y extenso tejido metropolitano de Lima. Esto se debe a su cercanía al núcleo fundacional y a los sistemas modales de transporte público, así como a la línea del tren eléctrico, el metropolitano y futuros corredores viales. (Álvarez, A. y Mendoza, F., p.68)

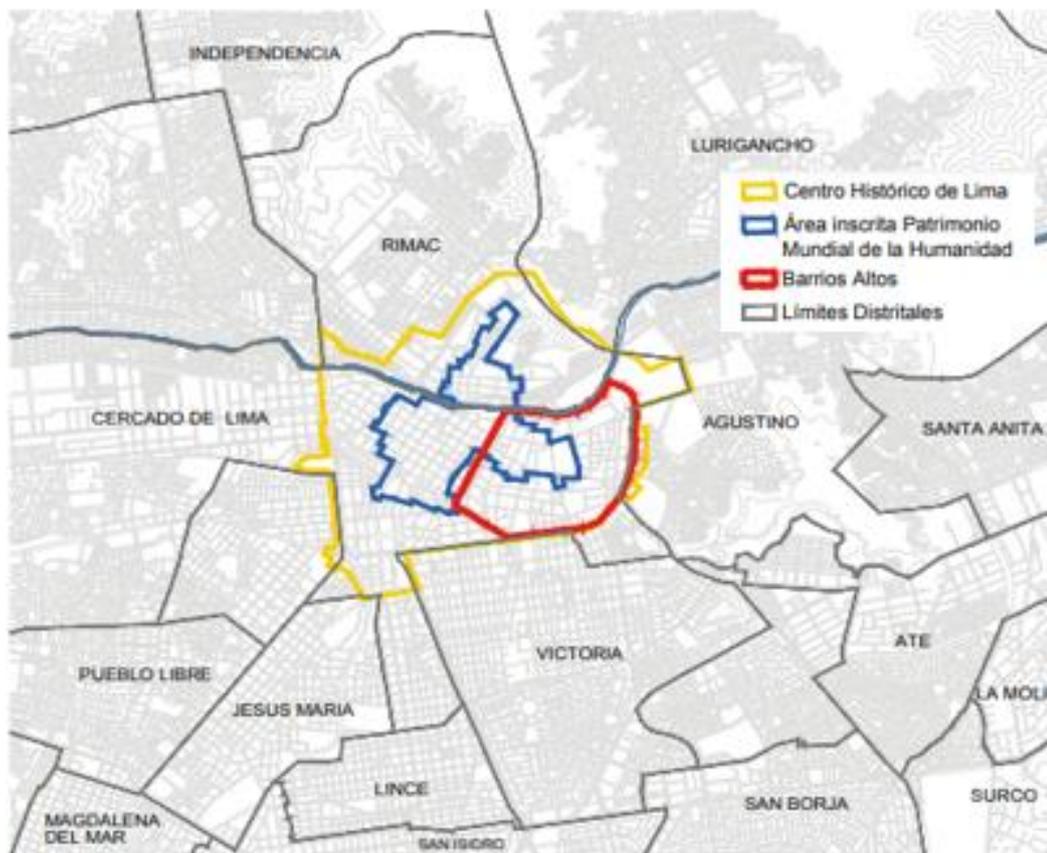


Figura 7: Barrios Altos y su localización a escala metropolitana, distrital y barrial.  
Fuente: Tomado de Caracterización de un conjunto de barrios tradicionales en el marco del Centro Histórico de Lima (p.9), por Shimabukuro, 2015.

La extensión de Barrios Altos representa un 26% del Centro Histórico de Lima, lo cual significa en números 63 hectáreas de extensión. Aun cuando aloja inmuebles muy importantes y algunos de ellos patrimonios, la zona presenta un gran deterioro social por la turgurización y áreas vulnerables con riesgo de colapso que afectarían alrededor de 4500 familias (Álvarez y Mendoza, 2016).

El deterioro de infraestructura urbana, falta de áreas verdes, redes de tuberías de agua y desagüe muy antiguas, nula presencia de estacionamientos públicos, estado de degradación de las aguas y sus riberas del río Rímac, pobre integración vial y lotización espontánea y desproporcionada (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2015).

La Municipalidad Metropolitana de Lima (2015) menciona que:

La característica principal de la mayoría de edificaciones es su precariedad debido al uso del adobe y la quincha para su construcción. La mayoría de las viviendas están turgurizadas, constituyendo callejones insalubres, irrecuperables por el deterioro de sus materiales, y en riesgo de colapso inminente. (pp.29)

### 5.3 Delimitación del sector de estudio

El sector comprendido entre las calles Jr. Áncash, Wari, Jr. Junín y Manuel Pardo en la zona de Barrios Altos, con una extensión de 16 hectáreas fue seleccionado para este estudio. La selección se basó en los siguientes criterios: disponibilidad de información, importancia histórica y alta existencia de vulnerabilidad en edificaciones. El área de estudio se muestra en la Figura 8 y el anexo 3 muestra el mapa completo de ubicación.

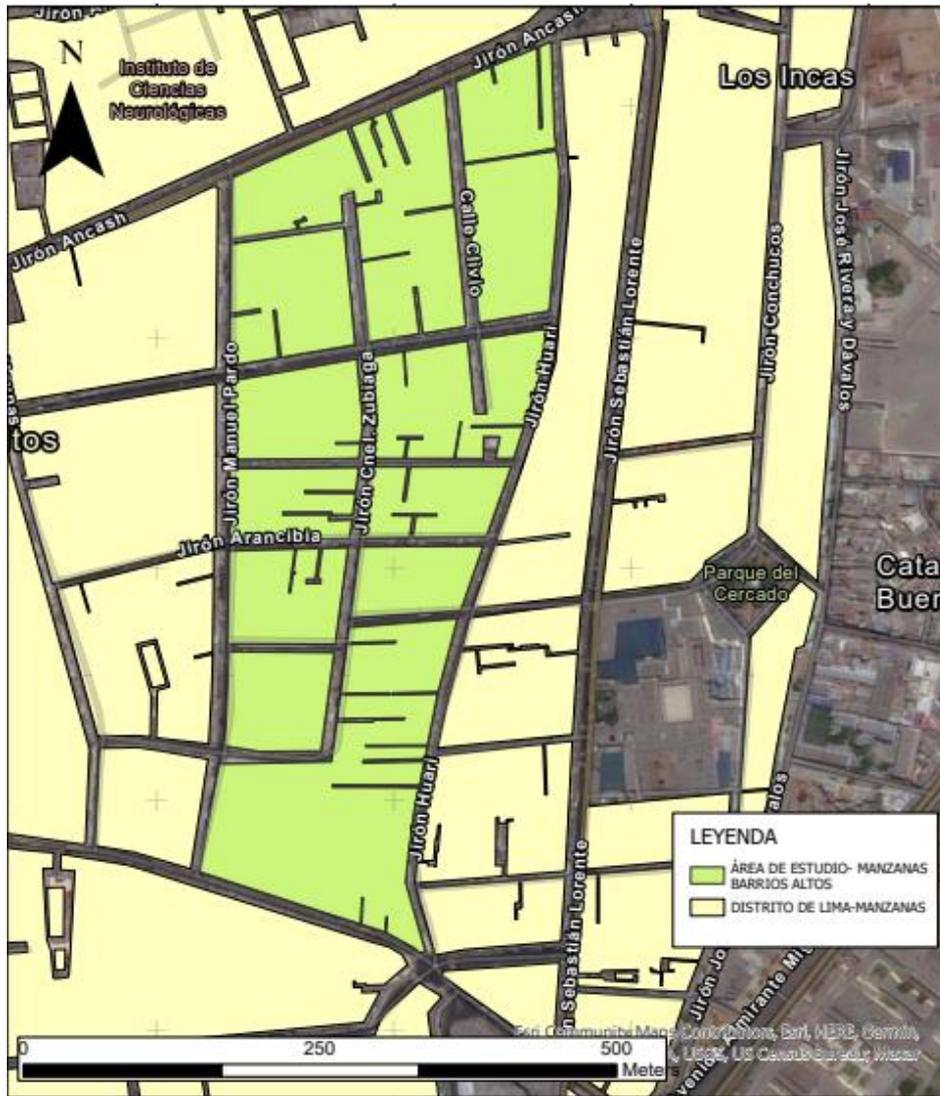


Figura 8: Sector de estudio.

Fuente: Elaboración propia en el software ArcGIS Pro v2.8.

#### 5.4 Generación del inventario de edificaciones

Para iniciar con la caracterización y cuantificación de escombros es necesario clasificar la infraestructura del lugar, esto conlleva el reconocimiento de la infraestructura de diversas maneras: visitas a campo, datos de censo de población y vivienda (INEI), revisión en Google Street View y plataformas que permitan obtener dimensiones aproximadas de las edificaciones.

En este caso se realizaron todas las maneras anteriores agregando el uso de herramientas geomáticas como el uso de dron para vuelo de inspección y vuelo fotogramétrico, esto permitió una clara identificación de las características de las edificaciones debido a la alta resolución que proporcionan sus imágenes.

## 5.5 Procesamiento de información

### 5.5.1 Recolección de información

La fuente de información principal utilizada para caracterizar y cuantificar los lotes de la zona de estudio fue la aplicación web SIT (Sistema de Información Territorial) elaborada por el Instituto Catastral de Lima (ICL), el cual a través de la plataforma permite visualizar el mapa catastral del Cercado de Lima con diferentes atributos, siendo elegidos para esta investigación: altura de edificación, antigüedad de predios, estado de conservación predominante, material estructural predominante y uso general. Esta información fue exportada en un modelo geo-referenciado en ArcGIS Pro v2.8. También se hizo una revisión lote por lote a través de Google Street View, teniendo como limitación la antigüedad de las fotos al tener como fecha de captura el año 2015.

Tras hacer la revisión de la base de datos obtenida en el modelo, se procedió a hacer la corroboración y actualización de información en dos visitas a campo, donde se realizó un vuelo de inspección y un vuelo fotogramétrico respectivamente. La base de datos cambió ligeramente la información de número de pisos y construcciones iniciadas con otros materiales. La Figura 9 y Figura 10 exponen el área de estudio apreciándose las características de las viviendas.



Figura 9: Vista aérea del área de estudio, Barrios Altos.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 10: Vista frontal de viviendas dentro del área de estudio, Barrios Altos.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.5.2 Procesamiento de datos en software ArcGIS Pro v2.8

La información brindada por la aplicación web del Instituto Catastral de Lima permitía descargar capas de los diversos atributos en formato *layer*, sin embargo, esta información no puede ser editada directamente. Debido a este inconveniente se inició con la creación de un archivo *shapefile* que contenga toda la información de la capa con sus propios atributos. Cabe recalcar que la lotización generada por el ICL considera que un solo lote cuenta con características generales a pesar de que dentro del lote existan más de una vivienda con características específicas, en este caso la mayoría de lotes son quintas de moderada extensión. En el presente estudio se tomaron las mismas consideraciones que propone el ICL y se consideró clasificarlos según la tipología más predominante.

#### 5.5.3 Procesamiento de datos en software Pix4D

El vuelo fotogramétrico realizado con un dron *Phantom 4 RTK* permitió obtener 483 fotos, las cuales procesadas en el software *Pix4D Mapper v4.7* generaron un modelo 3D de toda la zona de estudio. Además, permitió hacer mediciones de longitud, área y volumen de una manera muy rápida.

De igual modo, permitió hacer las actualizaciones del número de pisos de cada lote, altura de edificación, verificación de material, estado de conservación de fachadas, techos y finalmente, permitió la medición de volúmenes de escombros en techos y lotes.

La Figura 11 muestra el entorno del software Pix4D Mapper v4.7 y el modelo 3D del área de estudio, la Figura 12 muestra la medición de alturas efectuada para las edificaciones y la Figura 13 muestra la medición de volúmenes en lotes y techos.

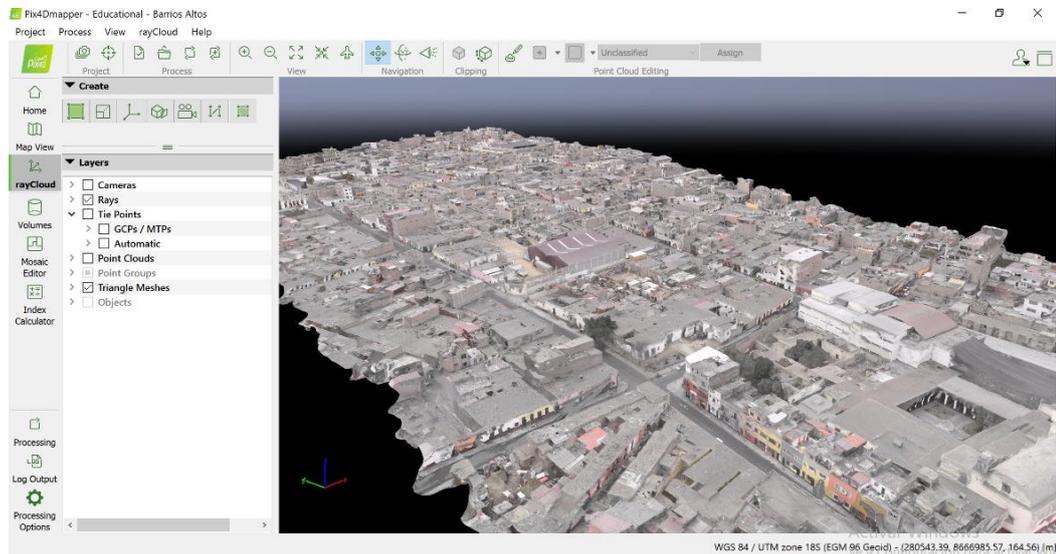


Figura 11: Modelo 3D del área de estudio en el entorno Pix4D.  
Fuente: Elaboración propia en el software Pix4D Mapper v4.7

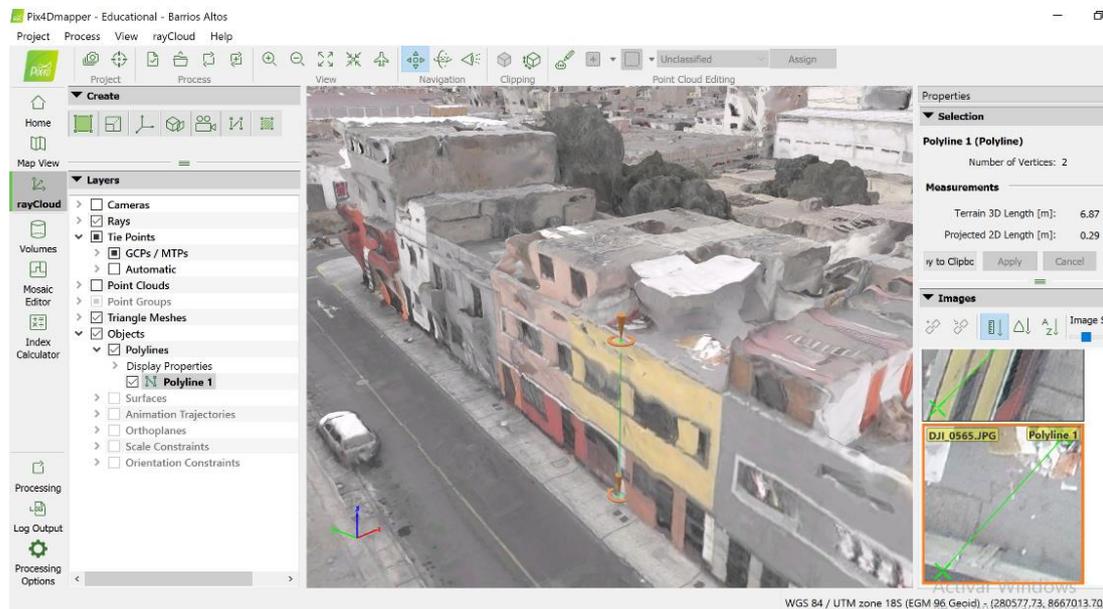


Figura 12: Medición de alturas de edificaciones en el entorno Pix4D.  
Fuente: Elaboración propia en el software Pix4D Mapper v4.7

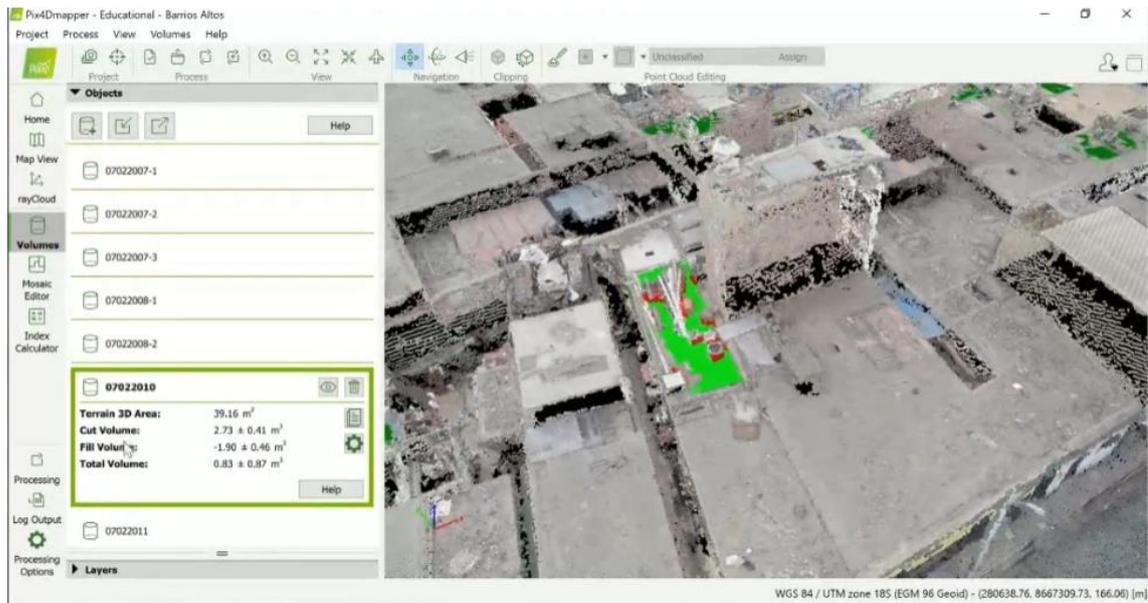


Figura 13: Medición de volúmenes en entorno Pix4D  
 Fuente: Elaboración propia en el software Pix4D Mapper v4.7

Finalmente, haciendo uso de todas las herramientas en conjunto, la Tabla 18 muestra la distribución de viviendas para la zona de estudio. Mientras tanto, la Tabla 19 define las tipologías características para nuestra zona de estudio.

Tabla 18: Distribución de viviendas para la zona de estudio.

Tipo	Denominación	Cantidad	Porcentaje
1	Casa de adobe de 1 piso	69	39.20 %
2	Casa de adobe de 2 pisos	28	15.91 %
3	Casa de ladrillo de 1 piso	12	6.82 %
4	Casa de ladrillo de 2 pisos	34	19.32 %
5	Casa de ladrillo de 3 pisos	25	14.20 %
6	Casa de ladrillo de 4 pisos	8	4.55 %
Total		176	100.00 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Tipologías características del área de estudio.

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Tipo 1</b> Casa de adobe de 1 piso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vivienda unifamiliar, regularmente en quinta, ubicada en zona urbana antigua.</li> <li>- Cuenta con un solo piso de 4 metros de altura.</li> <li>- El sistema estructural es albañilería sin confinar.</li> <li>- El material predominante en las paredes es adobe o adobe con quincha, y los techos son compuestos de viguetas de maderas cubiertos con barro o calamina.</li> </ul>
<b>Tipo 2</b> Casa de adobe de 2 pisos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta las mismas características que la tipología 1, exceptuando la altura de edificación que en este caso regularmente es de 8 metros.</li> </ul>
<b>Tipo 3</b> Casa de ladrillo de 1 piso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vivienda unifamiliar, ubicada en zona urbana antigua.</li> <li>- Probablemente construida de manera informal o sin asistencia técnica.</li> <li>- Cuenta con un solo piso de 2.80 metros de altura.</li> <li>- El sistema estructural es generalmente albañilería confinada.</li> <li>- El material predominante en las paredes es ladrillo, y los techos son losas aligeradas de concreto armada.</li> </ul>
<b>Tipo 4</b> Casa de ladrillo de 2 pisos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta las mismas características que la tipología 3, exceptuando la altura de edificación que en este caso se multiplicaría por 2.</li> </ul>
<b>Tipo 5</b> Casa de ladrillo de 3 pisos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta las mismas características que la tipología 3, exceptuando la altura de edificación que en este caso se multiplicaría por 3.</li> </ul>
<b>Tipo 6</b> Casa de ladrillo de 4 pisos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta las mismas características que la tipología 3, exceptuando la altura de edificación que en este caso se multiplicaría por 4.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

A la par, las Figuras 14, 15, 16, 17, 18 y 19 presentan las características de las viviendas previamente mencionadas in situ.

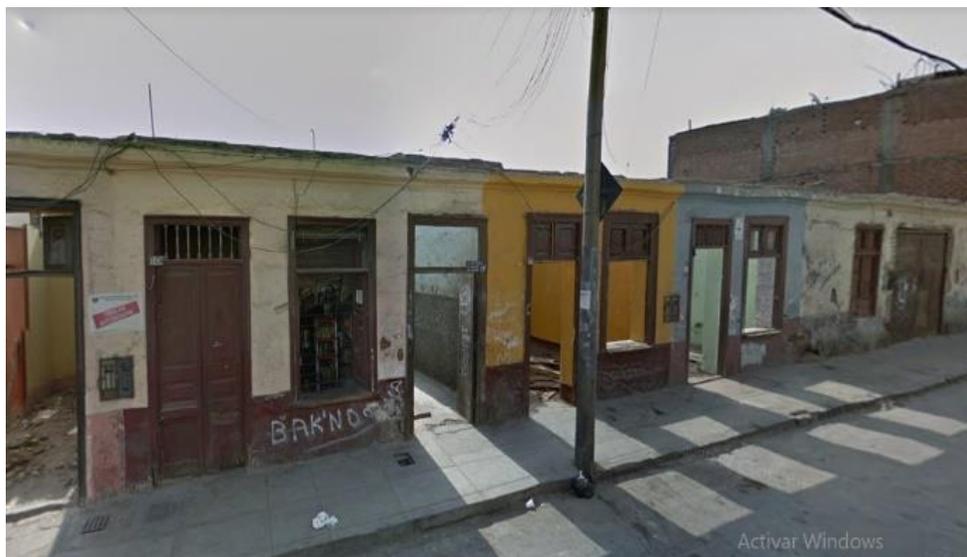


Figura 14: Edificación de adobe de un piso en Barrios Altos.  
Fuente: Google Maps, 2014.



Figura 15: Edificación de adobe de dos pisos en Barrios Altos.  
Fuente: Google Maps, 2014.



Figura 16: Edificación de albañilería de un piso en Barrios Altos.  
Fuente: Google Maps, 2014.



Figura 17: Edificación de albañilería de dos pisos en Barrios Altos.  
Fuente: Google Maps, 2014.



Figura 18: Edificación de albañilería de tres pisos en Barrios Altos.  
Fuente: Google Maps, 2014.

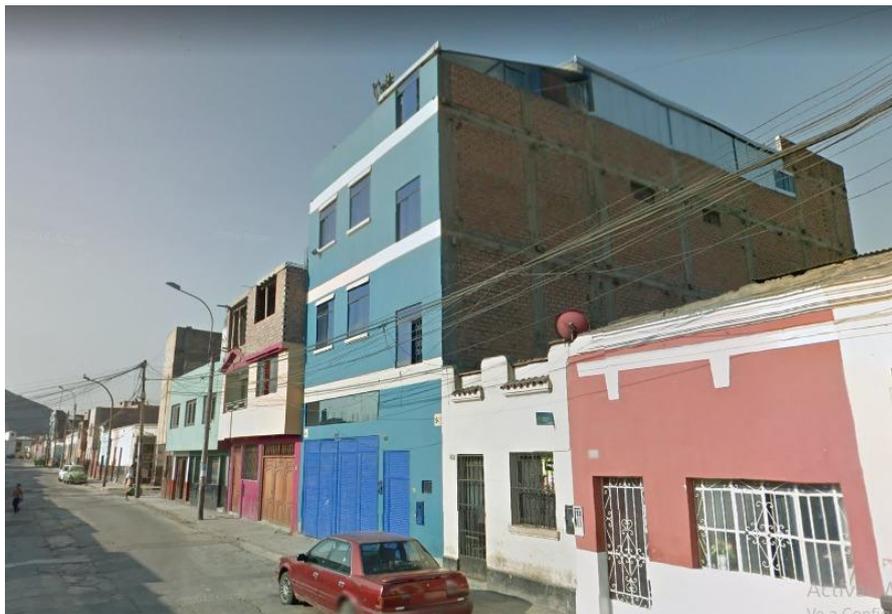


Figura 19: Edificación de albañilería de cuatro pisos en Barrios Altos.  
Fuente: Google Maps, 2014.

#### 5.5.4 Estimación del stock de materiales en las edificaciones

Para iniciar el cálculo del stock de materiales contenidos en las edificaciones se hallaron las áreas techadas de cada lote utilizando el ortomosaico, el cual brindaba imágenes altamente nítidas de techos, obtenido del vuelo fotogramétrico y el archivo *shapefile* creado tomando referencia la lotización planteada por el ICL. Con estos elementos en ArcGIS Pro v2.8 se calcularon de manera automática las áreas, tal como se muestra en la Figura 20. Además, se halló un promedio de porcentaje de área techada en la manzana más representativa el cual fue de 80% para la mayoría de edificaciones, exceptuando a algunos lotes con evidente menor área techada.

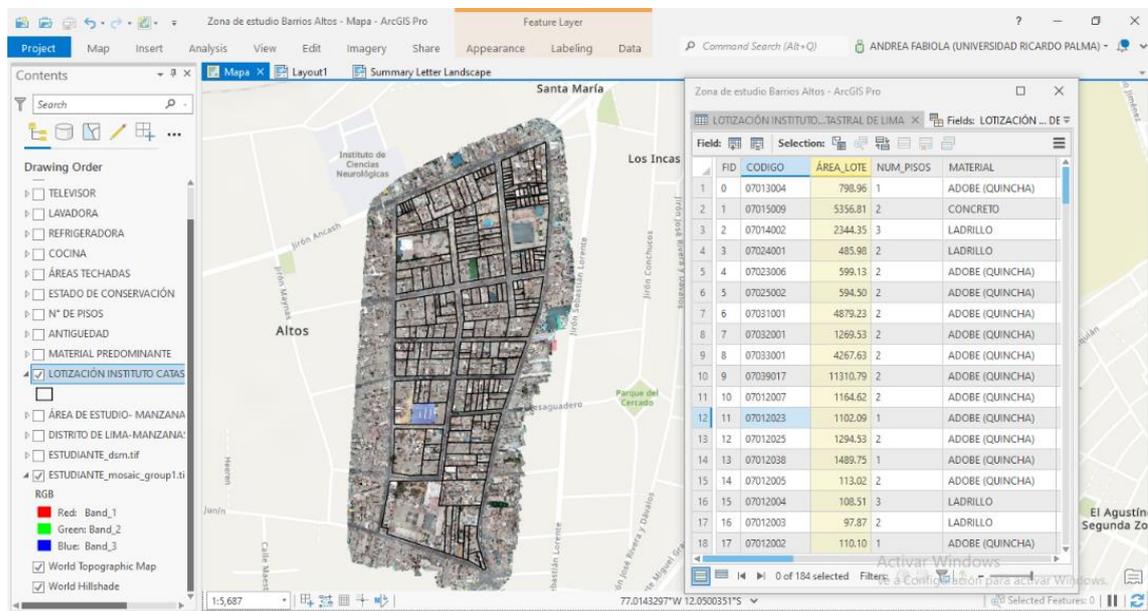


Figura 20: Lotización y áreas en ArcGIS Pro v2.8.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.5.5 Levantamiento en campo

La estimación de las intensidades de materiales requirió tener medidas aproximadas de la distribución de muros y elementos estructurales de las viviendas. Se pudo hacer levantamiento de información en tres viviendas, dos de adobe y una de albañilería confinada. Sumado a ello, se tomó en consideración la opinión de expertos en procesos constructivos de la zona.

La información recolectada se detalló en planos de planta utilizando AutoCAD, logrando de esa manera facilitar el metrado necesario. La Figura 21 muestra el trabajo realizado en campo.



Figura 21: Trabajo realizado en campo.  
Fuente: Elaboración propia.

Se cuantificaron materiales como el concreto, adobe, barro, madera, ladrillo, etc. No se consideraron los materiales de instalaciones eléctricas y sanitarias, de la misma manera puertas y ventanas. Las edificaciones excluidas fueron instituciones educativas y entidades religiosas.

#### 5.6 Clasificación de los estados de daño de las edificaciones

Para clasificar los estados de daño de las edificaciones se empleó la siguiente información:

- Registro acelerográfico del sismo ocurrido en Lima del año 1966: Acelerograma requerido para el escalamiento de los escenarios sísmicos planteados.
- Manual técnico HAZUS MR4 (metodología de estimación de pérdidas por peligros múltiples, modelo de terremoto): Manual para establecer la clasificación de las edificaciones junto a los estados de daño según las derivas para cada tipología y escenario sísmico.

El registro acelerográfico del sismo ocurrido en la ciudad de Lima del año 1966 fue obtenido de la web del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). Considerado como uno de los sismos más destructivos ocurridos en la capital, con 8.1 de magnitud de momento sísmico ( $M_w$ )

y grado VIII - IX según la escala de Mercalli, donde las zonas más afectadas fueron las contiguas al río Rímac y Cercado (Municipalidad de Lima, 2019). Precisamente la zona de investigación forma parte del área afectada de aquel entonces.

En las direcciones este – oeste (EW) y norte – sur (NS) el registro cuenta con aceleraciones máximas del suelo (PGA) de  $180 \text{ cm/s}^2$  (0.18 g) y  $268.24 \text{ cm/s}^2$  (0.27 g) respectivamente, gráficamente mostradas en las figuras 22 y 23.

Si bien es cierto, la aceleración pico en dirección NS es mayor a la de dirección EW, se puede observar que a diferencia de la dirección NS, en EW se concentran las mayores amplitudes de onda dentro del intervalo de tiempo de 20 a 30 segundos, lo cual indica que dentro de este intervalo de tiempo se encuentran las mayores aceleraciones del suelo, por lo cual se escaló el registro en esa dirección.

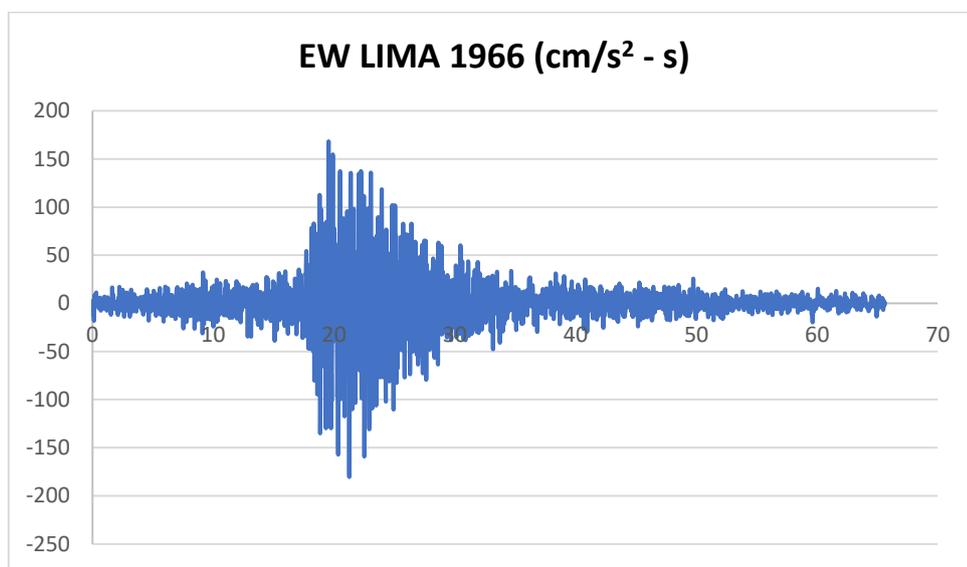


Figura 22: Registro de aceleraciones en la dirección EW del sismo de Lima 1966.  
Fuente: Elaboración propia.

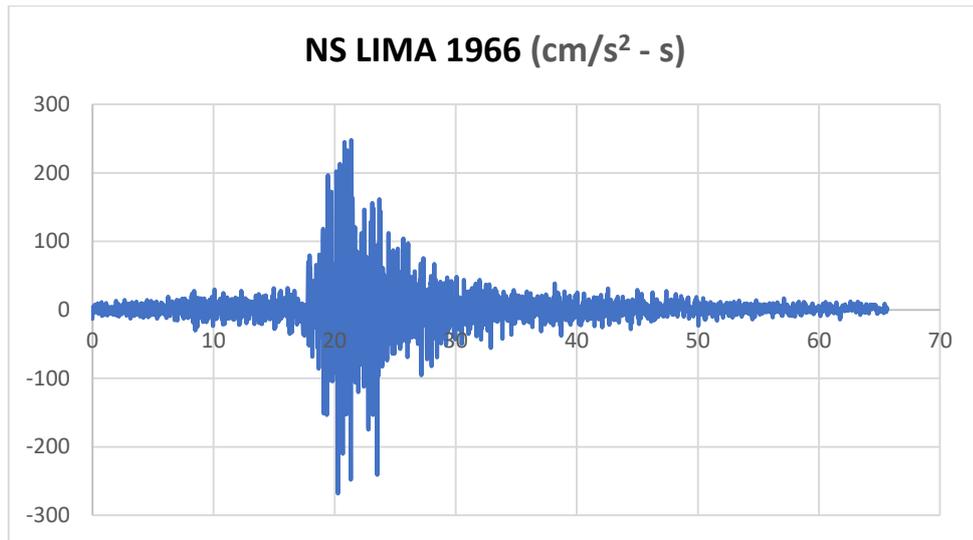


Figura 23: Registro de aceleraciones en la dirección NS del sismo de Lima 1966.  
Fuente: Elaboración propia.

De manera consecutiva, el registro acelerográfico fue escalado con un incremento de 0.10g con la ayuda del software SeismoMatch 2021. La finalidad del escalamiento es la determinación de las derivas para cada escenario sísmico, a fin de definir los estados de daño de las tipologías existentes en la zona de estudio.

Para el planteamiento del espectro objetivo de un sismo máximo considerado o sin reducir (SMC), se debe tener en cuenta un  $R=1$ , un amortiguamiento o capacidad de disipación de energía de 5% y un rango de periodos comprendidos entre  $0.2T$  y  $1.5T$ , donde  $T$  es el periodo fundamental de la estructura (SENCICO, 2020).

#### 5.6.1 Escalamiento en SeismoMatch 2021

La ejecución del escalamiento del acelerograma del sismo de Lima 1966 se realizó considerando los siguientes parámetros para la construcción del espectro objetivo realizado en la dirección EW:

- Factor de zona:  $Z = 0.10 - 0.70$
- Factor de uso:  $U = 1.00$
- Factor de amplificación sísmica:  $C = 2.5$
- Factor de suelo:  $S = 1.00$
- Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas:  $R = 1.00$
- Rango de periodos:  $0.2T - 1.5T$
- Amortiguamiento:  $\xi = 5\%$

Como punto de partida del escalamiento se cargó al software el registro del sismo de Lima 1966 para introducir los parámetros del archivo de entrada solicitados. Seguidamente, se definió el espectro objetivo para la compatibilización espectral, mostrado en la Figura 24.

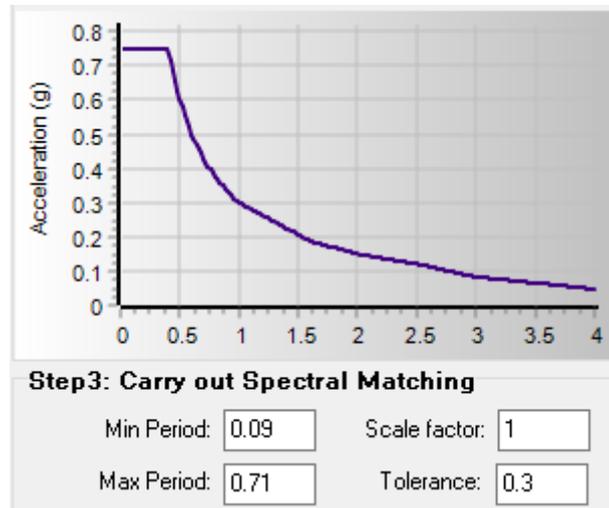


Figura 24: Elaboración de espectro objetivo para el escalamiento del registro en 0.30 g.  
Fuente: Elaboración propia.

Por último, se repite el proceso para todos los escenarios sísmicos para llevar los resultados del acelerograma escalado al ETABS 19, plasmado en la Figura 25.

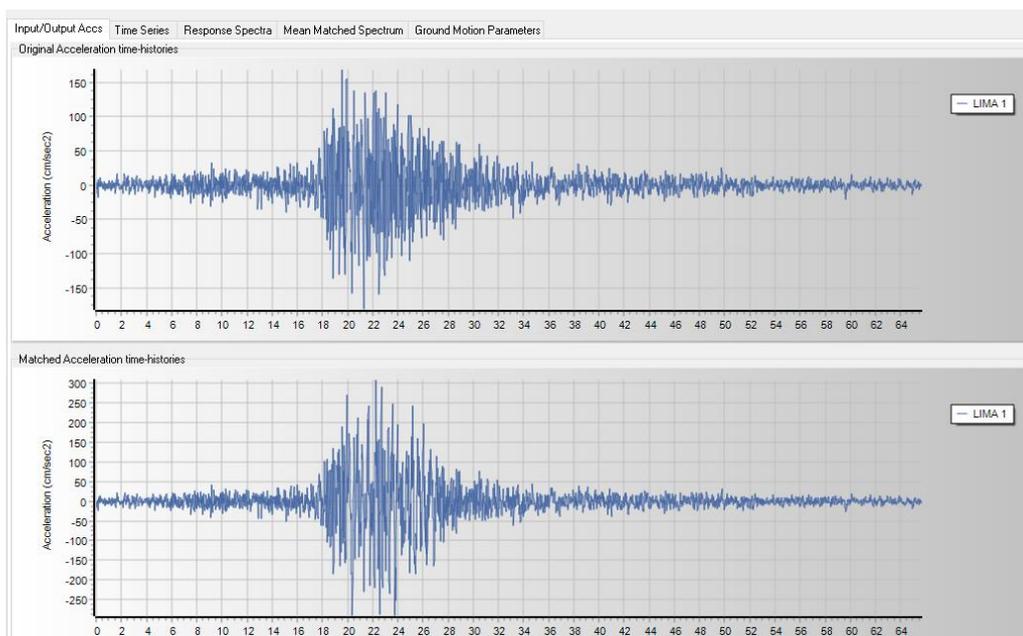


Figura 25: Acelerograma escalado para 0.30 g.  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.6.2 Modelamiento en ETABS 19

Considerando las seis tipologías del área de estudio, se realizaron los modelos en el software ETABS 19 para edificaciones de albañilería confinada de uno, dos, tres y cuatro niveles. De la misma manera, para las edificaciones de adobe con uno y dos niveles, tal como son mostradas en las Figuras 26 y 27.

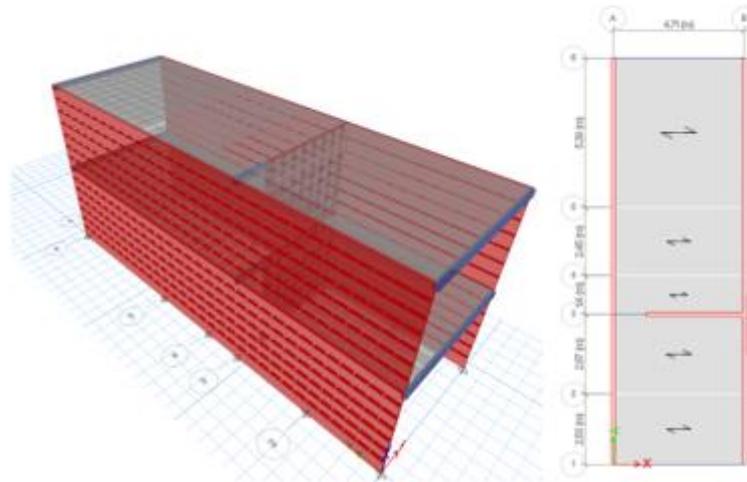


Figura 26: Modelado de vivienda de albañilería de dos pisos en ETABS 19.  
Fuente: Elaboración propia.

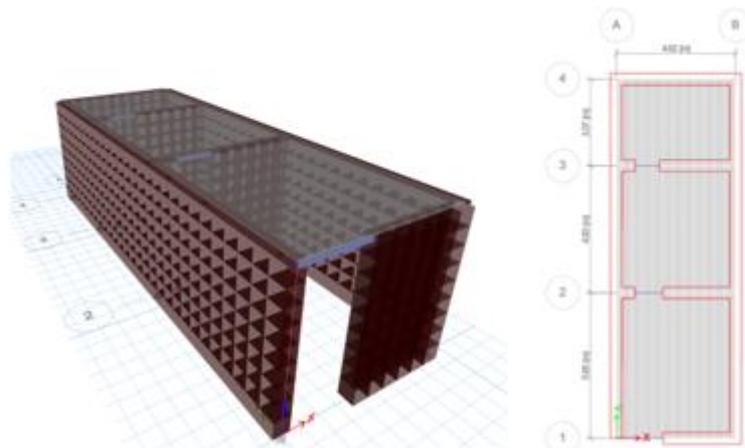


Figura 27: Modelado de vivienda de adobe de un piso en ETABS 19.  
Fuente: Elaboración propia.

a) Definición de materiales

A pesar de no contar con planos estructurales que ayuden a establecer los parámetros de los materiales utilizados, estos parámetros fueron determinados con las visitas a campo realizadas y literatura acerca de la composición del tipo de edificación a modelar. Se detallan las propiedades en la Tabla 20:

Tabla 20: Propiedades de los materiales.

Sistema	Albañilería confinada		Construcción de adobe		
	Concreto	Albañilería	Acero	Adobe	Madera
Densidad ( $\text{kgf/m}^3$ )	2400	1800	7850	1200	450
Módulo de elasticidad, E ( $\text{kg/cm}^2$ )	217370.65	32500	$2 \times 10^6$	2040	55000
Coefficiente de Poisson, U	0.20	0.25	-	0.25	0.25
Resistencia a la compresión ( $\text{kg/cm}^2$ )	210	65	-	6.12	-
Esfuerzo de fluencia, $f_y$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	-	-	4200	-	-

Fuente: Elaboración propia

La Figura 28 muestra la definición de las propiedades de los materiales para la mampostería y adobe en ETABS 19.

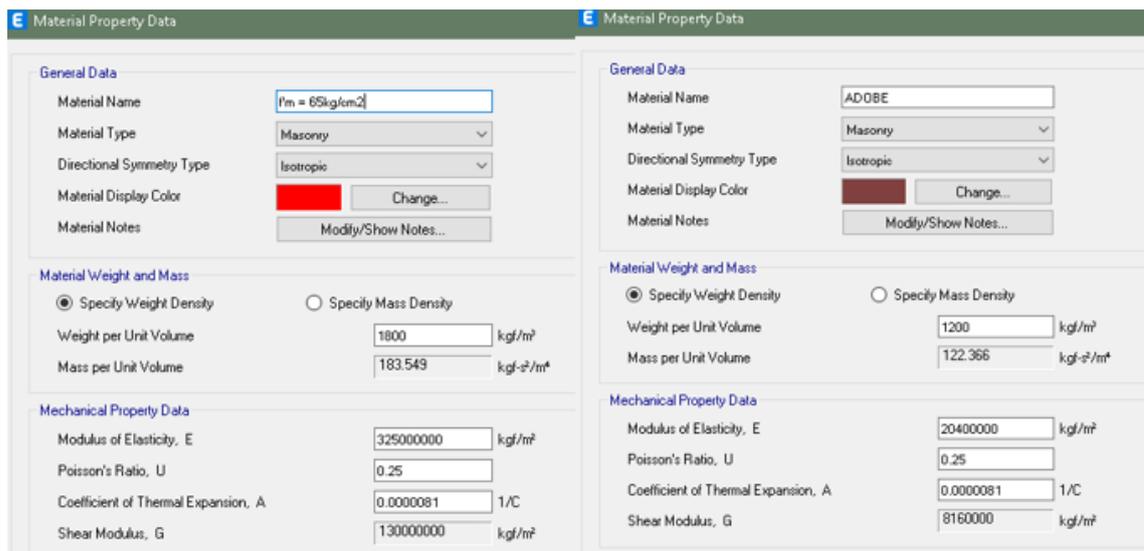


Figura 28: Definición de las propiedades de los materiales en ETABS 19.

Fuente: Elaboración propia.

b) Definición de elementos estructurales

Del mismo modo que para la definición de materiales, los elementos estructurales fueron definidos con el levantamiento realizado en campo, en el cual se tomaron mediciones de las dimensiones de vigas, columnas, muros y losas. Para complementar la información, se revisó literatura que hable acerca del tipo de edificaciones a modelar. La Figura 29 muestra la definición de los elementos estructurales para la mampostería y adobe en ETABS 19.

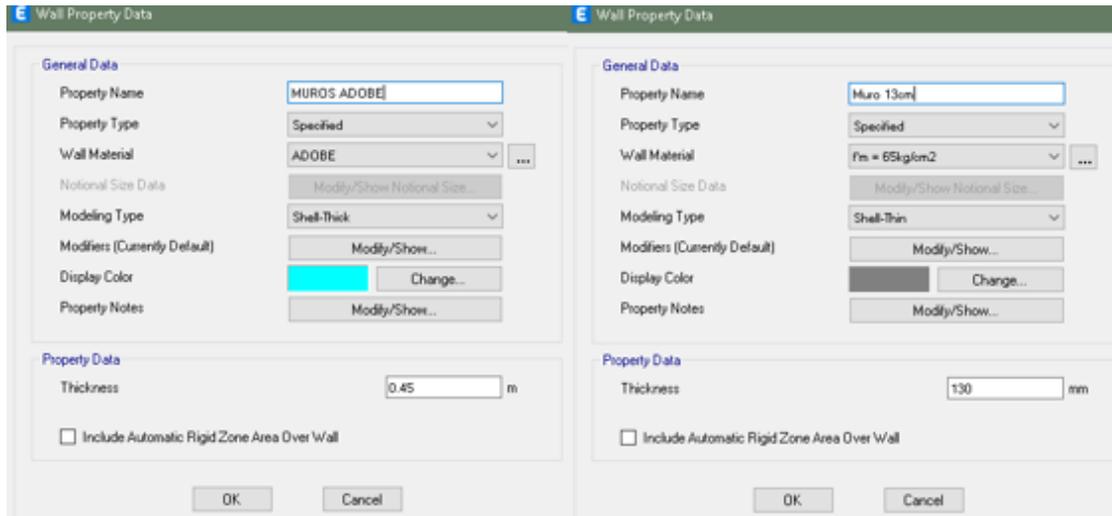


Figura 29: Definición de las propiedades de los materiales en ETABS 19.  
Fuente: Elaboración propia.

c) Asignación de cargas

La asignación de cargas fue realizada según los parámetros del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) expuestos en la norma E.020 Cargas, tal como se muestra en la Figura 30.

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
Carga Muerta	Super Dead	0	
Carga Muerta	Super Dead	0	
Carga Viva	Live	0	
Sismo Estático en X	Seismic	0	User Coefficient
Sismo Estático en Y	Seismic	0	User Coefficient
Peso Propio	Dead	1	

The image shows a screenshot of the 'Loads' dialog box in ETABS 19. It features a table with four columns: 'Load', 'Type', 'Self Weight Multiplier', and 'Auto Lateral Load'. The table lists various load types and their corresponding multipliers and lateral load coefficients. The 'Carga Muerta' (Dead Load) is highlighted in blue.

Figura 30: Asignación de cargas para el modelamiento en ETABS 19.  
Fuente: Elaboración propia.

d) Procedimiento para el análisis tiempo – historia

Para realizar un análisis tiempo – historia se debe tomar mínimo tres registros con sus componentes ortogonales, sin embargo, esta condición para esta investigación no se consideró, ya que la evaluación que se realiza es de carácter descriptivo al relacionar los posibles estados de daños con las derivas, y no bajo un concepto de desempeño el cual permita el dimensionamiento y detalle de los elementos estructurales y no estructurales. A pesar de esta aclaración, cabe resaltar que el análisis tiempo – historia no es un procedimiento de diseño, pero sí uno de verificación, ya que para esta finalidad existen los análisis estático y dinámico modal espectral (SENCICO, 2020).

Una vez realizado el modelamiento de la edificación, se procedió a cargar las funciones escaladas del registro del acelerograma del sismo Lima 1966 en formato bloc de notas (extensión .txt) y posteriormente la creación de los casos para los escenarios sísmicos desde 0.10 g hasta 0.70 g, al igual que las Figuras 31 y 32.

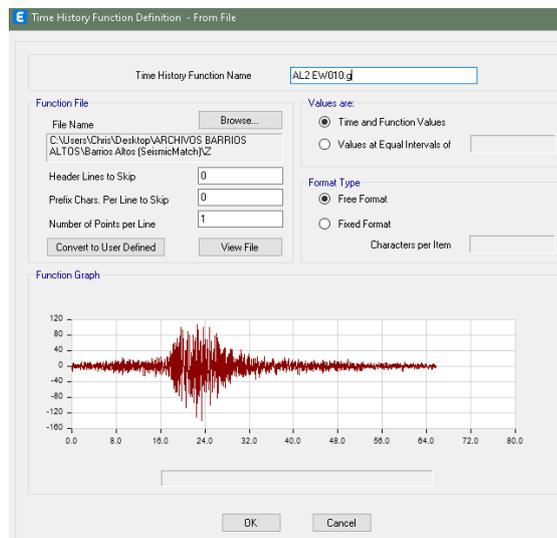


Figura 31: Función tiempo – historia en ETABS 19.  
Fuente: Elaboración propia.

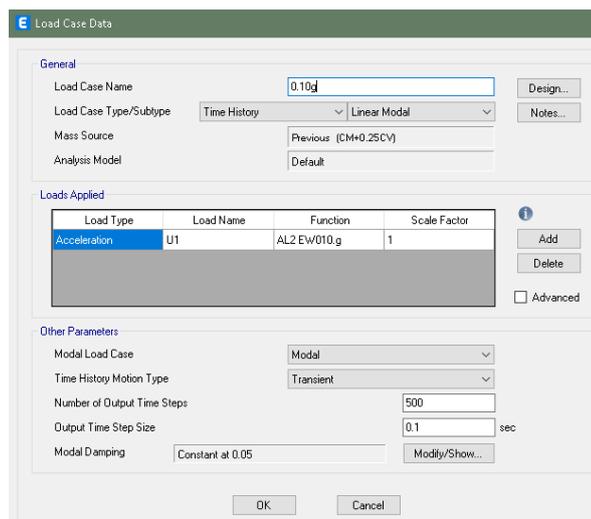


Figura 32: Asignación de caso tiempo – historia en ETABS 19.  
Fuente: Elaboración propia.

e) Cálculo de derivas

Para finalizar, se simuló la edificación con los escenarios sísmicos para el análisis tiempo – historia y así obtener las derivas para cada caso según tipología. La Figura 33 muestra los resultados obtenidos de derivas para la tipología de albañilería de dos pisos.

	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
▶	Story2	0.10g	LinModHist	Max	X	0.001303
	Story1	0.10g	LinModHist	Max	X	0.001049
	Story2	0.20g	LinModHist	Max	X	0.002606
	Story1	0.20g	LinModHist	Max	X	0.002097
	Story2	0.30g	LinModHist	Max	X	0.002957
	Story1	0.30g	LinModHist	Max	X	0.00246
	Story2	0.40g	LinModHist	Max	X	0.004819
	Story1	0.40g	LinModHist	Max	X	0.003854
	Story2	0.50g	LinModHist	Max	X	0.006029
	Story1	0.50g	LinModHist	Max	X	0.004822
	Story2	0.60g	LinModHist	Max	X	0.007236
	Story1	0.60g	LinModHist	Max	X	0.005787
	Story2	0.70g	LinModHist	Max	X	0.008432
	Story1	0.70g	LinModHist	Max	X	0.006744

Figura 33: Asignación de caso tiempo – historia en ETABS 19.  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.6.3 Relación de derivas con daño según manual de HAZUS

Después de la obtención de las derivas en cada escenario sísmico para todas las tipologías estudiadas, se procedió a relacionar estos resultados con el estado de daño según el manual técnico HAZUS – MH MR4, como se muestra en la Figura 34.

ADOBE 1 PISO						
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	ESTADO
Story1	0.1g	LinModHist	Max	X	0.002163	LIGERO
Story1	0.2g	LinModHist	Max	X	0.004327	MODERADO
Story1	0.3g	LinModHist	Max	X	0.00649	EXTENSIVO
Story1	0.4g	LinModHist	Max	X	0.008653	EXTENSIVO
Story1	0.5g	LinModHist	Max	X	0.010817	EXTENSIVO
Story1	0.6g	LinModHist	Max	X	0.01298	COMPLETO
Story1	0.7g	LinModHist	Max	X	0.015144	COMPLETO

Seismic Design Level	Building Type (Low-Rise)	Drift Ratio at the Threshold of Structural Damage			
		Slight	Moderate	Extensive	Complete
High-Code	W1/W2	0.004	0.012	0.040	0.100
	C1L, S2L	0.005	0.010	0.030	0.080
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.008	0.024	0.070
Moderate-Code	W1/W2	0.004	0.010	0.031	0.075
	C1L, S2L	0.005	0.009	0.023	0.060
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.007	0.019	0.053
Low-Code	W1/W2	0.004	0.010	0.031	0.075
	C1L, S2L	0.005	0.008	0.020	0.050
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.006	0.016	0.044
	URML, C3L, SSL	0.003	0.006	0.015	0.035
Pre-Code	W1/W2	0.003	0.008	0.025	0.060
	C1L, S2L	0.004	0.006	0.016	0.040
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.003	0.005	0.013	0.035
	URML, C3L, SSL	0.002	0.005	0.012	0.028

Figura 34: Relación derivas – estado de daño según manual de HAZUS.  
Fuente: Elaboración propia.

## 5.7 Análisis del stock de materiales en las edificaciones

### 5.7.1 Área techada

Con la visita a campo se logró hacer el levantamiento de información con respecto a la toma de medidas y distribución de tres tipos de vivienda. Esto permitió generalizar estas medidas para otras tipologías que cumplan con el mismo material predominante. Se establecieron números de pisos y áreas techadas para las tipologías características en nuestra zona de estudio con la finalidad de hallar una intensidad de materiales que se replique en otras edificaciones de la misma tipología. Se brinda mayor detalle en la Tabla 21.

Tabla 21: Descripción de tipologías.

<b>Tipología</b>	<b>Número de pisos</b>	<b>Área techada (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Tipo 1</b>		
Casa de adobe	1	75
<b>Tipo 2</b>		
Casa de adobe	2	150
<b>Tipo 3</b>		
Casa de ladrillo	1	64
<b>Tipo 4</b>		
Casa de ladrillo	2	128
<b>Tipo 5</b>		
Casa de ladrillo	3	192
<b>Tipo 6</b>		
Casa de ladrillo	4	256

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de áreas techadas varían según cada lote, donde la tipología es definida básicamente por el material predominante y número de pisos. Las áreas techadas descritas en la Tabla 21 fueron asignadas según las medidas tomadas en campo y para efectos de cálculo.

#### 5.7.2 Intensidad de material

Al analizar la información recolectada con el uso de documentos, mediciones in situ y opiniones de expertos, se calcularon las intensidades de los materiales para cada tipología. Están expresadas en masa de material (kg) por área techada (m<sup>2</sup>). Se calcularon para materiales específicos como concreto, ladrillo, adobe, madera y barro.

Inicialmente, se realizó un metrado detallado de los componentes estructurales y no estructurales de las seis tipologías.

Una vez obtenido el metrado de las tipologías establecidas se trabajó con el área techada, volumen de cada componente y las densidades de cada material. De esta manera, se calcularon las ratios de las intensidades de materiales kg/m<sup>2</sup>, siendo el producto del volumen de componente y densidad sobre el área techada. Asimismo, se calcularon las ratios de m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> con los volúmenes de

cada componente y áreas techadas. En la Figura 35 se observan las ratios halladas para cada tipología.

TIPOLOGÍA	ÁREA TECHADA (M2)	VOLUMEN DE COMPONENTES (M3)		MATERIAL	DENSIDAD (KG/M3)	PESO DE MATERIAL (KG)	IM (KG/M2)	RATIO (M3/M2)
ADOBE 1 PISO	75	SOBRECIMIENTO DE CONCRETO SIMPLE	4.48	CONCRETO SIMPLE	1850	8288.00	110.51	0.0597
		MURO DE ADOBE	40.38	ADOBE	1200	48452.21	646.03	0.5384
		TECHO - BARRO	3.64	BARRO	1200	4363.20	58.18	0.0485
		TECHO - MADERA	1.85	MADERA	440	1205.14	16.07	0.0365
		VIGA DE MADERA	0.89					
ADOBE 2 PISOS	150	SOBRECIMIENTO DE CONCRETO SIMPLE	4.48	CONCRETO SIMPLE	1850	8288.00	55.25	0.0299
		MURO DE ADOBE	86.82	ADOBE	1200	104189.81	694.60	0.5788
		TECHO - BARRO	7.27	BARRO	1200	8726.40	58.18	0.0485
		TECHO - MADERA	3.69	MADERA	440	2665.48	17.77	0.0404
		VIGA DE MADERA	1.78					
		ESCALERA DE MADERA	0.58					
ALBAÑILERÍA 1 PISO	64	SOBRECIMIENTO	2.99	CONCRETO SIMPLE	1850	5529.28	86.40	0.0467
		MUROS (LADRILLOS)	11.13	LADRILLO DE MURO	1800	20040.70	313.14	0.1740
		COLUMNAS DE CONCRETO	1.52	CONCRETO ARMADO	2400	20594.13	321.78	0.1341
		VIGAS DE CONCRETO	1.49	LADRILLO DE TECHO	630	4728.78	73.89	0.1173
		LOSA ALIGERADA (CONCRETO)	5.56					
		LOSA ALIGERADA (LADRILLOS)	7.51					
ALBAÑILERÍA 2 PISOS	128	SOBRECIMIENTO	2.99	CONCRETO SIMPLE	1850	5529.28	43.20	0.0234
		MUROS (LADRILLOS)	25.34	LADRILLO DE MURO	1800	45615.96	356.37	0.1980
		COLUMNAS DE CONCRETO	3.05	CONCRETO ARMADO	2400	44421.06	347.04	0.1446
		VIGAS DE CONCRETO	2.99	LADRILLO DE TECHO	630	9466.07	73.95	0.1174
		LOSA ALIGERADA (CONCRETO)	11.13					
		LOSA ALIGERADA (LADRILLOS)	15.03					
		ESCALERA	1.35					
ALBAÑILERÍA 3 PISOS	192	SOBRECIMIENTO	2.99	CONCRETO SIMPLE	1850	5529.28	28.80	0.0156
		MUROS (LADRILLOS)	38.98	LADRILLO DE MURO	1800	70170.24	365.47	0.2030
		COLUMNAS DE CONCRETO	4.57	CONCRETO ARMADO	2400	67959.99	353.96	0.1475
		VIGAS DE CONCRETO	4.48	LADRILLO DE TECHO	630	14194.85	73.93	0.1174
		LOSA ALIGERADA (CONCRETO)	16.69					
		LOSA ALIGERADA (LADRILLOS)	22.53					
		ESCALERA	2.57					
ALBAÑILERÍA 4 PISOS	256	SOBRECIMIENTO	2.99	CONCRETO SIMPLE	1850	5529.28	21.60	0.0117
		MUROS (LADRILLOS)	52.62	LADRILLO DE MURO	1800	94719.46	370.00	0.2056
		COLUMNAS DE CONCRETO	6.09	CONCRETO ARMADO	2400	91498.92	357.42	0.1489
		VIGAS DE CONCRETO	5.98	LADRILLO DE TECHO	630	18923.63	73.92	0.1173
		LOSA ALIGERADA (CONCRETO)	22.25					
		LOSA ALIGERADA (LADRILLOS)	30.04					
		ESCALERA	3.80					

Figura 35: Cálculo de ratios en unidades de kg/m<sup>2</sup> y m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> según tipología.  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.8 Estimación del stock de material del área de estudio

Con la información de las áreas techadas de cada lote y las intensidades de materiales establecidas por tipología, se estimó el stock de materiales en toneladas para el presente año. El material predominante en el área de estudio fue el adobe con 54 643 toneladas, seguido por el ladrillo con 23 295 toneladas y el concreto armado con 22 624 toneladas. La Figura 36 muestra los porcentajes de la composición del stock de materiales en toneladas en el área de estudio.

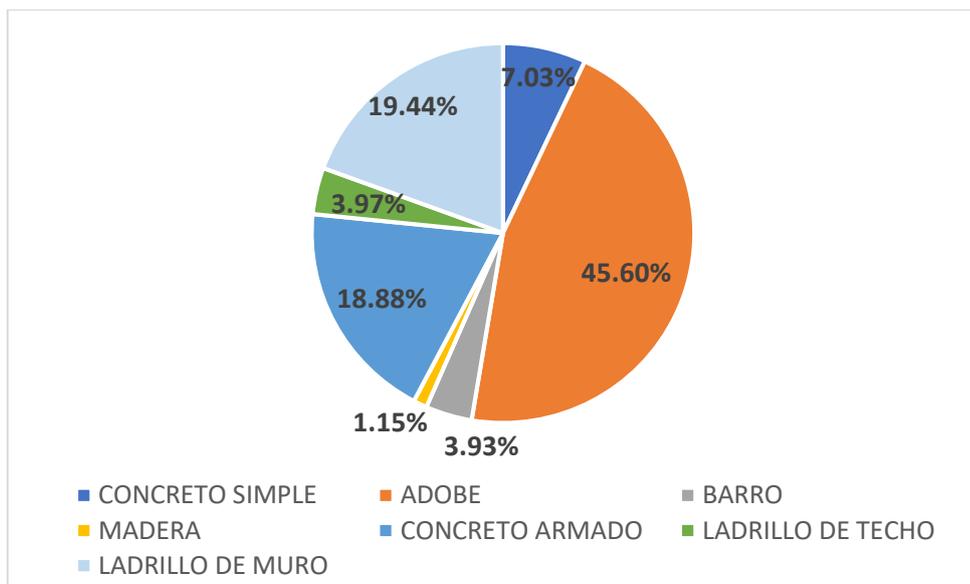


Figura 36: Porcentaje de composición del stock de materiales en toneladas.  
Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, se realizaron los cálculos para los volúmenes del stock de materiales en el área de estudio. El material predominante en el área de estudio en volumen fue el adobe con 45 535 m<sup>3</sup>, seguido por el ladrillo con 12 941 m<sup>3</sup> y el concreto armado con 9 427 m<sup>3</sup>. La Figura 37 muestra los porcentajes de la composición del stock de materiales en volumen en el área de estudio.

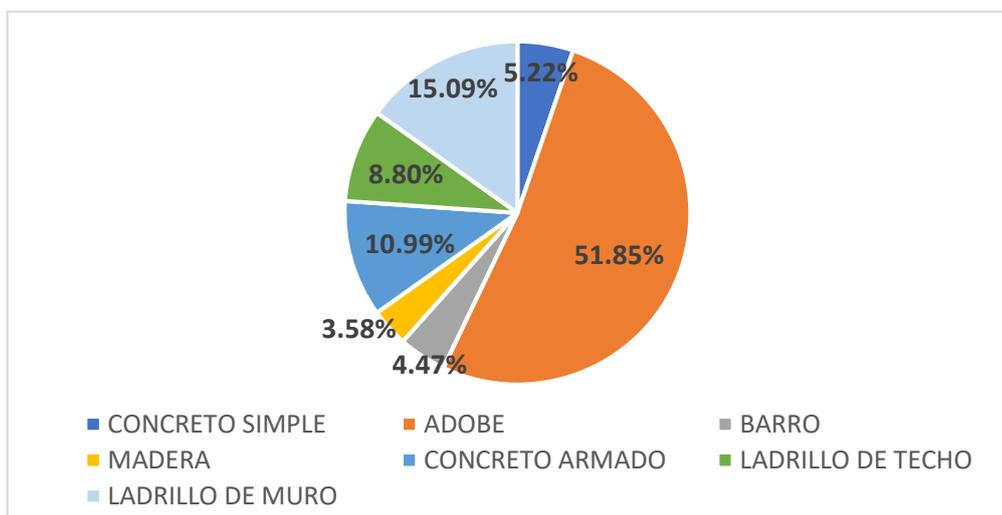


Figura 37: Porcentaje de composición del stock de materiales en volumen.  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 38, muestra la distribución del stock de adobe en volumen del área de estudio, la distribución del stock de los otros materiales se encuentra en el anexo 4.

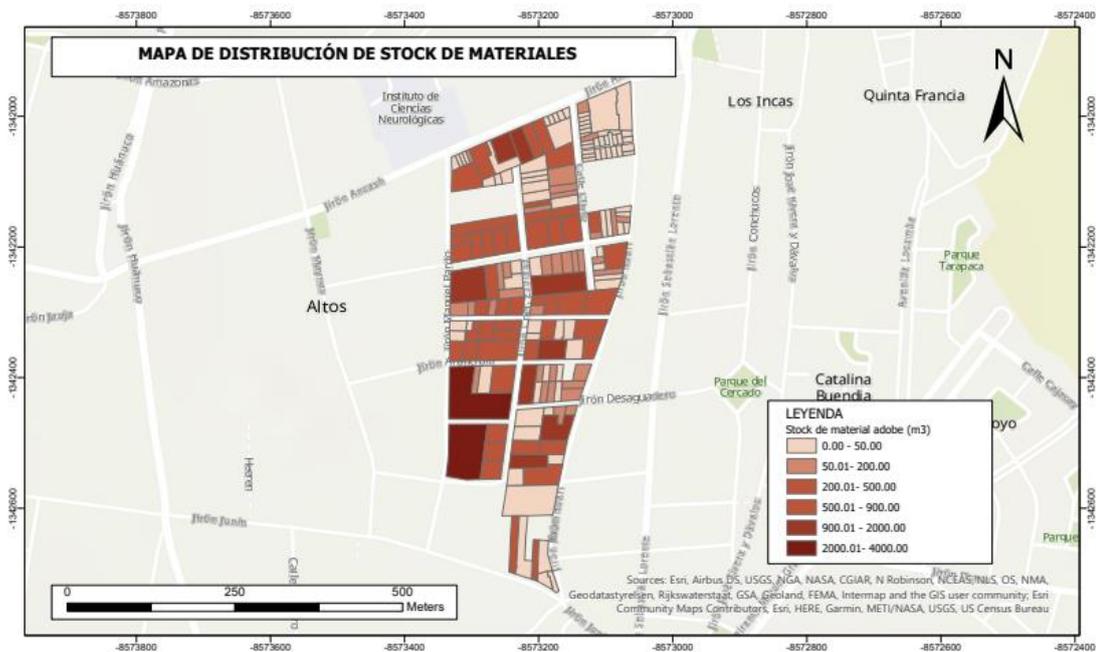


Figura 38: Distribución espacial del adobe en volumen.  
Fuente: Elaboración propia.

Se analizó la participación de cada tipología en el stock de materiales en toneladas, representado en la Tabla 22 y Figura 39, donde se aprecia que la tipología 2 (adobe 2 pisos) tiene una mayor participación con 33% seguida de la tipología 5 (albañilería 3 pisos) con el 25%.

Tabla 22: Contribución de las tipologías al stock de materiales en toneladas.

Tipologías	Total de stock (toneladas)	Porcentajes
Tipología 1	28034.38	23 %
Tipología 2	39046.58	33 %
Tipología 3	2349.57	2 %
Tipología 4	9356.40	8 %
Tipología 5	29847.23	25 %
Tipología 6	11206.32	9 %
Total	119840.47	100 %

Fuente: Elaboración propia.

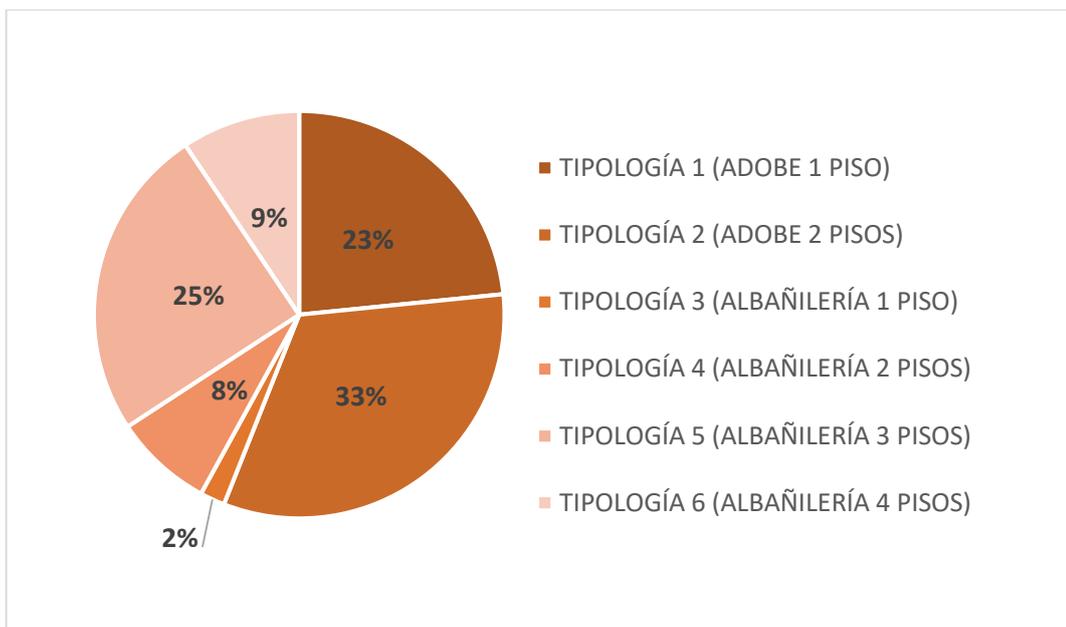


Figura 39: Porcentaje de contribución de las tipologías al stock de materiales en toneladas.

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma, se analizó la participación de cada tipología en el stock de materiales en volúmenes, representado en la Figura 40, donde se aprecia que la tipología 2 (adobe 2 pisos) tiene una mayor participación con 38%, seguida de la tipología 5 (albañilería 3 pisos) con el 20%.

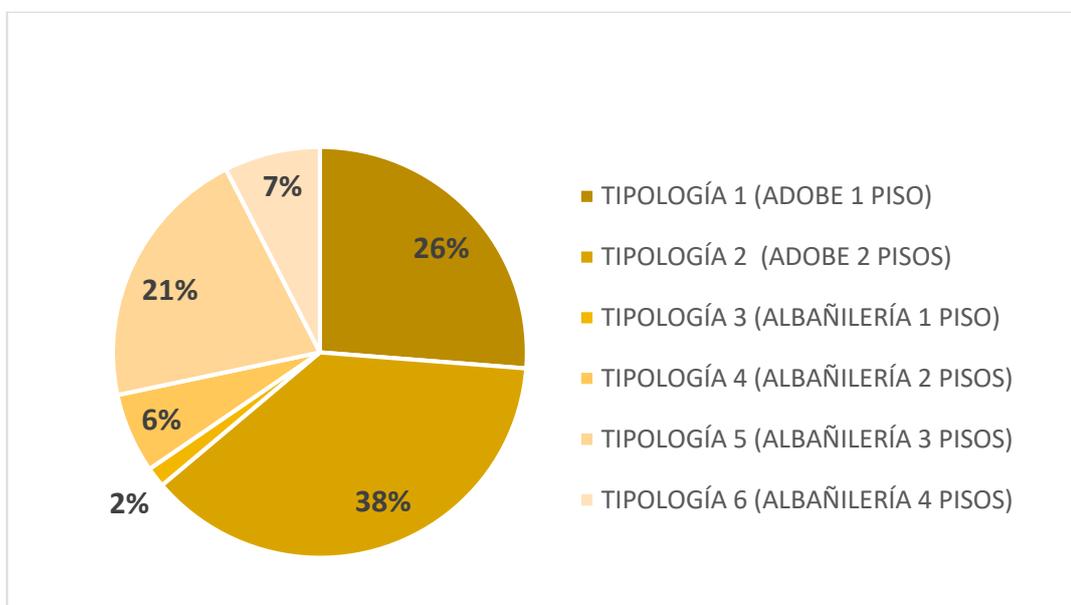


Figura 40: Porcentaje de contribución de las tipologías al stock de materiales en volumen.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.9 Resultados de la evaluación de daño en las edificaciones

Después de los procedimientos de la metodología de estimación de daño de HAZUS, se realizaron mapas con la distribución espacial del daño estructural. La Tabla 23 muestra los estados de daño para cada tipología según escenario sísmico.

Tabla 23: Estados de daño para cada tipología según escenario sísmico.

Estado de daño según escenario sísmico				
Tipología	0.10 g	0.20 g	0.30 g	0.60 g
Tipología 1	Ligero	Moderado	Extensivo	Completo
Tipología 2	Ligero	Moderado	Moderado	Extensivo
Tipología 3	Ligero	Ligero	Ligero	Ligero
Tipología 4	Ligero	Moderado	Moderado	Extensivo
Tipología 5	Ligero	Moderado	Extensivo	Completo
Tipología 6	Ligero	Moderado	Extensivo	Completo

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 41, muestra la distribución espacial del estado de daño de todas las tipologías para el escenario sísmico de 0.60 g, los mapas restantes para los demás escenarios se encuentran en el anexo 6 y en el anexo 5 se muestran estados de daño por tipología.

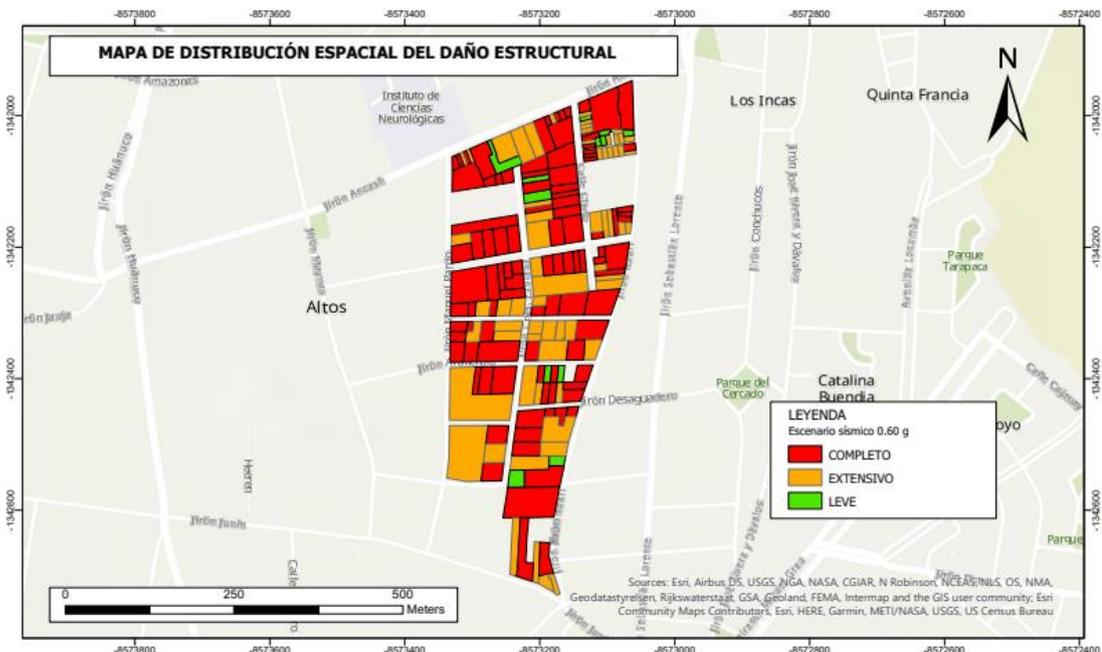


Figura 41: Distribución espacial del estado de daño para el escenario 0.60 g.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.10 Resultados de la estimación de pérdidas en las edificaciones

Con los cálculos del stock de materiales existentes y la tabla propuesta en el manual técnico HAZUS – MH MR4 para estimar la fracción de escombros generados según el estado de daño característico de cada tipología se realizó la estimación de pérdidas en las edificaciones.

### 5.10.1 Pérdidas en el stock de materiales por toneladas

#### a) Pérdidas materiales por tipología

Los resultados de las pérdidas para las diferentes tipologías en los cuatro escenarios sísmicos se muestran en la Figura 42.

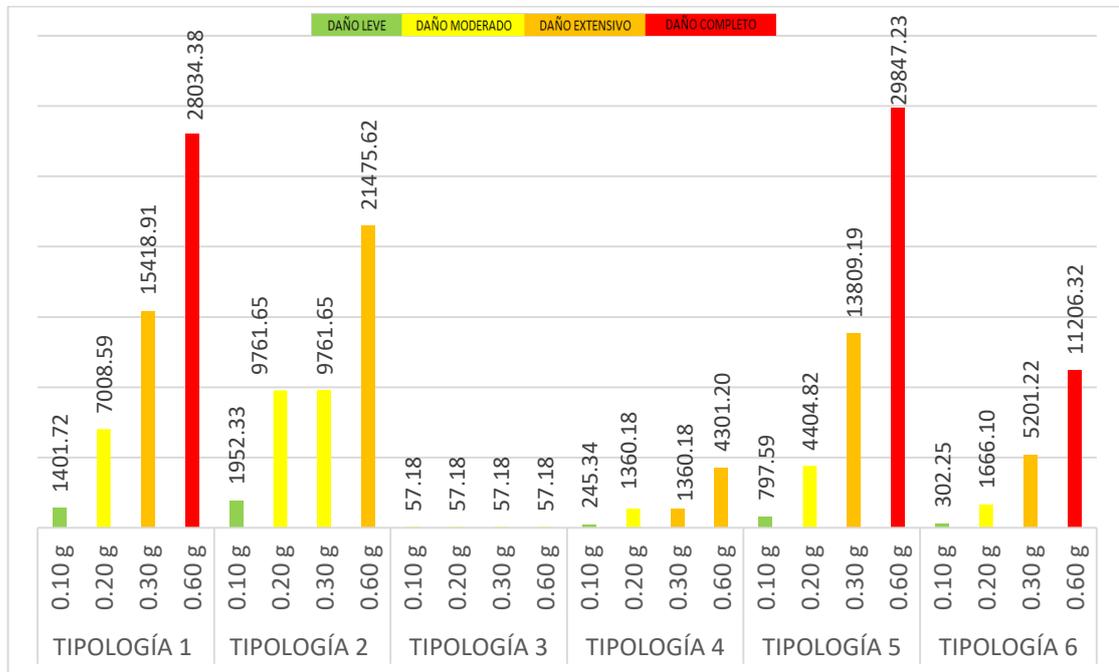


Figura 42: Pérdidas materiales en toneladas según escenario sísmico para las tipologías.  
Fuente: Elaboración propia.

Las viviendas de la tipología 1 cuentan con un stock inicial de 28 034.38 toneladas, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g representan el 5.0 %, 25.0 % en el escenario 0.20 g, 55.0 % en el escenario 0.30 g y 100.0 % en el escenario 0.60 g.

En el caso de las viviendas de la tipología 2 se cuenta con un stock inicial de 39 046.58 toneladas, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g

representan el 5.0 %, 25.0 % en el escenario 0.20 g, 25.0 % en el escenario 0.30 g y 55.0 % en el escenario 0.60 g.

Para las viviendas de la tipología 3 se cuenta con un stock inicial de 2 349.57 toneladas, las pérdidas materiales en el escenario para todos los escenarios representan el 2.43 %. Esto se explica debido a que la tipología 3, vivienda de albañilería de 1 piso, es sumamente rígida al estar compuesta mayormente de concreto, un material con un módulo de elasticidad muy alto, lo cual le otorga gran rigidez ante una carga de sismo. De igual manera, se resalta que al ser analizado con un método lineal puede existir cierta incertidumbre ya que una estructura tiene un comportamiento no lineal.

El stock inicial de la tipología 4 es de 9 356.40 toneladas, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g representan el 2.62 %, 14.54 % en el escenario 0.20 g, 14.54 % en el escenario 0.30 g y 46.0 % en el escenario 0.60 g.

El stock inicial de la tipología 5 es de 2 349.57 toneladas, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g representan el 2.67 %, 14.76 % en el escenario 0.20 g, 46.27 % en el escenario 0.30 g y 100.0 % en el escenario 0.60 g.

Por último, las viviendas de la tipología 6 cuentan con un stock inicial de 11 206.32 toneladas, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g representan el 2.70 %, 14.87 % en el escenario 0.20 g, 46.41 % en el escenario 0.30 g y 100.0 % en el escenario 0.60 g.

b) Pérdidas materiales por material de construcción

Los resultados de pérdidas materiales para los siete materiales de construcción considerados según escenario sísmico se presentan en la Tabla 24 y Figura 43.

Tabla 24: Pérdidas materiales por material de construcción en toneladas según escenario sísmico.

<b>Escenarios sísmicos</b>	<b>Concreto simple</b>	<b>Adobe</b>	<b>Barro</b>	<b>Madera</b>	<b>Concreto armado</b>	<b>Ladrillo de techo</b>	<b>Ladrillo de muro</b>
0.10 g	3127.08	2732.15	235.69	69.12	0.00	237.61	1164.75
0.20 g	1640.36	13660.76	1178.47	345.61	650.22	1144.37	5638.71
0.30 g	3127.45	20200.77	1767.41	508.28	5522.42	2436.08	12045.92
0.60 g	6655.75	39863.68	3476.05	1004.35	18923.98	4207.45	20790.67

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que la mayor parte de pérdidas está conformada por los materiales de adobe y ladrillo de muro, representando el 57.55 % y 24.29 % de las pérdidas totales en el escenario 0.10 g, 56.31 % y 23.24 % en el escenario 0.20 g, 44.29 % y 26.41 % en el escenario 0.30 g y el 42.0 % y 21.90 % para el escenario 0.60 g, respectivamente.

Los demás materiales (concreto simple, barro, madera, concreto armado y ladrillo de techo) tienen una menor participación en el total de pérdidas para los cuatro escenarios estudiados. Sin embargo, cabe recalcar que para el escenario 0.60 g, las pérdidas en el concreto armado representan el 19.94 % del total, cifra comparable con la pérdida de ladrillo de muro para el mismo escenario.

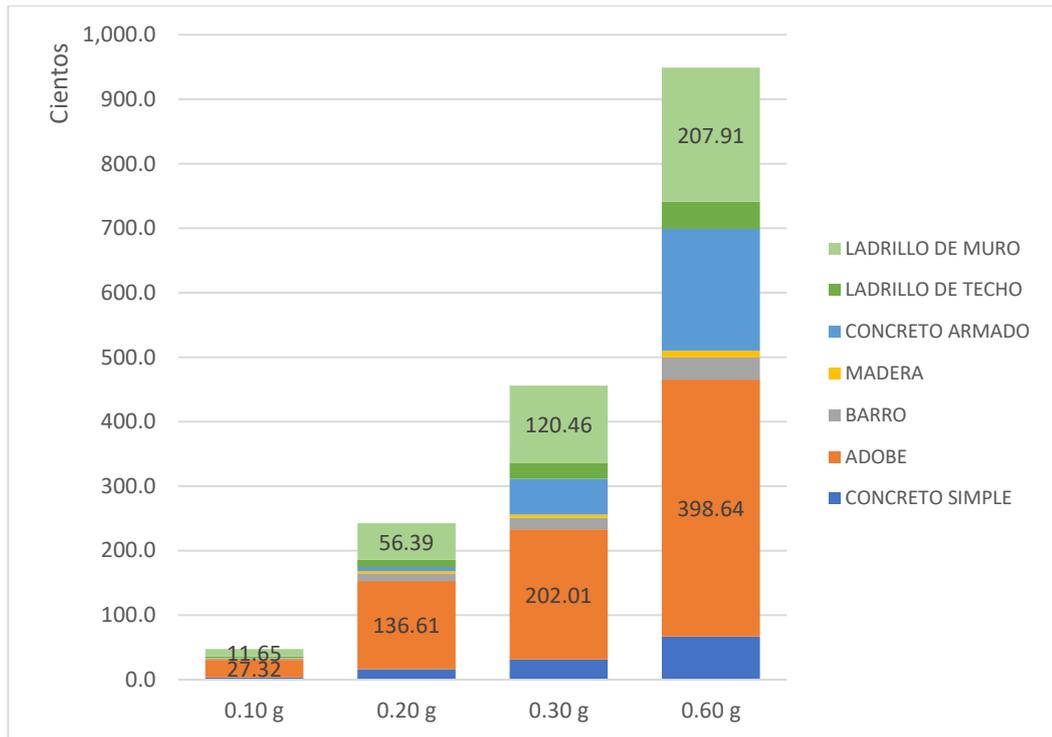


Figura 43: Pérdidas materiales por material de construcción en toneladas según escenario sísmico

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.10.2 Pérdidas en el stock de materiales por volumen

##### a) Pérdidas materiales por tipología

De igual modo que en el punto 5.9.1 se realizaron los cálculos para las pérdidas, pero esta vez mostrando los resultados de las pérdidas para las diferentes tipologías en los cuatro escenarios sísmicos en unidades de volúmenes, tal como se muestran en la Figura 44 y Tabla 25.

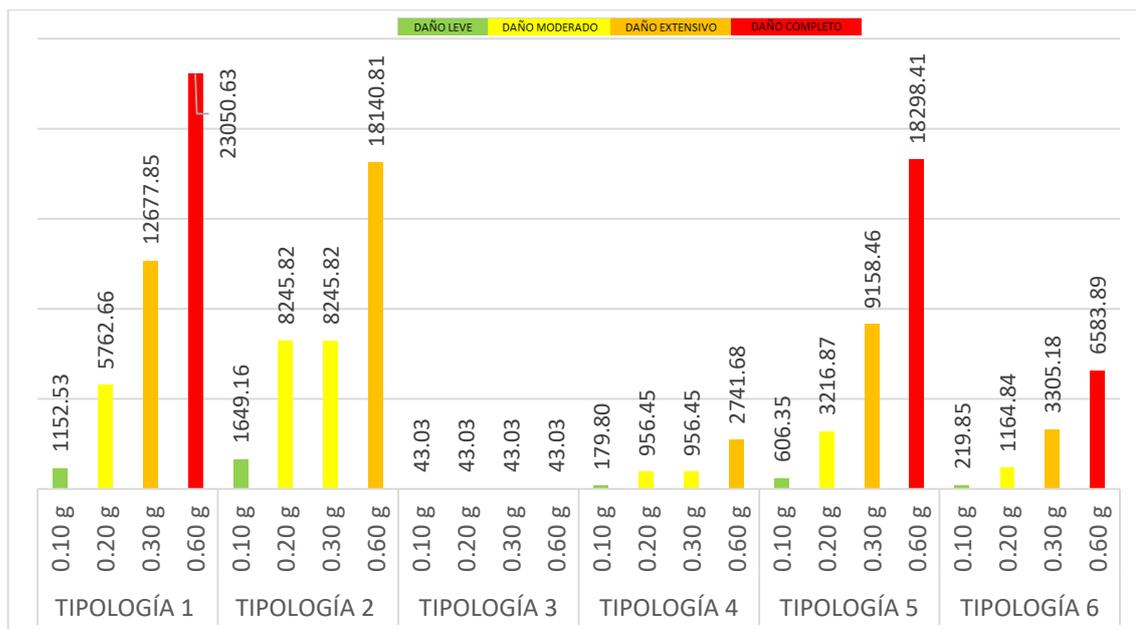


Figura 44: Pérdidas materiales en volumen según escenario sísmico para las tipologías.  
Fuente: Elaboración propia.

Las viviendas de la tipología 1 cuentan con un stock inicial de 23 050.63 m<sup>3</sup>, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g representan el 5.0 %, 25.0 % en el escenario 0.20 g, 55.0 % en el escenario 0.30 g y 100.0 % en el escenario 0.60 g.

En el caso de las viviendas de la tipología 2 se cuenta con un stock inicial de 32 983.29 m<sup>3</sup>, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g representan el 5.0 %, 25.0 % en el escenario 0.20 g, 25.0 % en el escenario 0.30 g y 55.0 % en el escenario 0.60 g.

Para las viviendas de la tipología 3 se cuenta con un stock inicial de 1 394.67 m<sup>3</sup>, las pérdidas materiales en todos los escenarios sísmicos representan el 2.43 %, debidamente fundamentado en el inciso 5.9.2.

El stock inicial de la tipología 4 es de 5 511.02 m<sup>3</sup>, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g representan el 2.62 %, 14.54 % en el escenario 0.20 g, 14.54 % en el escenario 0.30 g y 46.0 % en el escenario 0.60 g.

El stock inicial de la tipología 5 es de 18 298.41 m<sup>3</sup>, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g representan el 2.67 %, 14.76 % en el escenario 0.20 g, 46.27 % en el escenario 0.30 g y 100.0 % en el escenario 0.60 g.

Por último, las viviendas de la tipología 6 cuentan con un stock inicial de 6 583.89 m3, las pérdidas materiales en el escenario 0.10 g representan el 2.70 %, 14.87 % en el escenario 0.20 g, 46.41 % en el escenario 0.30 g y 100.0 % en el escenario 0.60 g.

Tabla 25: Pérdidas materiales en volumen según escenario sísmico para las tipologías.

Escenarios sísmicos	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 5	Tipología 6	Total (m3)
0.10 g	1152.53	1649.16	43.03	179.80	606.35	219.85	3850.72
0.20 g	5762.66	8245.82	43.03	956.45	3216.87	1164.84	19389.67
0.30 g	12677.85	8245.82	43.03	956.45	9158.46	3305.18	34386.79
0.60 g	23050.63	18140.81	43.03	2741.68	18298.41	6583.89	68858.45

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se consideraron como pérdidas los volúmenes de escombros existentes en los lotes y techos para el escenario 0.60 g, en el cual la mayoría de las tipologías genera un estado de daño completo. Los volúmenes aumentan según se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26: Pérdidas materiales en volumen según escenario sísmico para las tipologías.

Escenarios sísmicos	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 5	Tipología 6	Total (m3)
0.60 g	23177.00	18176.02	43.03	2751.26	18324.31	6605.83	69077.45

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que en el estado de daño extensivo se consideran un porcentaje de escombros generados por tipología mayor que el 50 %, se toma en cuenta que esta pérdida puede llegar a significar un estado de daño completo, ya que será más conveniente realizar la demolición completa y un nuevo proceso de construcción que una reconstrucción por temas económicos. Los cálculos considerando las pérdidas del 60.0 % a un 100.0 % se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27: Pérdidas materiales en volumen considerando 100% de pérdidas para el estado extensivo.

Escenarios sísmicos	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 5	Tipología 6	Total (m3)
0.10 g	1152.53	1649.16	43.03	179.80	606.35	219.85	3850.72
0.20 g	5762.66	8245.82	43.03	956.45	3216.87	1164.84	19389.67
0.30 g	23177.00	8245.82	43.03	966.03	14035.13	5085.90	51552.90
0.60 g	23177.00	33018.50	43.03	4189.66	18324.31	6605.83	85358.33

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia un aumento de volumen en el tercer y cuarto escenario de 49.92 % y 23.57 % respectivamente. Para efectos de remoción de escombros se considera un factor de esponjamiento de 1.8, dato asumido por revisión de bibliografía y opinión de expertos. Se hicieron los cálculos para los casos mostrados en la Tabla 28 y Tabla 29 (considerando pérdidas de 100% en el estado extensivo).

Tabla 28: Volúmenes finales según escenario sísmico considerando factor de esponjamiento.

Escenario sísmico	Volumen (m <sup>3</sup> )	Factor de esponjamiento	Volumen total (m <sup>3</sup> )
0.10 g	3850.72	1.8	6931.29
0.20 g	19389.67	1.8	34901.41
0.30 g	34386.79	1.8	61896.21
0.60 g	69077.45	1.8	124339.41

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29: Volúmenes finales según escenario sísmico considerando factor de esponjamiento y 100% de pérdidas en el estado extensivo.

Escenario sísmico	Volumen (m <sup>3</sup> )	Factor de esponjamiento	Volumen total (m <sup>3</sup> )
0.10 g	3850.72	1.8	6931.29
0.20 g	19389.67	1.8	34901.41
0.30 g	51552.90	1.8	92795.23
0.60 g	85358.33	1.8	153644.99

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado final, el volumen que se deberá remover y eliminar se estima 153 644.99 m<sup>3</sup> de escombros en el escenario más desfavorable.

b) Pérdidas materiales por material de construcción

Los resultados de pérdidas para los siete materiales de construcción considerados se presentan en unidades de m<sup>3</sup> en la Tabla 30 y la Figura 45.

Tabla 30: Pérdidas por material de construcción en volumen según escenario sísmico.

<b>Escenarios sísmicos</b>	<b>Concreto simple</b>	<b>Adobe</b>	<b>Barro</b>	<b>Madera</b>	<b>Concreto armado</b>	<b>Ladrillo de techo</b>	<b>Ladrillo de muro</b>
0.10 g	171.39	2276.79	196.41	157.10	0.00	386.23	662.79
0.20 g	887.40	11383.97	982.06	785.48	277.77	1861.85	3211.14
0.30 g	1967.86	16833.97	1472.84	1155.18	2370.59	3975.71	6880.63
0.60 g	3621.78	33219.74	2896.71	2282.61	8113.13	6860.02	11864.46

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que la mayor parte de pérdidas está conformada por los materiales de adobe y ladrillo de muro, representando el 59.13 % y 17.21 % de las pérdidas totales en el escenario 0.10 g, 58.71 % y 16.56 % en el escenario 0.20 g, 48.95 % y 20.01 % en el escenario 0.30 g y el 48.24 % y 17.23 % para el escenario 0.60 g, respectivamente.

Los demás materiales (concreto simple, barro, madera, concreto armado y ladrillo de techo) tienen una menor participación en el total de pérdidas para los cuatro escenarios estudiados. Sin embargo, cabe recalcar que para el escenario 0.60 g, las pérdidas en el concreto armado representan el 11.78 % del total, cifra comparable con la pérdida de ladrillo de muro para el mismo escenario.

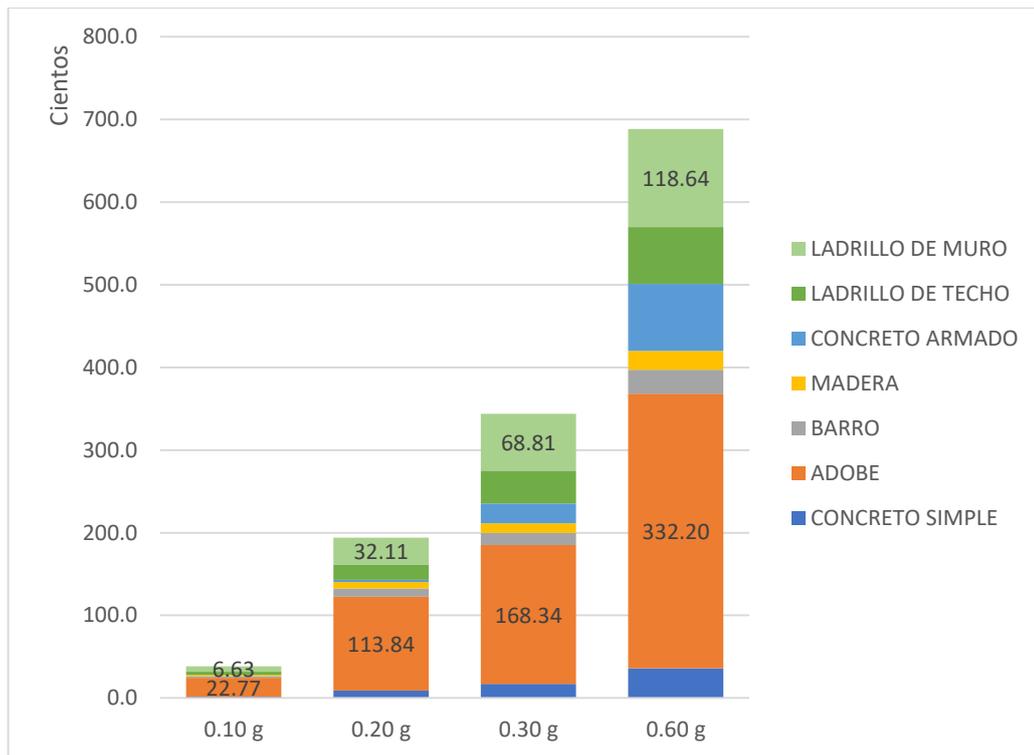


Figura 45: Pérdidas materiales por material de construcción en volumen según escenario sísmico.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.10.3 Distribución espacial de las pérdidas materiales

Los mapas elaborados en la plataforma SIG permiten conocer la distribución espacial de pérdidas de materiales en el área de estudio para los cuatro escenarios analizados, estos mapas se pueden visualizar en el anexo 7.

Con estos resultados se plantean dos rutas de posible evacuación de escombros priorizando las zonas más afectadas, los mapas se presentan en el anexo 8.

### 5.11 Plan de gestión de escombros

La remoción de escombros es una actividad de carácter inmediato para el inicio de la fase de reconstrucción de una ciudad o localidad afectada por un desastre. Este proceso cuenta con una serie de regulaciones las cuales deben seguirse para una gestión adecuada de estos escombros.

El Perú no cuenta con una planificación para la gestión de escombros, viéndose reflejado en el sismo de Pisco del año 2007.

Para el trabajo de remoción de escombros se evidenció la escasez de equipos y maquinarias. Por otro lado, la disposición de estos residuos fue una tarea compleja al no contar con infraestructura de disposición, implicando el depósito en lugares inadecuados exhibiendo la necesidad de contar con un plan de contingencia.

Con respecto al sismo de Pisco del 2007, INDECI (2009) agregó:

La remoción de escombros se dificultó por la falta de un plan específico, la no identificación de escombreras aceptables para su eliminación y la carencia de un criterio uniforme para la retribución de este servicio, a lo que se sumó un obstáculo legal, puesto que existe una norma que no permite las demoliciones como parte de la remoción de escombros. (p.182)

A continuación, se presenta un plan de gestión de escombros adaptado del manual *Strategy of separation and treatment of disaster waste - Focusing on the Great East Japan Earthquake 2011*, realizado después del sismo y tsunami del 11 de marzo del 2011 en la región de Tōhoku, Japón, considerado como el sismo más poderoso jamás registrado en el país.

Este sismo tuvo una intensidad IX (violento) en la escala de Mercalli con una magnitud de 9.1Mw, una aceleración pico de 2.99 g, una duración de seis minutos y, finalmente una estimación de daño por \$360 billones de dólares. Con respecto a las pérdidas humanas, se registraron 19747 muertes, 6 242 lesionados y 2556 personas desaparecidas (Sede de Contramedidas de Desastres de la Agencia de Manejo de Incendios y Desastres, 2011).

Japón experimentó más de 1000 réplicas desde el terremoto, 80 de las cuales registraron una magnitud superior a 6.0 Mw y varias de las cuales superaron los 7.0 Mw (USGS, 2011).

Este gran terremoto desencadenó olas de tsunami con una altura de hasta 40.5 metros en Miyako, prefectura de Iwate. La central nuclear de Fukushima Daiichi detectó el terremoto apagando los reactores para frenar la posible reacción nuclear, usando los generadores diésel de emergencia para suplir el apagón, sin embargo, las olas superaron los muros de contención de la central y aunque no dañó estructuralmente la central, inundó la zona de los generadores destruyendo 5/6 de estos, haciendo insuficiente la refrigeración de los reactores, lo cual produjo la fusión nuclear. Estos eventos catalogaron al sismo como una triple catástrofe.

Lima se encuentra en un estado de silencio sísmico prolongado, registrándose en 1746 el último gran sismo, hace 275 años. Esta acumulación de energía podría originar un terremoto a gran escala en la zona costera del país, dando lugar a un tsunami inmediatamente después del sismo, generando daños muy diferentes y a mayor escala a los de aquel sismo debido al crecimiento de la población y ciudad.

Además, Lima cuenta con una central nuclear en el distrito de Carabayllo, en la zona denominada como Huarangal a 42 km de la ciudad. No obstante, sucesos como las catástrofes de Fukushima están lejos de suceder en el territorio peruano dada la potencia del reactor, considerado el más potente de Latinoamérica, por el uso real que se le da a la central, utilizado con fines médicos, conservación de patrimonio y en la agricultura (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2019).

Después de lo expuesto, se recalca que Japón cuenta con normas y leyes muy distintas al Perú, por ello, en este plan se consideran pautas generales para cada proceso:

1. Identificación de categoría y clasificación de residuos de desastres.
2. Estimación de la cantidad generada.
3. Fase de recuperación o reconstrucción y gestión de residuos.
4. Esquema de los procesos de separación y disposición de residuos de desastres.
5. Planificación de la estrategia de separación y tratamiento.

6. Remoción de casas colapsadas.
7. Selección y funcionamiento de los lugares de almacenamiento temporal.
8. Selección y funcionamiento de los lugares de almacenamiento (residuos primarios y secundarios).
9. Ejemplos de tipos de residuos: gestión de residuos en refugios de evacuación.
10. Reciclaje de concreto.

#### 5.11.1 Identificación de categoría y clasificación de residuos de desastres

Conocer qué tipo de residuos se generan a partir de un tipo de lugar en específico es importante para decidir cómo recolectar, clasificar, desechar los residuos en cada área.

##### a) Identificación de categorías de residuos generados

Dado que los tipos y cantidad de residuos dependen de la magnitud del terremoto o tsunami, es necesario dividirlos en varias categorías para la identificación de las pautas de manejo. En la Tabla 31 se muestra un ejemplo de organización. Este manual arroja luz sobre “residuos de evacuación” y “residuos de sismo”. Los residuos médicos deben clasificarse y eliminarse adecuadamente, pero si no se puede asegurar una ruta, es necesario examinar rápidamente el plan de gestión. Los cadáveres no están incluidos en los residuos del desastre que se tratan en el presente.

Tabla 31: Categoría de residuos y zonificación en caso de sismo o tsunami

<b>Categoría</b>	<b>Resumen</b>	<b>Tipo de residuo</b>	<b>Imágenes</b>
Residuos de evacuación	Residuos generales generados por refugios de evacuación	Combustibles, residuos de cocina, incombustibles, plásticos, botellas de plástico, residuos nocivos, residuos humanos y desechos médicos.	
	Residuos médicos	Residuos médicos generados por instituciones médicas, asilos, refugios de evacuación	Agujas, artículos y guantes contaminados con sangre
Residuos de sismo	Residuos domésticos destruidos, dañados debido a sismo (excluyendo casas dañadas)	Accesorios eléctricos, muebles, textiles, ropa	

Residuos de tsunami	Escombros de sismo	Casas colapsadas debido a sismo (podría incluir residuos domésticos) incluye aquellas que fueron dañadas debido a incendio después de sismo	Casas colapsadas, muebles, electrodomésticos, basura de gran tamaño, árboles de jardines, residuos dañinos (asbestos, PCB, etc.) y automóviles	
	Residuos empapados por el tsunami	Residuos empapados con agua de mar en áreas dañadas, pero no devastado por tsunami (principalmente residuos domésticos)	Artículos empapados con agua de mar, aparatos electrónicos, muebles, basura de gran tamaño, colchones, árboles de jardín	
	Residuos colapsados por tsunami	Casas colapsadas y empapadas con agua de mar (podría incluir residuos domésticos)	Artículos mojados con agua de mar, casas colapsadas, artefactos eléctricos, muebles, basura de gran tamaño, árboles de jardines, residuos peligrosos (asbestos, PCB, etc.)	

Sedimento de tsunami	Sedimento acumulado en tierra debido a tsunami (incluye lodo)	Las propiedades difieren en las instalaciones de la zona. Debe ser afrontado de manera individual en cada lugar.	
Automóviles y embarcaciones	Automóviles y embarcaciones	Automóviles, motocicletas, embarcaciones, etc.	
Artículos de gran tamaño	residuos de gran tamaño generados de fábricas y estructuras	Tanques, postes, fertilizantes que requieren manejo individual	
Concreto	Concreto	Concreto, asfalto, losetas demolidas	
Vegetación	Árboles	Madera cruda (fuera de temporada), etc.	

Fuente: Tomado de Strategy of separation and treatment of disaster waste – Focusing on the Great East Japan Earthquake 2011 (p.10), JSMCWM, 2012.

### 5.11.2 Estimación de la cantidad generada

La estimación de la cantidad de residuos causados por desastres se puede implementar siguiendo los siguientes pasos para la fase de emergencia:

- Reunir información sobre desastres.
- Estimar el daño de las edificaciones y lugares de trabajo basándose en la información que se tiene del desastre. De esta manera, clasificar los estados de daño por grupos. La clasificación varía según los criterios de la organización que plantea los estados, como por ejemplo la metodología HAZUS, EERI, ATC o diversos autores.
- La estimación de la cantidad de residuos de la catástrofe puede calcularse multiplicando la generación de residuos con el número estimado de viviendas dañadas. La estimación de escombros varía según la metodología que se desarrolle.

En este punto se resalta la importancia de conocer el stock de materiales aproximado de una vivienda antes de la fase de emergencia. La Figura 46 muestra el flujo de la estimación de la cantidad de residuos de un desastre.

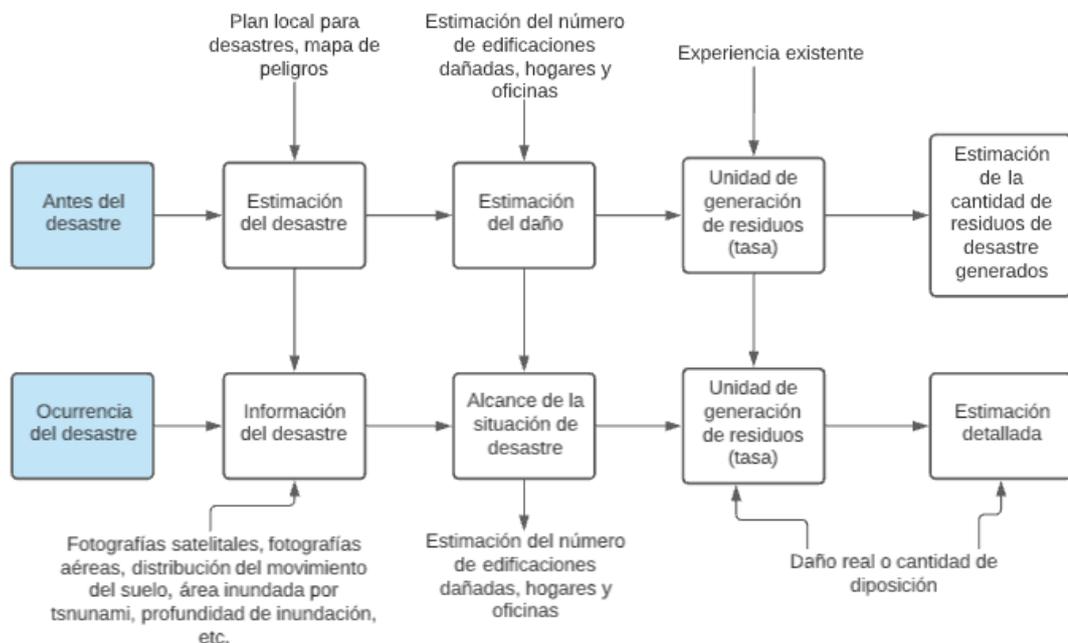


Figura 46: Flujo de estimación de la cantidad de residuos de desastre

Fuente: Tomado y traducido de Strategy of separation and treatment of disaster waste – Focusing on the Great East Japan Earthquake 2011 (p.13), JSMCWM, 2012.

### 5.11.3 Fase de recuperación o reconstrucción y gestión de residuos

La Tabla 32 muestra la recuperación y reconstrucción en el presente y futuro dentro del área de desastre. Se requiere una gestión programada y rápida, aunque algunas fases podrían retrasarse según el tamaño del desastre.

Tabla 32: Gestión de residuos en fases de gestión de desastre

	Fases de la gestión de desastre en el área		Gestión de desastre
Fase de emergencia	Ocurrencia de un desastre (priorizar el salvar vidas)	Aproximadamente 72 horas	Establecimiento del sistema inicial
	La seguridad del transporte es implementada		Gestión inicial y comprensión de la situación
			Principalmente residuos de evacuación, residuos de terremotos, residuos de tsunamis
			Examinación y aprobación de las pautas de manejo
Recuperación temprana			Comienzo de la evacuación de residuos y gestión de desastres
	Implementar hasta la recuperación de víctimas y distribución de bienes	Aproximadamente 1 mes	Gestión de residuos de terremotos y residuos de tsunamis (colapsados)
			Examinación y aprobación de las pautas de manejo
Fase de recuperación			Gestión de desastres y eliminación de gran cantidad de residuos del área
	Implementar hasta la recuperación del stock social (eliminación de los refugios de evacuación)	Aproximadamente 1 año	Eliminación de residuos (reutilización, reciclaje)
Fase de reconstrucción	Implementar hasta la recuperación de la industria	Aproximadamente 10 años	

Fuente: Tomado de Strategy of separation and treatment of disaster waste – Focusing on the Great East Japan Earthquake 2011 (p.16), JSMCWM, 2012.

En particular, se requiere una respuesta rápida en la fase de recuperación temprana. Aunque en algunas áreas, la fase de gestión de desastres puede retrasarse considerablemente según el gobierno local o el tamaño del desastre, es importante compartir precedentes y conocimientos para avanzar en la recuperación y reconstrucción lo más rápidamente posible.

#### 5.11.4 Esquema de procesos de separación y disposición de residuos de desastres

Los métodos de separación y eliminación de los residuos de desastres varían con cada categoría, tipo de residuos, y según la región, sin embargo, es necesario tener en cuenta los procesos generales de los residuos de desastres al planificar las estrategias de separación / eliminación. Comprender los procesos, así como los términos técnicos entre las partes relacionadas es vital, para asegurar una comunicación fluida. La siguiente Figura 47 es un esquema de los procesos para la separación y eliminación de residuos de desastres.

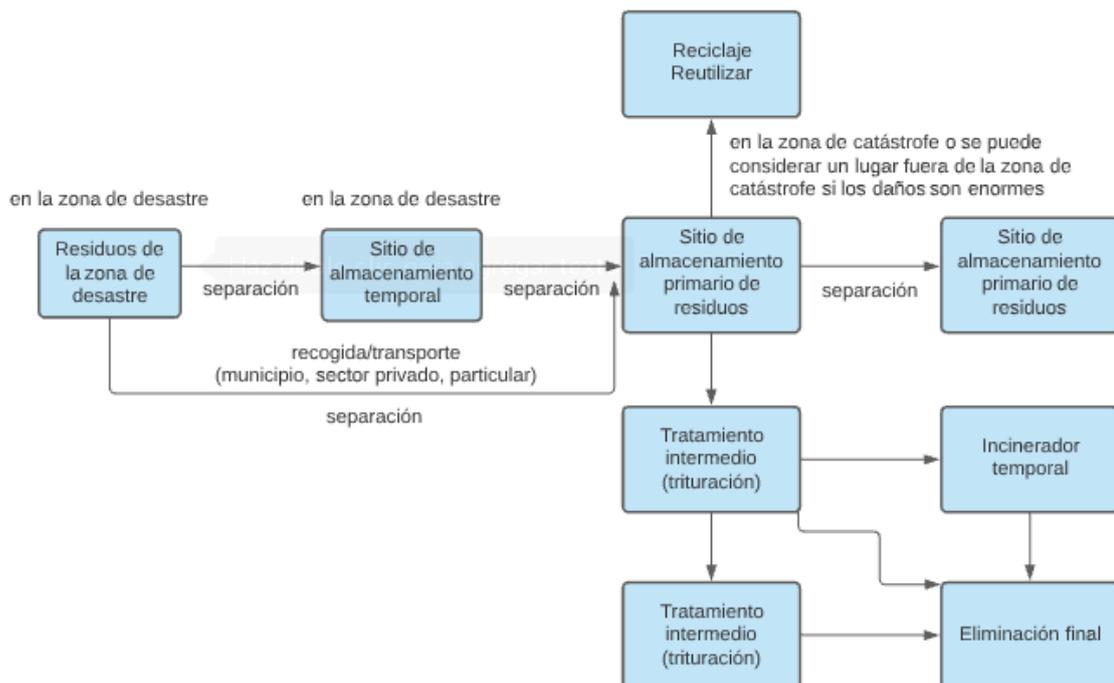


Figura 47: Esquema de los procesos para la separación y eliminación de residuos de desastres

Fuente: Tomado y traducido de Strategy of separation and treatment of disaster waste – Focusing on the Great East Japan Earthquake 2011 (p.17), JSMCWM, 2012.

- a) Sitio de almacenamiento temporal de residuos: Lugar donde los residuos se almacenan temporalmente en áreas del desastre para asegurar el espacio/entorno de vida y permitir una reconstrucción sin problemas.
- b) Sitio de almacenamiento de residuos primarios: Lugar donde los residuos de desastres se almacenan/clasifican durante un cierto tiempo antes de su eliminación (incluida la reutilización/reciclaje).
- c) Sitio de almacenamiento de residuos secundario: Lugar de almacenamiento de residuos secundario, debe instalarse en caso de que los residuos no estén lo suficientemente separados si el espacio para la separación de residuos en el primer lugar de almacenamiento (principal) es insuficiente. Las pautas para establecerlo serán las mismas que para el sitio de almacenamiento principal. Dependiendo de los tipos o diferentes estados de los residuos, o de las áreas donde se almacenan los residuos, hay algunos casos en los que es suficiente el mismo tratamiento que el proporcionado en el sitio de almacenamiento primario. En algunos casos, es posible establecer solo un sitio de almacenamiento principal.
- d) Separación: Es deseable una separación adecuada de los residuos teniendo en cuenta la eliminación posterior, incluida la reutilización y/o reciclaje, según prioridad y características de peligro de los residuos al almacenarlos o eliminarlos.
- e) Reutilización: Residuos como escombros, grava, canto rodado y madera no empapados con agua salada deben separarse en los sitios de almacenamiento primario/secundario y usarse adecuadamente para la reconstrucción.
- f) Reciclaje: Residuos como escombros, madera, metales, electrodomésticos. Automóviles y otros recolectados o separados en sitios de almacenamiento primario/secundario deben manejarse adecuadamente y usarse como recursos reciclables para la reconstrucción.
- g) Tratamiento intermedio (aplastamiento y trituración): Este procedimiento se aplica después de que los residuos se recolectan y separan en los sitios de almacenamiento primario/secundario para mejorar la eficiencia del transporte o la eliminación por incineración.
- h) Tratamiento intermedio (incineración): Procedimiento antes de la disposición final que permite estabilizar y reducir el volumen de los residuos

del desastre. En algunos casos, se instalan incineradores temporales en sitios de almacenamiento de residuos primarios / secundarios.

- i) Incinerador temporal: Se instala para permitir un procesamiento/tratamiento suficiente de los residuos en caso de que el tratamiento sea difícil utilizando solo los incineradores existentes o cuando se acepten grandes cantidades de residuos de desastres de otras regiones.
- j) Disposición final: Vertedero de cenizas incineradas que se estabilizan mediante tratamientos intermedios. En el caso de que el manejo solo con las instalaciones existentes del relleno sanitario sea difícil, el análisis del suelo debe realizarse rápidamente para encontrar y establecer nuevas áreas de relleno sanitario. Los sitios deben ser atendidos por cada municipio.
- k) Losetas y canto rodado: Escombros de concreto/asfalto.
- l) Escombros: Residuos de edificaciones colapsadas y de demolición/mezcla de bienes doméstico y escombros.

#### 5.11.5 Planificación de la estrategia de separación y tratamiento

Después de revisar los posibles métodos de eliminación (reutilización y reciclaje), cada municipio debe elaborar una estrategia de separación y tratamiento de acuerdo a los siguientes criterios.

- a) Priorización de la reutilización y el reciclaje: La reutilización y el reciclaje deben llevarse a cabo tanto como sea posible, mientras se considera la urgencia de eliminar los residuos del desastre y sus cantidades. El proceso de separación y tratamiento se determinará después de que se tengan en cuenta las condiciones de recepción de los materiales para su reutilización, reciclaje y la separación requerida. Las condiciones de recepción y la ruta de transporte pueden ser decididas por la industria o la administración además de las convencionales.
- b) Protección del medio ambiente: Es importante minimizar los impactos sobre la salud humana o el medio ambiente y prevenir el peligro, considerando la velocidad de eliminación. Fundamentalmente, es necesario verificar el estado de las sustancias y productos peligrosos, lo que implica un manejo cuidadoso en situaciones que no son de emergencia, evitar cualquier exposición de residentes y trabajadores a dichos materiales y tratarlos adecuadamente durante todas las etapas de los procesos de separación y

tratamiento. Si es probable que todo el proceso de eliminación conlleve mucho tiempo, se deben establecer las prioridades de eliminación de residuos y los lugares de almacenamiento deben seleccionarse con precaución porque pueden ocurrir problemas de higiene donde existen residuos, en el entorno de vida y en los sitios de almacenamiento temporal, etc.

- c) Consideración para la recuperación y reconstrucción: La eliminación de residuos puede apoyar la recuperación y reconstrucción de áreas de desastre, y es preferible tratar y eliminar los residuos de desastres de esa manera. Por ejemplo, la creación de empleo mediante la contratación de ciudadanos locales para la separación y eliminación de residuos, la reorganización de las economías y empresas regionales, la provisión de recursos (reutilización y reciclaje de materiales) que se utilizarán en trabajos de reconstrucción.
- d) Capacidad de las instalaciones de separación y disposición: Es necesario confirmar la capacidad de separación y tratamiento en los municipios en las áreas de desastre (o fuera de las áreas si los municipios afectados no tienen capacidad suficiente) y examinar las condiciones operativas de esas instalaciones. También es importante obtener la cooperación de la industria y de diversas organizaciones de ayuda/apoyo.
- e) Costo: Es fundamental reducir el costo total asegurando que la eliminación se lleve a cabo a un precio adecuado considerando la reutilización, el reciclaje y la protección del medio ambiente. Es necesario examinar los costos, utilizando los precios unitarios normales de eliminación o los de otras áreas de desastre como puntos de referencia.

De la misma manera, se brindan los criterios para los principales puntos de la estrategia de separación y eliminación.

- a) Cantidad de residuos a tratar: La cantidad de residuos por fuente de generación y tipo de residuos debe estimarse de manera aproximada, y la cantidad planificada de residuos a eliminar debe determinarse lo antes posible. Esta cantidad puede cambiar a medida que avanza la eliminación. Tarde o temprano, es necesario medir la cantidad de residuos con la mayor precisión posible. Por ejemplo, considerar instalar una estación de pesaje o una báscula para camiones y así medir el peso de los vehículos en los sitios

de almacenamiento de residuos primarios, etc., y establecer un sistema de mantenimiento de registros.

- b) Proceso de separación y eliminación: Se debe preparar un diagrama de flujo detallado, que muestre todas las etapas de los procesos, desde la generación de residuos hasta la separación y eliminación, aclarando qué y cuán estrictamente los materiales en los residuos deben separarse. Un ejemplo de un diagrama de flujo de este tipo es aquel en el que los diagramas están organizados de manera que se incorporen las condiciones locales, etc. Y se muestran los flujos de residuos por tipo de residuo junto con la cantidad. Los materiales que son relativamente fáciles de separar en el sitio, deben separarse lo antes posible (lo más cercano a la fuente). Una vez que los residuos se mezclan, la separación es más difícil y también aumenta la posibilidad de que se mezclen con los sedimentos o se destruyan por la carga mixta durante el transporte.
- c) Zonificación de la recolección y el tratamiento de residuos: Con base en los flujos de residuos identificados en (b), se debe realizar la zonificación de la recolección y el tratamiento de residuos. Es decir, definir qué tipos de residuos se generan, dónde se van a recolectar y en qué instalación de tratamiento se van a tratar de acuerdo con la cantidad de residuos (en algunos casos, incluyendo residuos recolectados de más de un municipio). Luego, se seleccionan en detalle los lugares de almacenamiento de residuos y los métodos de transporte.
- d) Organización para la eliminación: Es necesario aclarar las organizaciones responsables de la eliminación de artículos/áreas específicas, así como de todo el proceso. Especialmente cuando un gobierno regional o de prefectura asume el liderazgo de los municipios subordinados, se debe formar una organización que designe a una persona adecuada para dirigir el grupo de trabajo y los gerentes de primera línea para los distritos y tipos de residuos para el miembro del grupo, para una gestión eficaz de los residuos de desastres y gestión del cronograma, aunque el alcalde del distrito/gobernador regional es formalmente responsable.
- e) Calendario: Definir el calendario de eliminación de residuos, como la eliminación de residuos de desastres de un área urbana (transporte desde los sitios de almacenamiento temporal a los sitios de almacenamiento de

residuos primarios) y la recolección de residuos relacionados significativamente a la vida de los ciudadanos, de una manera que agiliza el proceso de recuperación y reconstrucción de las áreas de desastre. Sin embargo, la programación puede retrasarse debido a varios sucesos inesperados. Esto debe indicarse claramente con anticipación.

- f) Monitoreo ambiental: Monitorear el ambiente si es necesario, como medir la calidad del aire al demoler y remover edificios derrumbados (antes, durante y después) y suelo en sitios de almacenamiento de residuos (antes y después de su uso). Esto debe hacerse para la protección del medio ambiente y el uso posterior de los sitios de almacenamiento de residuos después de su cierre y restauración.

De la misma manera, la Figura 48 brinda el flujo de la separación y tratamiento de los residuos.

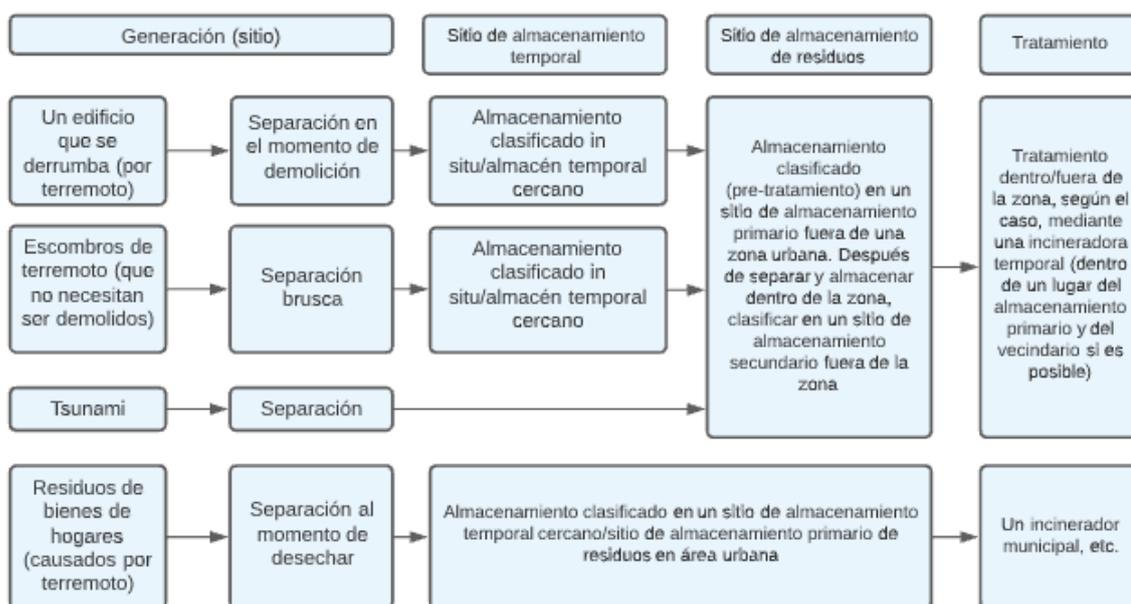


Figura 48: Esquema de los procesos para la separación y eliminación de residuos de desastres

Fuente: Tomado y traducido de Strategy of separation and treatment of disaster waste – Focusing on the Great East Japan Earthquake 2011 (p.22), JSMCWM, 2012.

En la práctica real, se debe registrar la cantidad de residuos generados, el número y la ubicación de los sitios de almacenamiento/instalaciones de tratamiento y los métodos de transporte, etc. Asimismo, es importante establecer e informar sobre los elementos y los criterios de clasificación.

Aunque generalmente se utiliza el transporte terrestre (por ejemplo, camiones), el transporte marítimo puede estar disponible según el tipo de desperdicio y la ubicación. Se deben seleccionar contratistas apropiados con licencias legales y capacidad para el transporte y tratamiento de residuos de conformidad con las leyes y regulaciones pertinentes.

#### 5.11.6 Remoción de casas colapsadas

La remoción de casas colapsadas se basa en los siguientes puntos:

- a) Proporción de información por adelantado sobre el cronograma para la eliminación de residuos/escombros y la ubicación de las áreas de eliminación específicas: Intentar contactar con los propietarios de los lotes/viviendas siempre que sea posible para obtener su aprobación antes de ingresar a propiedades privadas para eliminar los residuos y solicitar su presencia en el sitio. Sin embargo, la remoción se puede llevar a cabo incluso si no se puede contactar a los propietarios. Es deseable que se proporcione con anticipación el cronograma para la remoción de residuos/escombros y la ubicación de las áreas de remoción específicas.
- b) Contar con registros de daños a edificios y automóviles tomando fotografías y por otros métodos antes de retirarlos:
  - ✓ Edificios/casas: En el caso de edificios que conservan parcialmente su estado original y permanecen en pie en sus ubicaciones originales, el procedimiento básico debe ser confirmar las aprobaciones de los propietarios antes de la remoción. Si es imposible contactar a los propietarios o donde existe un peligro potencial de colapso, estas casas/edificios pueden ser desmantelados y retirados de acuerdo a la evaluación de expertos, como inspectores de terrenos y edificios, de que no tienen más valor. En tales casos, es deseable contar con registros claros.
  - ✓ Automóviles: Deben ser trasladados hacia sitios de almacenamiento temporal e intentar contactar a sus propietarios, siendo devueltos al propietario si es posible. En cuanto a los automóviles que parecen inutilizables, deben ser guardados en sitios de almacenamiento temporal y debe intentarse encontrar a sus propietarios, devolviéndolos a sus propietarios si es posible.

- ✓ Motocicletas/*scooters*: Deben desecharse de acuerdo a las instrucciones para automóviles.
  
- c) Devolución de objetos de valor y artículos de valor sentimental:
  - ✓ Metales preciosos, objetos de valor y cajas fuertes (bienes muebles que no sean automóviles o medio de transporte de significativo tamaño) deben almacenarse temporalmente e intentar encontrar a los dueños. Se deben devolver esos objetos de valor a los propietarios si son solicitados. La eliminación adecuada debe llevarse a cabo de acuerdo a la ley de artículos perdidos en el caso de que no se pueda identificar a los propietarios. En el Perú existen escasas disposiciones municipales con respecto a objetos perdidos como, por ejemplo, la ordenanza que regula la recepción, custodia y disposición de objetos perdidos, entregados a la Municipalidad en San Miguel (Ordenanza N°331/MDSM) o la Ordenanza Municipal N°001 – 2014 del Callao.
  - ✓ Objetos de valor como álbumes y otras pertenencias que parezcan tener un valor personal intrínseco para las personas, no deben desecharse.
  - ✓ Elementos que no sean parte de los anteriores se pueden remover y eliminar.

#### 5.11.7 Selección y funcionamiento de los lugares de almacenamiento temporal

Los sitios de almacenamiento temporal deben establecerse y operarse con prontitud desde el punto de vista de permitir la limpieza de las casas dañadas, incluso si las víctimas han sido evacuadas, de acuerdo con la situación de la zona del desastre.

Al seleccionar y establecer sitios de almacenamiento temporal, es necesario ubicarlos en parques disponibles y lotes baldíos en un área de desastre. Además, posicionarlos teniendo en cuenta la necesidad de permitir el acceso desde los sitios de almacenamiento temporal a los sitios de almacenamiento de residuos primarios/secundarios.

Se debe proporcionar acceso a los camiones de basura y volquetes para permitir el transporte desde el almacenamiento temporal sitio a sitios de almacenamiento de residuos primarios/secundarios.

Dado que los residuos del desastre son transportados por residentes y voluntarios, la administración responsable debe notificar de antemano las reglas de separación de residuos. Esto se puede hacer mediante la distribución de folletos, boletines de información en los refugios de evacuación, asesorando a los presidentes de las asociaciones de vecinos y notificar a los centros de voluntariado, etc., como reacción inicial ante un desastre.

Para la operación de sitios de almacenamiento temporal (incluido el apoyo de voluntarios) los trabajadores deben usar máscaras, zapatos de seguridad, ropa de protección con mínima exposición, cascos y lentes de seguridad para la seguridad del trabajo. Además, los voluntarios trabajan en grupo desde el punto de vista de la prevención de accidentes secundarios, quienes deben ser instruidos antes de la operación.

Es necesario tomar medidas contra el ruido, la contaminación del aire y el polvo (mediante el uso de una red para evitar la dispersión de residuos, especialmente los residuos plásticos junto al rociado de agua) y los olores desagradables (por la dispersión de cal hidratada y desinfectante). Cuando se utilizan trituradoras e incineradores temporales, las medidas contra el ruido, las vibraciones y el polvo son fundamentales.

En caso de tsunami, la cal apagada debe rociarse sobre los residuos de madera empapados con agua de mar (madera y casa derrumbada, etc.).

Para evitar la combustión y la generación de calor, los residuos de madera y los residuos combustibles no deben apilarse a más de cinco metros de altura. Dado que las baterías secundarias de plomo-ácido (en automóviles y motocicletas), llantas y estufas (que posiblemente aún contengan querosene) pueden causar un incendio, dichos elementos deben retirarse de los montones de residuos. También se debe prestar atención para evitar aplastarlos con maquinaria pesada. Para facilitar la extinción de incendios y evitar la propagación del fuego en tales casos, deben ubicarse a dos o más metros de distancia

La infiltración de residuos peligrosos y aceite contenidos en electrodomésticos en las aguas subterráneas debe evitarse mediante el uso de

lonas azules. En este caso, el agua contaminada debe ser recolectada por una instalación de drenaje y una instalación de almacenamiento temporal (estanques de almacenamiento, tanques, etc.) y tratada mediante un procesamiento adecuado.

Es importante tener en cuenta que la cantidad de residuos en un sitio de almacenamiento urbano tiende a aumentar más de lo esperado. También deben tomarse medidas preventivas para la eliminación de residuos no designados.

#### 5.11.8 Selección y funcionamiento de los lugares de almacenamiento

El establecimiento y operación de los sitios de almacenamiento de residuos primarios y secundarios deben iniciarse rápidamente de acuerdo con la selección del método de tratamiento.

En algunos casos, dependiendo de la ubicación y el estado de los residuos, solo se establecen sitios de almacenamiento primario. Cuando la separación en los sitios de almacenamiento primario es insuficiente, se necesita un sitio de almacenamiento secundario. Cuando no sea posible instalar ambos en el mismo distrito, los residuos deben transportarse a un lugar de almacenamiento secundario en el distrito más cercano.

La selección y el establecimiento de los lugares de almacenamiento debe tomar en cuenta la disponibilidad de permisos del propietario, el uso de tierras abandonadas afectadas por el desastre, la accesibilidad y la viabilidad de equipos pesados y vehículos, y asegurar la disponibilidad de la cantidad mínima de agua requerida para la prevención y extinción de incendios. Además, se requiere mucho espacio disponible para almacenar los residuos. Estos lugares pueden ser áreas urbanas o tierras agrícolas que hayan sido inundadas, tierras de propiedad pública no utilizadas, tierras abandonadas, parques, estacionamientos o vertederos. Los accesos deben contar con un ancho ideal de 12 metros, por otro lado, es probable que deban ser compactados. Si es posible la separación de escombros (piedra y escombros de concreto), se pueden utilizar como material de base para la calzada de una vía de acceso temporal en áreas inundadas.

Con respecto al diseño del sitio de almacenamiento, es necesario aplicar una separación adecuada que coincida con el tratamiento según las características del residuo y período de almacenamiento previsto. Siempre que sea posible, se deben tomar medidas para eliminar el riesgo de contaminación ambiental mediante el tratamiento de aguas residuales, la interceptación de agua y la prevención de la dispersión de partículas de residuos. En el caso de los residuos tóxicos, esas medidas son fundamentales. Una medición adecuada del estado del sitio es importante para el monitoreo.

#### 5.11.9 Gestión de residuos en refugios de evacuación

Los refugios de evacuación se establecen inmediatamente después de que ocurre un desastre. Escuelas y centros comunitarios generalmente se utilizan como refugios de evacuación.

Tan pronto como estos refugios se establecen después de un desastre, los residuos se generan inmediatamente a través de las actividades diarias de las víctimas después de que se mudan a estos refugios de evacuación. Los residuos generados incluyen cartón, bolsas de plástico y residuos de envases, alimentos y excrementos humanos.

Para garantizar las condiciones sanitarias, se debe contar con inodoros portátiles, ya que muchos inodoros existentes pueden quedar inutilizables debido a la suspensión del suministro de agua y cortes de energía, etc. En el caso de tanques sépticos combinados, el uso del inodoro es posible cuando se restablece el agua y la electricidad. En los otros casos, la eliminación de aguas residuales depende de la operatividad de la planta de eliminación de aguas residuales; sin embargo, la descarga de agua es posible si se restablecen el agua y la electricidad. En situaciones de emergencia, puede ser aceptable hacer baños de emergencia y cavar agujeros para el uso del baño (silos), cubriéndose los residuos con papel de periódico. Es de suma importancia el sellado hermético para el almacenamiento de excrementos durante un cierto período de tiempo.

#### 5.11.10 Reciclaje de concreto

El reciclaje de concreto es práctico si este tipo de escombros se separan de otros tipos de residuos y residuos. Estos tipos de escombros se pueden reciclar como material de construcción después de triturarlos y clasificarlos por tamizado. Desde el punto de vista del reciclaje, uso para la recuperación y reconstrucción es deseable utilizar las instalaciones de tratamiento intermedio alrededor de las áreas de desastre. Si la cantidad de escombros que se lleva a un sitio de almacenamiento de residuos primario es grande, es indispensable considerar la instalación de una trituradora primaria en el sitio de almacenamiento de residuos primario.

Los escombros de concreto se reutilizan típicamente como materiales de calzada o materiales de relleno. Sin embargo, considerando la cantidad de residuos del desastre y la creciente demanda de materiales de construcción, es necesario considerar el uso de escombros de concreto como agregados reciclados para concreto.

Pueden contener varios tipos de sustancias extrañas como sal, suciedad, cerámica, placas de yeso y madera, etc. Estas sustancias son un pequeño problema cuando se utilizan los escombros de concreto para la preparación del terreno. De igual manera, en el caso de utilización para materiales de construcción después de la trituración y clasificación por tamizado, las sustancias extrañas degradan la calidad de los productos de construcción. Por lo tanto, es necesario separar bien los escombros y lavar con agua según la situación.

Posteriormente, los escombros de concreto pueden estar contaminados con amianto. Por lo tanto, la generación de polvo debe inhibirse mediante el rociado de agua y un colector de polvo local durante el proceso de trituración. Además, los trabajadores deben usar máscaras antipolvo que cubran todo el rostro. Los materiales que contienen asbesto deben eliminarse del flujo de reciclaje y desecharse en un vertedero.

## 5.12 Herramientas geomáticas en el plan de gestión de escombros

A continuación, se proponen algunas herramientas geomáticas que aportarían significativamente en la implementación de un plan de gestión de escombros producidos por un sismo.

### a) Identificación de categoría y clasificación de desechos de desastres

Realizar esta actividad hace necesaria la inspección en campo, identificar los lugares más afectados y con mayor cantidad de escombros que estén impidiendo rutas de evacuación. Para este punto se propone el uso de dron, que permita obtener imágenes panorámicas y vistas de planta que puedan exportarse a modelos georreferenciados. Un ejemplo de ello es la página web *Maps Made Easy*, que realiza mediciones reales utilizando modelos y mapas a escala, el procesamiento en la nube permite al usuario crear ortofotos georreferenciadas, modelos 3D y modelos digitales de superficies. Estos modelos pueden ser compartidos de manera pública y gratuita a través del enlace que genera. Al ser de acceso público es de gran utilidad porque tomadores de decisión desde diferentes lugares y al mismo tiempo pueden observar un panorama real que debe ser atendido, visualmente podrían identificar qué zonas imposibilitan evacuar o transportarse con maquinaria.

A modo de ejemplo, en la Figura 49 y Figura 50 se muestran imágenes del modelo obtenido con el vuelo fotogramétrico realizado en la presente investigación, de igual manera puede revisarse en el siguiente link:

[https://www.mapsmadeeasy.com/maps/public\\_3D/05e30cad1cc64b3094576a61727fecae/](https://www.mapsmadeeasy.com/maps/public_3D/05e30cad1cc64b3094576a61727fecae/).

Para obtener una mayor calidad en los modelos se sugiere aumentar la resolución para la toma de fotografías.

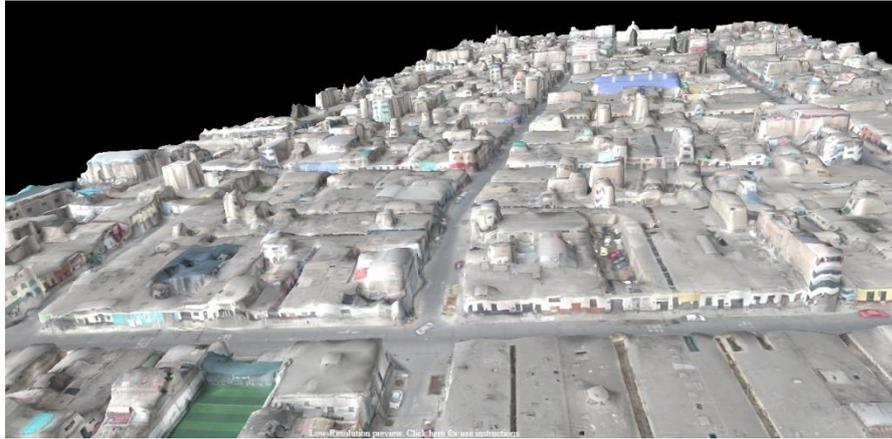


Figura 49: Vista panorámica del modelo 3D en línea  
Fuente: Elaboración propia en *Maps Made Easy*

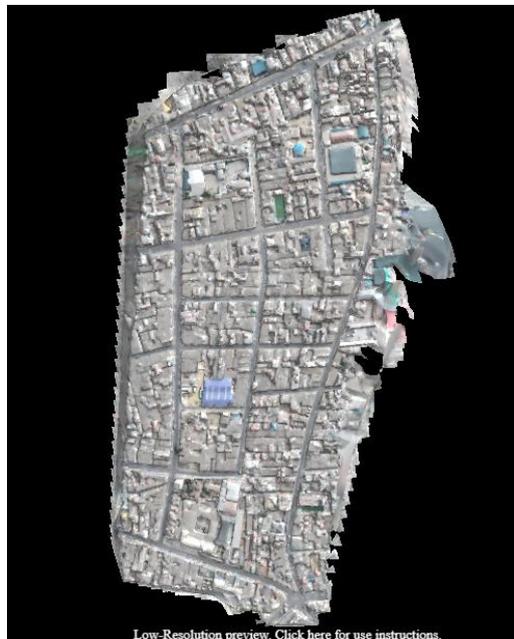


Figura 50: Vista general del área en línea  
Fuente: Elaboración propia en *Maps Made Easy*

b) Fase de recuperación o reconstrucción y gestión de residuos

En este punto se requiere una respuesta rápida y es importante compartir precedentes e información para avanzar en la recuperación y reconstrucción. La herramienta *ArcSurvey* permite recoger información a través de formularios web geolocalizados.

Es ideal para utilizarse en la planificación pre desastre, tener mapeado que viviendas son las más vulnerables, tanto por la infraestructura como por las personas que lo habitan, que pueden ser niños o personas de tercera edad. Como

menciona Muñoz (2020), el posicionamiento espacial de las personas especialmente desprotegidas es esencial para gestionar cómo llevar a cabo su asistencia. Saber dónde se localiza cada una de estas personas permite asignar mejor los recursos de ayuda y optimizar las rutas de asistencia que se tengan que llevar a cabo. La Figura 51 presenta la plataforma de *ArcSurvey*.

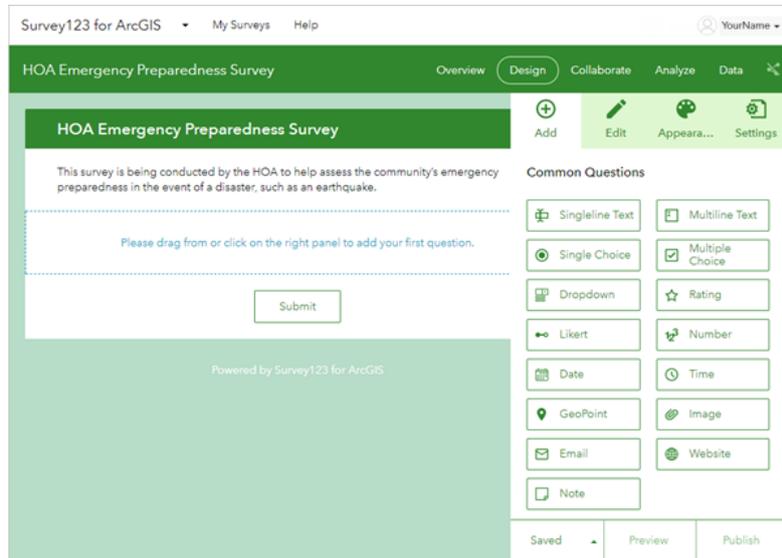


Figura 51: Entorno de plataforma *ArcSurvey*

Fuente: Web de *LearnArcGIS*

c) Selección y funcionamiento de los lugares de almacenamiento de residuos

Esta actividad también debe iniciarse rápidamente de acuerdo con la selección del método de tratamiento, es necesario examinar la disponibilidad de permisos del propietario, el uso de tierras abandonadas afectadas por el desastre, la accesibilidad y la viabilidad de equipos pesados y vehículos, y asegurar la disponibilidad de la cantidad mínima de implementos requeridos. Además, reconocer que se requiere gran espacio disponible para almacenar los desechos.

La EPA, ha considerado para este tipo de escenarios el uso de ArcGIS Online, una herramienta de mapeo interactivo que ha sido desarrollada para proporcionar información y ubicaciones de más de 20000 instalaciones incluidos compostadores, contratistas de demolición, estaciones de transferencia, vertederos, sitios de recolección de desechos domésticos peligrosos e instalaciones que reciclan materiales de construcción y demolición, electrónica, metales, neumáticos y vehículos, capaces de manejar diferentes materiales que pueden encontrarse en los escombros del desastre. La herramienta se creó en la región 5 de la EPA en 2010 y

se ha ampliado para incluir datos de los 50 estados, Puerto Rico y las Islas Vírgenes de EE. UU.

El uso de ArcGIS Online permite obtener nuevas perspectivas y detalles mejorados al interactuar con los datos y buscar en el mapa. En casos de respuesta ante una emergencia se hace indispensable para obtener data como la expuesta, sobre todo porque puede ser utilizada por expertos en respuesta a desastres, recuperación y planificación para promover la recuperación, el reciclaje y la eliminación segura de los escombros de desastres.

En la Figura 52 se observa la información que brinda el mapa desarrollado por EPA en la plataforma de ArcGIS Online. Para mayor detalle se puede revisar el siguiente link:

<https://epa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=2fec4eed18c140c8aa4bb0a74f207b65>

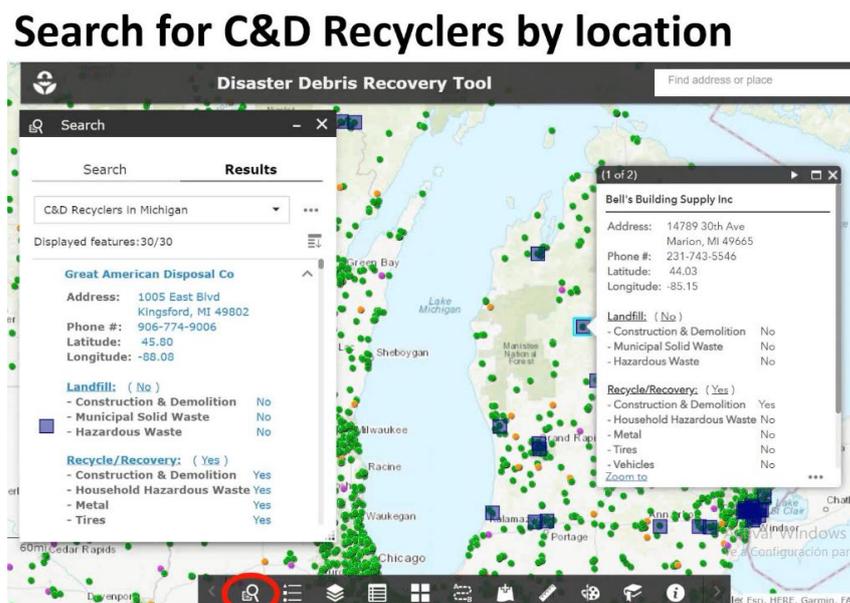


Figura 52: Herramienta de búsqueda de EPA  
Fuente: Web de EPA

### 5.13 Contrastación de hipótesis

- Hipótesis 1: Al identificar las características de edificaciones se logra registrar los tipos de materiales incorporados en los escombros a través de formatos de levantamiento de información.

Contrastación: La metodología de estimación de pérdidas en el stock de materiales de edificaciones propuesta por García (2016) indica que, como punto de partida, se

debe realizar la generación del inventario de edificaciones, básicamente con trabajo de campo, logrando de esta manera la identificación de las características de las edificaciones del área a estudiar. Se da por válida la hipótesis al alcanzar la finalidad siguiendo la metodología propuesta por la autora, además de complementarla con levantamiento fotogramétrico que permitió obtener imágenes de las viviendas en máxima resolución, a su vez se realizó el modelamiento 3D del área estudiada para caracterizar las viviendas de forma directa y actualizar el inventario ya existente del ICL.

- b) Hipótesis 2: Al establecer los diferentes escenarios sísmicos se logra calcular los desplazamientos laterales relativos de las edificaciones relacionados con el estado de daño.

Contrastación: Los escenarios sísmicos fueron establecidos bajo los criterios del análisis tiempo – historia de la norma sismorresistente peruana E. 030. Del mismo modo, los autores Palacios y Pérez (2015) toman como referencia un acelerograma de un sismo pasado ocurrido en el lugar del estudio para obtener escenarios de sismos escalados que cuenten con gran similitud. Por otro lado, los autores hallaron las derivas de la edificación analizada en cada escenario sísmico, obteniendo mayores desplazamientos relativos al aumentar la aceleración del sismo. Se da por válida la hipótesis al realizarse satisfactoriamente el escalamiento sísmico de siete escenarios sísmicos y seguidamente hacer el análisis de derivas de las tipologías del área de estudio de la presente investigación para cada escenario.

- c) Hipótesis 3: Al evaluar el daño a edificaciones debido a sismo se categoriza el estado de daño utilizando el manual técnico de HAZUS MH.

Contrastación: La evaluación del daño fue realizada por medio de la obtención de las derivas de entrepiso para las tipologías existentes en cada escenario sísmico y la relación de estos resultados con el cuadro de estados de daño del manual técnico de HAZUS MH. Esta metodología fue aplicada por los autores Palacios y Pérez (2015), siendo replicada de manera exitosa en la presente investigación, por lo que se da validez a la hipótesis. Los escenarios sísmicos, que fueron escalados cada 0.10 g, dan resultados de derivas los cuales fueron categorizados según el manual técnico de HAZUS, obteniéndose estados de daño ligero, moderado, extensivo y completo.

- d) Hipótesis 4: Al cuantificar y caracterizar los escombros generados en diferentes escenarios sísmicos se planifica la remoción y eliminación de escombros.

Contrastación: La metodología propuesta para cuantificar y caracterizar los escombros por García (2016) fue base en la investigación realizada por Mesta, Santa Cruz y Kahhat (2018) para su aplicación en la ciudad de Pisco, caso del sismo del año 2007. Los datos oficiales reportados por INDECI fueron alrededor de 1 000 000 m<sup>3</sup>, mientras que la aplicación de la metodología dio como resultado 1 196 000 m<sup>3</sup>, validando de esta forma la hipótesis. La correcta aplicación de la metodología ayudará de manera certera y precisa para la planificación de la remoción y eliminación de los escombros generados.

## DISCUSIÓN

En la investigación de García (2016) se seleccionó el sector residencial de Tacna en Perú como caso de estudio, con 58 328 viviendas, que caracterizó en 5 tipologías, necesitando reconocimiento de infraestructura in situ, registro técnico, datos de INEI y el uso de Google Street View (Google Maps, 2014). En el caso de la presente investigación se seleccionó un sector con 184 lotes de los cuales 177 son edificaciones de vivienda, ello con la finalidad de hacer un levantamiento de información más preciso que se pudo lograr utilizando herramientas geomáticas como Pix4D, en donde se ingresaron las fotografías obtenidas del vuelo fotogramétrico realizadas con dron. Esto permitió crear un modelo 3D de toda el área de estudio, de donde se puede extraer información sobre las características actualizadas de las edificaciones como número de pisos, materiales, área de techos, volumen, etc. La aplicación de este tipo de herramientas es sumamente importante para la automatización de procesos, ya que es más eficiente en el levantamiento de información en campo. Además, es más seguro, toma menos tiempo y la data registrada es actual.

Adicionalmente, se hace una estimación probabilística de daño mediante la caracterización de las funciones de vulnerabilidad, que relaciona el valor esperado del daño y la desviación estándar del daño con la intensidad sísmica utilizando la herramienta CAPRA-GIS, proceso que no se desarrolla en la presente tesis por la magnitud del área de estudio y la disposición de archivos como los de amenaza conteniendo los escenarios sísmicos (formato .ame), las funciones de vulnerabilidad (formato .fvu) y de efectos de sitio (formato .grd). El software CAPRA-GIS es mayormente utilizado para áreas extensas como ciudades, algo que no se aplicaba al caso de la presente investigación, por lo cual se optó por buscar otra manera de análisis que permitiese relacionar estados de daño en el manual técnico HAZUS MH. Se aplicó un análisis tiempo historia, que permite obtener los desplazamientos relativos de las estructuras, con los que posteriormente se relacionan estados de daño. Este método tiene como limitación el análisis de la estructura dentro del rango lineal, ya que las estructuras tienen un comportamiento no lineal y los resultados obtenidos serían mucho más precisos. El análisis no lineal implica desarrollar una investigación netamente estructural, la cual demanda mucho más tiempo del otorgado por el programa de titulación además de que la investigación es desarrollada para la implementación de un plan de gestión de escombros y no de análisis estructural.

Por otro lado, Mesta (2018) realiza una estimación probabilista de escombros después de un evento sísmico para la ciudad de Pisco en Perú, el autor aplica la metodología desarrollada por García (2016) añadiendo mejoras significativas en el análisis de la cuantificación del stock de materiales. La cantidad de escombros estimados para el escenario estudiado 7.9 Mw es 747 000 toneladas, el autor hace una conversión de toneladas a volúmenes empleando un factor de 1.6 el cual se encuentra dentro del rango (1.53 - 3.06) recomendado por FEMA, obteniendo un volumen de 1 196 000 m<sup>3</sup>, cifra aproximada al volumen de escombros que se generó en el sismo del año 2007, sin embargo el uso de este factor tiene mucha variabilidad puesto que si se eligiese un factor mayor el volumen aumentaría considerablemente. Para efectos de esta investigación se revisaron diferentes bibliografías y se consideraron opiniones de expertos, logrando proponer un factor de esponjamiento de 1.8, el cual se multiplica a los volúmenes de pérdidas ya calculados. El volumen esponjado que se deberá remover y eliminar es de 6 931.29 m<sup>3</sup>, 34 901.41 m<sup>3</sup>, 61 896.21 m<sup>3</sup>, 124 339.41 m<sup>3</sup> para los escenarios 0.10 g, 0.20 g, 0.30 g y 0.60 g respectivamente. Adicionalmente, si se considera que las tipologías que sufren daños extensivos con pérdidas de materiales mayor al 50 % tendrían pérdidas completas, los volúmenes que aumentarían son los de los escenarios 0.30 g y 0.60 g, con volúmenes de 92 795.23 m<sup>3</sup> y 153 644.99 m<sup>3</sup> respectivamente.

## CONCLUSIONES

1. La gestión de escombros producidos por colapso de edificaciones conlleva la aplicación de metodologías para caracterizar y cuantificar el stock de materiales de las edificaciones y pronosticar las pérdidas materiales producidas como consecuencia de posibles eventos sísmicos, al tener grandes cantidades de escombros en una emergencia donde se tiene además una interrupción importante en el área afectada, se reconoce la necesidad de implementar estrategias apropiadas para el manejo de escombros. En el presente trabajo de investigación se aplica la metodología desarrollada por García (2016), logrando obtener cantidades de volumen que deberán ser removidos y eliminados, además de propuestas de evacuación e identificación de rellenos sanitarios y lugares de disposición autorizados para estos escombros.
2. La aplicación de herramientas geomáticas permite ejecutar levantamientos de información de manera más eficiente y automatizada, es así como a través de un vuelo fotogramétrico se actualizó la información existente sobre las características de edificaciones, entre ellas: material de construcción predominante, número de pisos, antigüedad, estado de conservación y tipo de uso. De esta manera, se pueden establecer tipologías características existentes. El área de estudio cuenta con 177 lotes de tipo vivienda, entre los cuales el 38.98 % son edificaciones de adobe de 1 piso, 16.38 % de adobe 2 pisos, 6.78 % de albañilería de 1 piso, 19.21 % de albañilería de 2 pisos, 15.25 % de albañilería de 3 pisos y 3.39 % de albañilería 4 pisos. Tal y como se aprecia en los porcentajes descritos, el material predominante en la zona de estudio es el adobe.
3. El cálculo de desplazamientos relativos de las seis tipologías establecidas se realiza con el método de análisis dinámico tiempo - historia lineal en el software de cálculo estructural, el cual permite obtener derivas para diferentes escenarios sísmicos. Entre los resultados obtenidos se muestra que las edificaciones de adobe 1 piso, albañilería 3 pisos y albañilería 4 pisos son las que tienen las mayores derivas en el escenario de 0.60 g con 0.013, 0.013 y 0.016 respectivamente. Cabe recalcar que el método empleado a partir del escenario 0.30 g puede generar resultados con cierta incertidumbre debido a que no se considera el comportamiento no lineal de la estructura, el cual implica el desarrollo de la curva de capacidad de esta.

4. Con el cálculo de las derivas de cada tipología se logra categorizar el estado de daño en ligero, moderado, extensivo y completo, haciendo uso del cuadro adaptado del manual técnico de HAZUS MH, por consiguiente, haciendo posible la estimación de pérdidas de materiales en el stock de materiales de las edificaciones del área de estudio.
  
5. El análisis detallado de las características de edificaciones y la medición en campo permitió realizar un metrado completo de cada componente estructural de la vivienda. Con esto, se define los siguientes materiales: adobe, barro, madera, concreto simple, concreto armado, ladrillo de techo y ladrillo de muro. Los tres primeros en viviendas de adobe y los tres últimos en viviendas de albañilería. El concreto simple es considerado en el sobrecimiento de ambos tipos de viviendas. De esta manera se calculan ratios de  $\text{kg}/\text{m}^2$  y  $\text{m}^3/\text{m}^2$ , obteniendo la cuantificación por tipo de material en cada lote. El material predominante en el área de estudio fue el adobe con 54 643 toneladas, seguido por el ladrillo con 23 295 toneladas y el concreto armado con 22 624 toneladas. Posteriormente, los resultados de las pérdidas materiales predicen la generación de volúmenes de escombros 6931.29, 34901.41, 92795.23, 153644.99 de metros cúbicos para los escenarios sísmicos de 0.10 g, 0.20 g, 0.30 g y 0.60 g respectivamente, y los resultados son reflejados en diferentes mapas temáticos que permiten visualizar las zonas más afectadas lo que ayuda a priorizar las áreas de recuperación y la identificación de rutas de evacuación.

## RECOMENDACIONES

1. Involucrar a las universidades, instituciones públicas como municipalidades, organismos integrantes al Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y empresas de transporte de residuos de construcción y demolición para proponer consideraciones necesarias a implementar en un plan de gestión de escombros posterior a un evento sísmico o cualquier situación de emergencia.
2. Barrios Altos cuenta con gran presencia de quintas en sus lotes, en esta investigación se clasificó a los lotes como tipologías de vivienda, siguiendo la lotización establecida por el ICL, en este punto se pueden desarrollar mejoras en la lotización considerando el panorama actual, el cual es la existencia de gran cantidad de viviendas en un solo lote. Esta información puede ser obtenida con un levantamiento fotogramétrico de alta calidad que permita visualizar y diferenciar las características de las viviendas.
3. Las estructuras cuentan con un comportamiento elástico (lineal) e inelástico (no lineal). El rango lineal indica la capacidad de la estructura a regresar a su estado inicial tras el cese de aplicación de una carga externa, mientras que el rango inelástico se va deformando hasta llegar a un punto en el cual no es posible la recuperación. La realización de un análisis no lineal implica un conocimiento del comportamiento estructural más complejo y preciso ya que las edificaciones realmente tienen un comportamiento inelástico. Por lo tanto, una evaluación íntegra de las estructuras en el cual se relacione con mayor precisión los estados de daño y los desplazamientos relativos laterales amerita un análisis no lineal.
4. Realizar ensayos de respuestas ante diferentes escenarios sísmicos a estructuras características en Perú, obteniendo estados de daños según tipologías. Esta investigación utiliza la adaptación del manual técnico de HAZUS, debido a que la información del contenido corresponde a la realidad de Estados Unidos, que no es necesariamente la misma en Perú.
5. Ampliar el estudio en considerar las pérdidas de equipos, mobiliarios e instalaciones en caso de sismo, ya que son elementos que suman en volumen a la generación de escombros.

6. Aplicar la metodología utilizada en esta investigación a un nivel macro, ya que es aplicable a regiones de todo el mundo con eventos sísmicos frecuentes y una variedad de tipos de vivienda. Contar con un plan de respuesta ante la generación de escombros después de un sismo es sumamente importante, aún más si se toma en cuenta que actualmente las escombreras en Lima no se dan abasto para los residuos de construcción y demolición generados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, A. (2012). Criterios sismológicos para seleccionar acelerogramas reales de la red nacional de acelerógrafos de Colombia para su uso en análisis dinámicos. *Revista EIA*, 9(17), 57-70. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n17/n17a06.pdf>
- Alva, J. y Castillo, J. (1993). Peligro sísmico en el Perú. *VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de [http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis15\\_a.pdf](http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis15_a.pdf)
- Álvarez, A. y Mendoza, F. (2016). Renovación urbana y Centro Histórico de Lima: Reflexiones sobre aspectos técnicos en la reconfiguración morfológica de las manzanas 6007 y 6016 de Barrios Altos. *Devenir*, 3(5), 67-89. Recuperado de <https://cutt.ly/JEXVymm>
- Arce, L., Tapia, E. (2014). *Planteamiento de un manual para la gestión de los residuos de construcción y demolición en edificaciones urbanas*. (tesis de pregrado). Universidad San Martín de Porres, Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12727/1161>
- Asari, M., Sakai, S. I., Yoshioka, T., Tojo, Y., Tasaki, T., Takigami, H., & Watanabe, K. (2013). Strategy for separation and treatment of disaster waste: a manual for earthquake and tsunami disaster waste management in Japan. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15(3), 290-299. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10163-013-0154-5.pdf>
- Askarizadeh, L., Karbassi, A. R., Ghalibaf, M. B., & Nouri, J. (2017). Debris management after earthquake incidence in ancient City of Ray. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 3(4), 447. Recuperado de [https://www.gjesm.net/journals.modares.ac.ir/article\\_25212\\_92283b92653a7e334987cc13e01ca40c.pdf](https://www.gjesm.net/journals.modares.ac.ir/article_25212_92283b92653a7e334987cc13e01ca40c.pdf)
- Bambarén, C. y Alatrística, M. (2009). Estimación del impacto socioeconómico del terremoto en Pisco en el sector salud peruano. *Revista Médica Herediana*, 20(2), 177-184. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rmh/v20n2/v20n2ao5.pdf>

- Barbat, A. (1998). *El riesgo sísmico en el diseño de edificios*. Madrid, España: Calidad Siderúrgica.
- Bonett, R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. (tesis doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España. Recuperado de <https://www.tdx.cat/handle/10803/6230?show=full>
- Booth, B. y Mitchell, A. (2001). *Getting started with ArcGIS*. Recuperado de <https://www.amazon.com/Getting-Started-Arcgis-Bob-Booth/dp/1879102935>
- Burgos, D. (2010). *Guía para la gestión y tratamiento de residuos y desperdicios de proyectos de construcción y demolición*. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcib957g/doc/bmfcib957g.pdf>
- Carbajal, M. (2018). *Situación de la gestión y manejo de los residuos sólidos de las actividades de construcción civil del sector vivienda en la ciudad de Lima y Callao*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3215/carbajal-silva-marcia-andrea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención. y Reducción del Riesgo de Desastres. (2017). *Manual para la evaluación del riesgo por sismos*. Recuperado de [https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia\\_Manuales/MANUAL%20DE%20SISMOS.pdf](https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/MANUAL%20DE%20SISMOS.pdf)
- Congreso de Colombia. (2012). *Ley N° 1523*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.ifrc.org/docs/idrl/1057ES.pdf>
- Congreso de la República. (2000). *Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos*. Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/legislacion/Ley%2027314%20Ley%20General%20de%20Residuos%20S%C3%83%C2%B3lidos.pdf>

- Congreso de la República. (2011). *Ley N° 29664*. Lima, Perú. Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-que-crea-el-sistema-nacional-de-gestion-del-riesgo-de-de-ley-n-29664-605077-1/>
- Cooperazione Internazionale. (2010). *Análisis de vulnerabilidad ante sismos del Centro Histórico de Lima*. Lima, Perú. Recuperado de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Analisis%20de%20Vulnerabilidad%20antes%20sismos%20del%20Centro%20Historico%20Lima%20COOPI.pdf>
- Delgado, G. y Rubiños, S. (2014). *Estimación de riesgo sísmico de estaciones de bombero de Lima Metropolitana y Callao mediante observaciones de campo y análisis de escenarios importantes*. (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Recuperado de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/635417/Delgado\\_PG.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/635417/Delgado_PG.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- EERI. (1984). EERI Committee on Seismic Risk: Glossary terms for probabilistic seismic risk and hazard analysis. *Earthquake Spectra* 1, 33-40.
- Federal Emergency Management Agency. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model, HAZUS MH MR4, Technical Manual*. Washington, D.C., United States of America. Recuperado de [http://www.civil.ist.utl.pt/~mlopes/conteudos/DamageStates/hazus\\_mr4\\_earthquake\\_tech\\_manual.pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/~mlopes/conteudos/DamageStates/hazus_mr4_earthquake_tech_manual.pdf)
- Ferradas, P. (2015). *La memoria es también porvenir. Historia mundial de los desastres*. Lima, Perú. Recuperado de <http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/2150/1/144165620158420748%20%283%29.pdf>
- García S., Kahhat, R. y Santa S., (2016). Methodology to characterize and quantify debris generation in residential buildings after seismic events. *Resources, conservation and Recycling*, 117, 151–159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.006>

- García, S. (2016). *Development of a methodology to characterize and quantify debris generation after a seismic event: a case study of Tacna, Perú* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7056>
- Genner Villarreal Castro. (2 de agosto de 2020). *Análisis dinámico tiempo – historia* [archivo de video]. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=Vib0mdG2k28&ab\\_channel=GennerVillarrealCastro](https://www.youtube.com/watch?v=Vib0mdG2k28&ab_channel=GennerVillarrealCastro)
- Giesecke, A. y Silgado, E. (1981). *Terremotos en el Perú*. Rikchay Perú.
- Hirayama, N., Shimaoka, T., Fujiwara, T., Okayama, T. y Kawata, Y., (2010). Establishment of disaster debris management based on quantitative estimation using natural hazard maps. *Fifth International Conference on Waste Management and the Environment*, 12–14. doi: 10.2495/WM100161
- Instituto Geofísico del Perú (2014). *Re – evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú*. Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/783>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2009). *Lecciones aprendidas del sur. Sismo de Pisco, 15 de agosto 2007*. Lima, Perú. Recuperado de <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1259/doc1259-contenido.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2011). *Estudio SIRAD. Recursos de respuesta inmediata y de recuperación temprana ante la ocurrencia de un sismo y/o tsunami en Lima Metropolitana y Callao*. Lima, Perú. Recuperado de [http://sirad.indeci.gob.pe/static/SIRAD\\_Publicacion\\_ES.pdf](http://sirad.indeci.gob.pe/static/SIRAD_Publicacion_ES.pdf)
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2012). *La gestión del riesgo de desastres en el Perú, documento país Perú 2012*. Lima, Perú. Recuperado de <http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/2159/1/197-peru-la-gestion-del-riesgo-de-desastres-en-el-peru-documento-pais-2012.pdf>
- ISDR. (2004). Priority areas to implement disaster risk reduction: Terminology: Basic terms of disaster risk reduction. Recuperado de <http://www.unisdr.org/wcdr/dialogue/terminology.html>

- Karunasena, G., Amaratunga, D., & Haigh, R. (2012). Post-disaster construction & demolition debris management: a Sri Lanka case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(4), 457-468. Recuperado de <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.699913>
- Khan, S. y Mohiuddin, K. (2018). *Evaluating the parameters of ArcGIS and QGIS for GIS Applications. Int. J. Adv. Res. Sci. Eng*, 7, 582-594. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/330601009\\_Evaluating\\_the\\_parameters\\_of\\_ArcGIS\\_and\\_QGIS\\_for\\_GIS\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/330601009_Evaluating_the_parameters_of_ArcGIS_and_QGIS_for_GIS_Applications)
- Mesta, C. (2007). *Estimación de pérdidas en el stock de materiales de las edificaciones después de un terremoto. Caso de estudio: Ciudad de Chiclayo, Perú.* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. Recuperado de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8501>
- Mesta, C., Santa Cruz, S. y Kahhat, R. (2018). Estimación probabilista de escombros después de un evento sísmico utilizando la metodología PBEE. Caso de estudio: Ciudad de Pisco, Perú. *XXXVIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural Lima 2018*. Colegio de Ingenieros del Perú, Lima, Perú.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Gestión del riesgo de desastres*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-del-riesgo-de-desastres>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2003). *Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental*. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/gua44629.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). *Decreto Supremo N° 003 – 2013 – VIVIENDA. Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de la Actividades de la Construcción y Demolición*. Recuperado de [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/5\\_%20DECRETO%20SUPREMO%20N%C3%82%C2%BA%20003-2013-VIVIENDA.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/5_%20DECRETO%20SUPREMO%20N%C3%82%C2%BA%20003-2013-VIVIENDA.pdf)

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Decreto Supremo N° 019 – 2016 – VIVENDA*. Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/download/full/DIq68URkqv39YIMQp3JNza>
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N° 014 – 2017 – MINAM. Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Recuperado de [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds\\_014-2017-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf)
- Morales - Soto, N. y Zavala, C. (2008). *Terremotos en el litoral central del Perú. ¿Podría ser Lima el escenario de un futuro desastre?* Lima, Perú. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n2/a11v25n2.pdf>
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (1994). *Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre 2019 -2022*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.munlima.gob.pe/images/plan-de-prevencion-y-reduccion-del-riesgo-de-desastres.pdf>
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (1994). *Reglamento de la administración de Centro Histórico de Lima, Ordenanza N° 062*. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.ipdu.pe/legislacion/ordenanza/062.pdf>
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (1998). *Plan Maestro Centro de Lima, Ordenanza N° 201*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.munlima.gob.pe/images/descargas/programas/prolima/compendio-de-normas/1998-Ord-201-Plan-Maestro-Cercado-Lima.pdf>
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (2014). *Plan Maestro del Centro Histórico de Lima al 2025*. Lima, Perú. Recuperado de [https://www.academia.edu/32980408/PLAN\\_MAESTRO\\_DEL\\_CENTRO\\_HISTORICO\\_DE\\_LIMA\\_AL\\_2025](https://www.academia.edu/32980408/PLAN_MAESTRO_DEL_CENTRO_HISTORICO_DE_LIMA_AL_2025)
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (2015). *Plan distrital de seguridad ciudadana del Cercado de Lima*. Recuperado de <https://www.munlima.gob.pe/images/codisec/codisec.pdf>

- Municipalidad Metropolitana de Lima. (2019). *Plan de Prevención y Reducción del Riesgo del Desastre del Cercado de Lima 2021 – 2023*. Lima, Perú. Recuperado de [https://www.munlima.gob.pe/images/PPRRD\\_de\\_Cercado\\_de\\_Limavf.pdf](https://www.munlima.gob.pe/images/PPRRD_de_Cercado_de_Limavf.pdf)
- Muñoz, D. (1989). Conceptos básicos en riesgo sísmico. *Física de la Tierra, 1*, 199-215. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=905617>
- Nava, A. (1987). *Terremotos*. Recuperado de <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2629/3/ebiblio17933.pdf>
- Neyra, N. (2018). *Lecciones aprendidas del fondo de reconstrucción del sur -Forsur 2007*. Lima, Perú. Recuperado de [https://www.cies.org.pe/sites/default/files/files/otrasinvestigaciones/archivos/libro\\_lecciones\\_aprendidas\\_del\\_forsur\\_2007.pdf](https://www.cies.org.pe/sites/default/files/files/otrasinvestigaciones/archivos/libro_lecciones_aprendidas_del_forsur_2007.pdf)
- Núñez Palacios, A. B. (2018). *Diseño por desempeño de un edificio de hormigón armado utilizando el método de análisis tiempo-historia* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27236/1/Tesis%201219%20-%20N%c3%ba%c3%b1ez%20Palacios%20Alba%20Beatriz.pdf>
- Ocola, L. (2005). *Peligro, vulnerabilidad, riesgo y la posibilidad de desastres sísmicos en el Perú*. Recuperado de <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/view/555/566>
- Palacios, H. y Pérez, K. (2015). *Implementación de bases geoespaciales para la vulnerabilidad sísmica de edificios de concreto armado*. (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Recuperado de [http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2225/palacios\\_hja-perez\\_kj.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2225/palacios_hja-perez_kj.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Poudel, R., Hirai, Y., Asari, M., & Sakai, S. I. (2019). Field study of disaster waste management and disposal status of debris after Gorkha Earthquake in Kathmandu, Nepal. *Journal of Material Cycles and Waste Management, 21*(4), 753-765. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-019-00835-3>

- Rafee, N., Karbassi, A.R., Nouri, J., Safari, E. y Mehrdadi, M., (2008). Strategic management of municipal debris aftermath of an earthquake. *Int. J. Environ. Res.* 2(2), 205 – 214. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/27794384\\_Strategic\\_Management\\_of\\_Municipal\\_Debris\\_aftermath\\_of\\_an\\_earthquake](https://www.researchgate.net/publication/27794384_Strategic_Management_of_Municipal_Debris_aftermath_of_an_earthquake)
- Safina, S. (2002). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/93538>
- Sandi, S. (2013). Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems. *Report of the working group of European association for earthquake engineering. Proceedings of the 8<sup>th</sup> ECEE*. Lisboa, Portugal.
- Santa Cruz, S. (2015). *Formulación para el cálculo de pérdidas probables. Curso de Análisis de Riesgo Sísmico, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú*. Lima, Perú. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/477890532/Manual-CAPRA-GIS>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). *Resolución 2397 de 2011*. Recuperado de <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/RESOLUCIÓN+2397+DE+2011.pdf>
- SENCICO. (2020). *Norma E. 030 Diseño sismorresistente*. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/1W14N6JldWPN8wUZSqWZnUphg6C559bi-/view>
- SENCICO. (2020). *Norma E. 060 Concreto armado*. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/19EYUVMgwvm6rDs47GV374avco2ylU5Kz/view>
- SENCICO. (2020). *Norma E. 070 Albañilería*. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/15N2ZQwZGegdoui4rrjTR6uq5blTu7uyv/view>
- SENCICO. (2020). *Norma E. 080 Diseño y construcción con tierra reforzada*. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/1EgYXMNijXNQOjbSMotmDzXeupEgfnScb/view>

- Shimabukuro, A. (2015). Barrios Altos: caracterización de un conjunto de barrios tradicionales en el marco del Centro Histórico de Lima. *Revista de Arquitectura*, 17(1), 6-17. doi: 10.14718/RevArq.2015.17.1.2
- Silgado, E. (1975). *Magnitud, frecuencia, período de retorno de terremotos y riesgos sísmicos en la costa del Perú entre 9° y 13° de latitud sur*. Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima.
- Tanikawa, H., Managi, S. y Lwin, C. (2014). Estimates of lost material stock of buildings and roads due to the Great East Japan Earthquake and tsunami. *J. Ind. Ecol.* 18 (3), 421–431. doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.12126>
- Tavera, H. (2001). *Peligro sísmico en Lima y el país*. Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/832>
- Tavera, H. y Heras, H. (2002). Localización de áreas probables a ser afectadas por grandes sismos en el borde oeste de Perú: Estimación a partir de periodos de retorno local basado en la distribución de valores de “b”. *Bol Soc Geol Perú.* 93, 63-71.
- Wade, T. y Sommer, S. (2015). *Sig de la a a la z: Diccionario ilustrado de los sistemas de información geográfica*. Recuperado de <https://www.proquest.com>

## ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES		METODOLOGÍA		
			VARIABLES	INDICADORES			
<p><b>Problema General:</b> ¿De qué manera se gestionan los escombros producidos por el colapso de edificaciones en caso de sismo en el Centro Histórico de Lima para el año 2021?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b> a) ¿Cómo se identifican las características de edificaciones? b) ¿Cómo se planifican los sismos según el grado de magnitud y nivel de colapso? c) ¿De qué manera se registra el daño a edificaciones debido a sismo? d) ¿Cómo se ejecuta la metodología de análisis de flujo de materiales? e) ¿Cómo se controlan los escombros generados?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Gestionar los escombros producidos por el colapso de edificaciones en caso de sismo en el Centro Histórico de Lima para el año 2021.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b> a) Identificar las características de edificaciones para registrar los tipos de materiales incorporados en los escombros a través de Google Street View y formatos de levantamiento de información. b) Planificar los sismos según el grado de magnitud y nivel de colapso para elaborar medidas de acción utilizando Capra – Gis. c) Registrar el nivel de daño a edificaciones debido a sismo para categorizar el nivel de daño a través de mapas temáticos utilizando ArcGIS. d) Ejecutar la metodología de análisis de flujo de materiales para la caracterización y cuantificación de escombros generados utilizando STAN. e) Controlar los escombros generados para disponerlos de manera adecuada y analizar la posibilidad de reciclaje a través de mapas temáticos.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> Al gestionar los escombros producidos por el colapso de edificaciones en caso de sismo se mejora la planificación de la disposición adecuada y posible reaprovechamiento de los escombros.</p> <p><b>Hipótesis Específicos:</b> a) Al identificar las características de edificaciones se logra registrar los tipos de materiales incorporados en los escombros a través de formatos de levantamiento de información. b) Al planificar los sismos según el grado de magnitud y nivel de colapso se elaboran medidas de acción. c) Al registrar el daño a edificaciones debido a sismo se categoriza el nivel de daño a través de mapas temáticos utilizando ArcGIS. d) Al ejecutar la metodología análisis de flujo de materiales se caracteriza y cuantifica los escombros generados utilizando STAN. e) Al controlar los escombros generados se disponen de manera adecuada y se analiza la posibilidad de reciclaje a través de mapas temáticos.</p>	<p>V.I Colapso de edificaciones en caso de sismo.</p>	<p>Características de edificaciones</p> <p>Características de sismo</p> <p>Colapso de edificaciones</p> <p>Cuantificación y caracterización de escombros</p> <p>Disposición y reciclaje de escombros</p>	<p>V.D Plan de gestión de escombros</p>	<p>Identificación</p> <p>Planificación</p> <p>Organización</p> <p>Ejecución</p> <p>Control</p>	<p>La presente investigación emplea un método deductivo, porque reconoce e identifica las variables de estudio, plantea las hipótesis para cada uno de sus objetivos, operacionaliza las variables y propone una solución al problema de la investigación. Es de tipo descriptivo, explicativo y correlacional. Es de nivel descriptivo. Es de diseño observacional, transversal, prospectivo y de cohorte.</p>

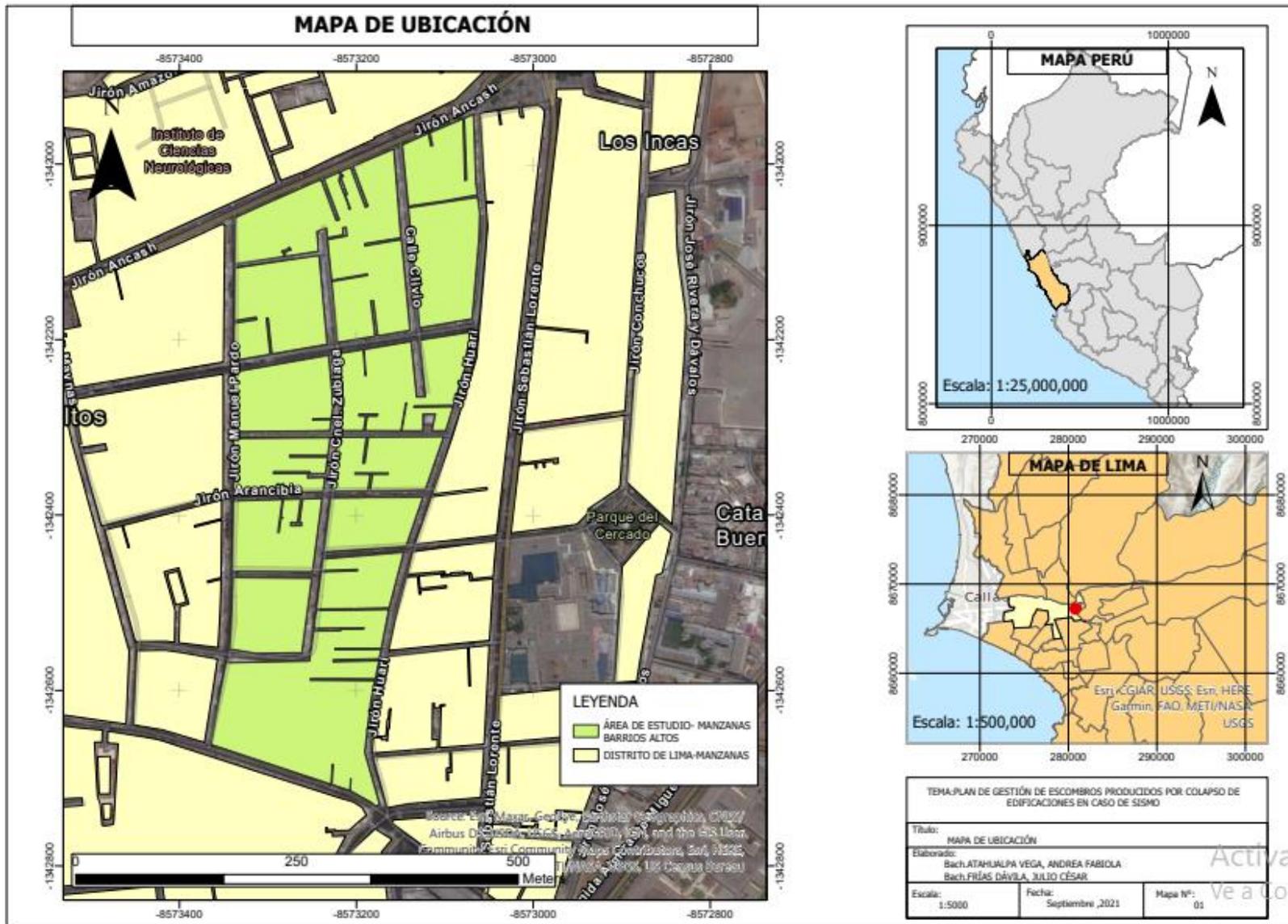
Anexo 2. Áreas potenciales como escombreras según el estudio SIRAD

Nombre	Dirección	Distrito	Condición	Tenencia	Dueño	Estado actual	Uso 1	Uso 2	Estado de vía	Cubierta de vía	Accesibilidad	Dirección del viento	Impacto ambiental	Aptitud global	Escombros a recibir
S/N	Carretera a Cieneguilla km 13.5	Cieneguilla	Informal	Privado	No Identificado	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Botadero	Bueno	Asfalto	Buena	Este	Intermedio	Posible	Escombros limpios
S/N	Carretera a Cieneguilla km 13	Cieneguilla	Informal	Privado	No Identificado	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Botadero	Bueno	Asfalto	Buena	Este	Intermedio	Posible	Escombros limpios
Cantera Coronel	Cl. Los Sauces S/N	Lurigancho	Informal	Privado	VEGSA	Uso	Cantera	Cantera	Bueno	Asfalto	Regular	Norte	Bajo	Posible	Escombros limpios
Cantera Portillo - Carapongo	Cl. Los Sauces S/N	Lurigancho	Informal	Privado	Firth Industries	Uso	Cantera	Cantera	Bueno	Asfalto	Regular	Norte	Bajo	Recomendable	Escombros limpios
Cantera Jicamarca	Av. Chosica S/N	Lurigancho	Informal	Privado	UNICON	Uso	Cantera	Cantera	Regular	Afirmado	Difícil	Noroeste	Bajo	Posible	Escombros limpios
Playa Agua Dulce	Av. Costa Verde s/n	Chorrillos	Potencial	Público	Municipalidad de Chorrillos	Uso	Otro	Parqueo vehicular	Bueno	Asfalto	Muy buena	Noroeste	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
S/N	Av. Alameda Sur espalda del Club Cultural Lima	Chorrillos	Autorizado	Público	Municipalidad de Chorrillos	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Acopio de desmonte	Bueno	Asfalto	Regular	Norte	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
Playa Marbella	Av. Costa Verde s/n	San Isidro	Autorizado	Público	Municipalidad de San Isidro	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Relleno sanitario	Bueno	Asfalto	Muy buena	Noroeste	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
S/N	Av. Costa Verde s/n	Magdalena	Potencial	Público	Municipalidad de Magdalena	Uso	Otro	Alameda	Bueno	Asfalto	Muy buena	Noroeste	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
S/N	Av. Costa Verde s/n	San Miguel	Potencial	Público	Municipalidad San Miguel	Abandono	Otro	Descampado	Bueno	Asfalto	Muy buena	Noroeste	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
S/N	Av. Costa Verde s/n	Miraflores	Potencial	Público	Municipalidad de Miraflores	Uso	Terreno deportivo	Lozas deportivas	Bueno	Asfalto	Buena	Noroeste	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
Relleno Sanitario Modelo Casren	Av. Chillón s/n	Ventanilla	Autorizado	Privado	Petramás	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Relleno sanitario	Bueno	Asfalto	Buena	Suroeste	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
s/n	Carretera Variante Pasamayo	Ancón	Potencial	Público	Ministerio de Defensa	Abandono	Ninguno	En abandono	Bueno	Asfalto	Regular	Noroeste	Bajo	Recomendable	Escombros limpios o sucios
Relleno Sanitario de Casren	Carretera Variante Pasamayo	Ancón	Autorizado	Privado	Petramás	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Relleno sanitario	Bueno	Asfalto	Buena	Noroeste	Bajo	Recomendable	Escombros limpios o sucios
Relleno Sanitario El Zapallal	Av. Industrias Unidas Manzana B	Carabayllo	Autorizado	Público	Municipalidad de Lima	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Relleno sanitario	Regular	Asfalto	Regular	Noroeste	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios o sucios
Cantera Vasconia	Av. Huarangal s/n	Carabayllo	Potencial	Público	Municipalidad Carabayllo	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Botadero	Regular	Asfalto	Regular	Noroeste	Bajo	Recomendable	Escombros limpios
Relleno Sanitario Huaycoloro	Av. Chosica s/n	Lurigancho	Autorizado	Privado	Petramás	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Relleno sanitario	Regular	Afirmado	Difícil	Suroeste	Bajo	Recomendable	Escombros limpios o sucios
Relleno Sanitario	Quebrada Pucará	Lurín	Autorizado	Público	Municipalidad de Lima	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Relleno sanitario	Regular	Afirmado	Difícil	Suroeste	Bajo	Recomendable	Escombros limpios o sucios

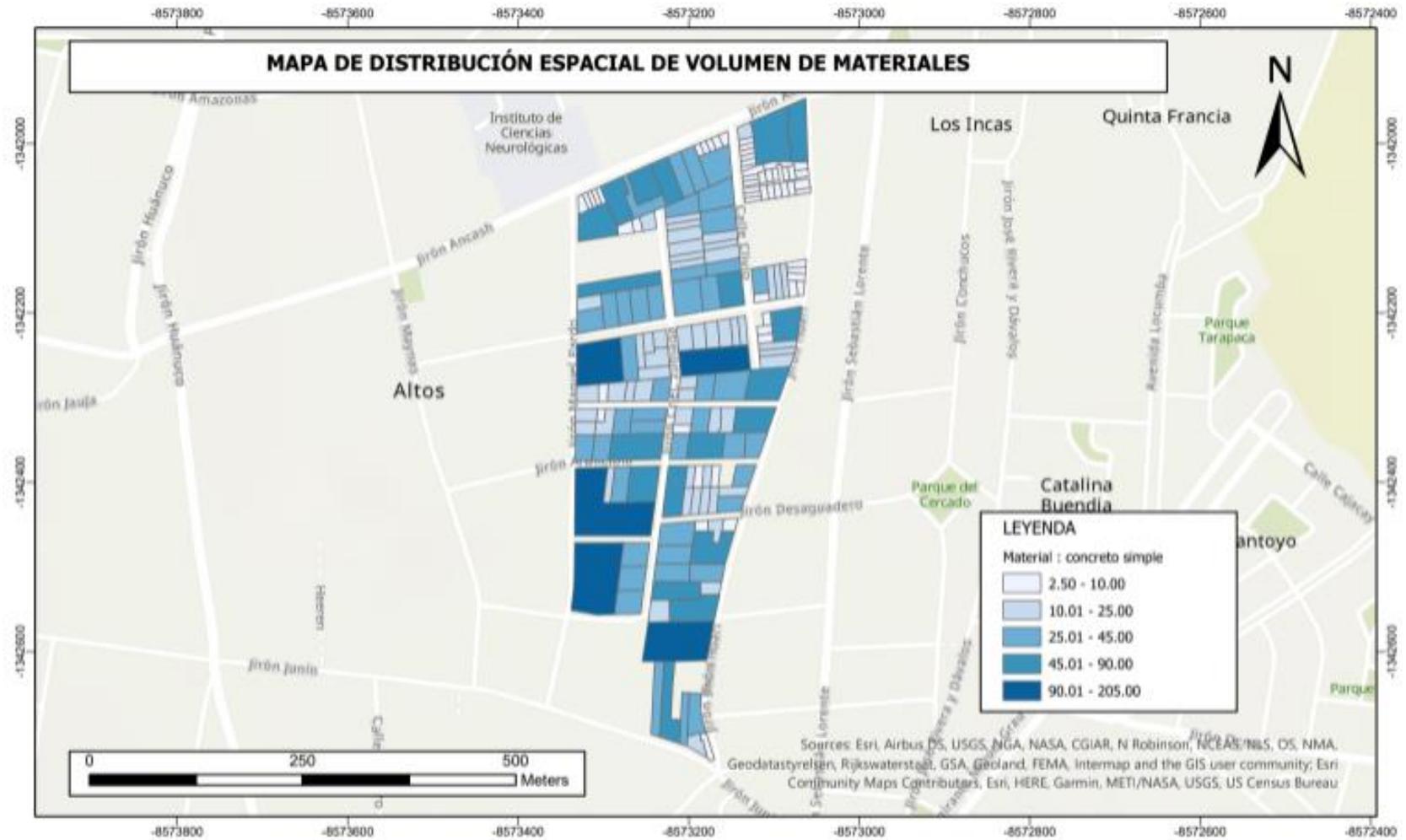
Portillo Grande															
Comunidad campesina de Acucuya	Ingreso a Sedapal	Lurín	Potencial	Privado	Asoc. Sumac Pacha	Abandono	Ninguno	Ninguno	Bueno	Asfalto	Regular	Suroeste	Relativamente bajo	Posible	Escombros limpios o sucios
S/N	Ingreso a Sedapal	Lurín	Informal	Privado	No Identificado	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Acopio de desmonte	Bueno	Asfalto	Regular	Sur	Intermedio	Posible	Escombros limpios o sucios
S/N	Av. Los Eucaliptos ingreso a 1 km del intercambio entre la Antigua y Nueva Pan. Sur	Lurín	Potencial	Privado	No Identificado	Uso	Área de cultivo o vivero avícola	Vivero avícola	Regular	Afirmado	Regular	Norte	Relativamente bajo	Posible	Escombros limpios
S/N	Av. Los Eucaliptos ingreso a 1 km del intercambio entre la Antigua y Nueva Pan. Sur	Lurín	Potencial	Privado	No Identificado	Abandono	Ninguno	Ninguno	Regular	Afirmado	Difícil	Noroeste	Bajo	Posible	Escombros limpios
Cantera Pucará	Av. Mártir Olaya Antigua Panamericana Sur	Lurín	Potencial	Privado	Cementos Lima	Uso	Cantera	Cantera extracción de piedra caliza	Bueno	Afirmado	Difícil	Noroeste	Relativamente bajo	Posible	Escombros limpios o sucios
S/N	Panamericana sur km 55 sentido sur	Pucusana	Potencial	Público	Ejército del Perú	Abandono	Ninguno	Ninguno	Bueno	Asfalto	Buena	Norte	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
S/N	500m antes del ingreso a Naplo	Pucusana	Potencial	Público	No Identificado	Abandono	Ninguno	Ninguno	Bueno	Asfalto	Regular	Sur	Relativamente bajo	Posible	Escombros limpios o sucios
Base FAP	Frente al C.E. Manuel Calvo	Pucusana	Potencial	Público	Fuerza Aérea del Perú	Abandono	Ninguno	Ninguno	Bueno	Asfalto	Regular	Sur	Relativamente bajo	Posible	Escombros limpios o sucios
S/N	Panamericana Sur km 45 (Peaje)	Punta Negra	Potencial	Privado	No Identificado	Uso	Área de cultivo o vivero avícola	Vivero avícola	Bueno	Asfalto	Buena	Noroeste	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
S/N	Panamericana Sur km 42	Punta Negra	Potencial	Privado	No Identificado	Abandono	Ninguno	Ninguno	Bueno	Asfalto	Buena	Sur	Intermedio	Recomendable	Escombros limpios
S/N	Antigua Panamericana Sur km 46	Punta Negra	Informal	Privado	No Identificado	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Acopio de desmonte	Bueno	Asfalto	Buena	Sur	Relativamente alto	Posible	Escombros limpios
S/N	Antigua Panamericana Sur km 51	Punta Negra	Informal	Privado	No Identificado	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Acopio de desmonte	Bueno	Asfalto	Buena	Sur	Relativamente alto	Posible	Escombros limpios
S/N	Ingreso a Punta Hermosa cruce con Antigua Panamericana Sur	Punta Hermosa	Potencial	Público	Municipalidad de Lima	Uso	Otro	Áreas verdes	Bueno	Asfalto	Buena	Sur	Alto	Poco recomendable	Escombros limpios
S/N	Antigua Panamericana Sur 200m antes del ingreso a Punta Hermosa	Punta Hermosa	Potencial	Público	No Identificado	Abandono	Ninguno	Ninguno	Bueno	Asfalto	Buena	Sur	Relativamente alto	Poco recomendable	Escombros limpios
S/N	Antigua Panamericana Sur frente al club El Golf	San Bartolo	Informal	Privado	No Identificado	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Acopio de desmonte	Bueno	Asfalto	Buena	Norte	Relativamente alto	Posible	Escombros limpios
S/N	Panamericana Sur km 50 Sentido Norte	San Bartolo	Potencial	Privado	Aeródromo	Uso	Otro	Construcción de aeródromo particular	Bueno	Asfalto	Buena	Norte	Intermedio	Posible	Escombros limpios

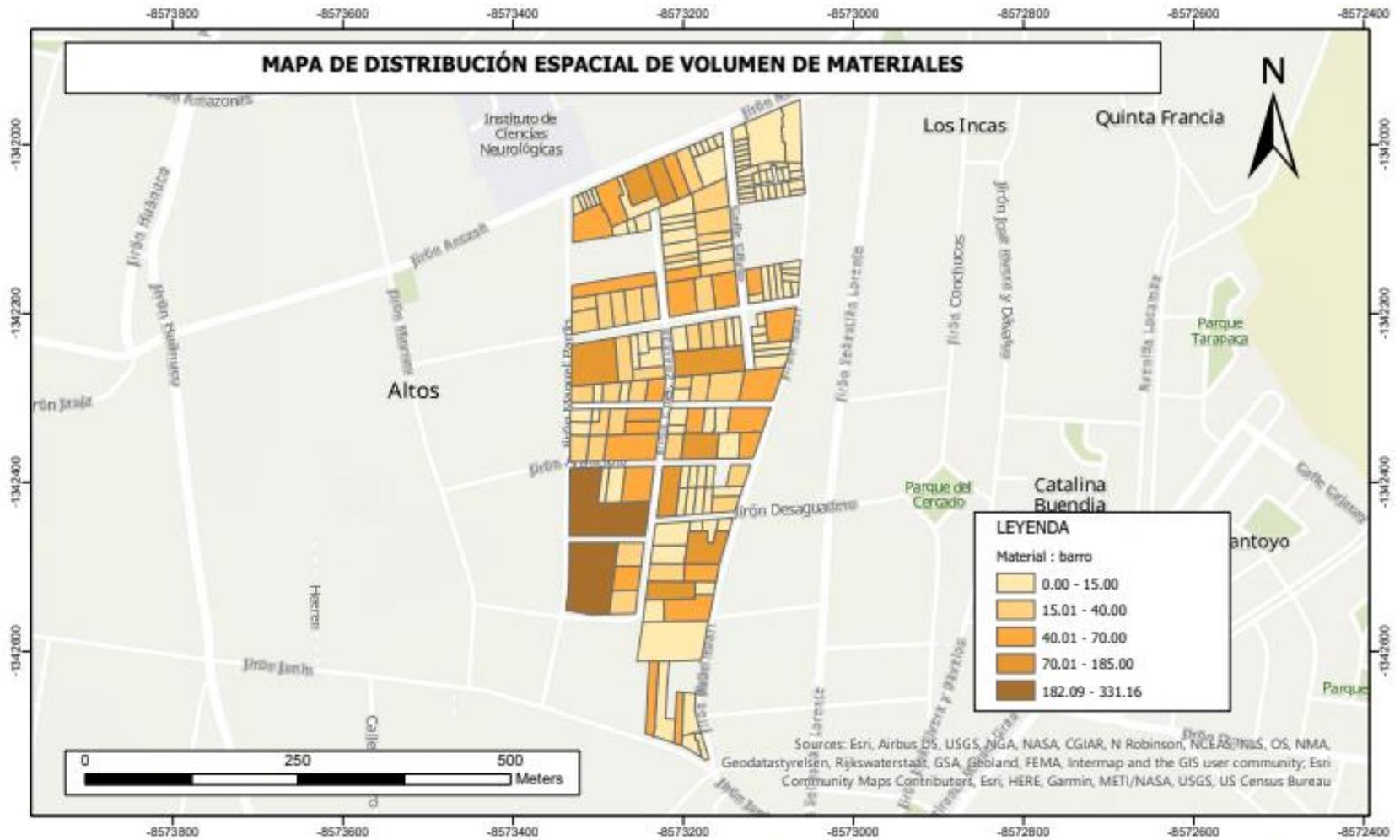
S/N	Av. M. Iglesias con Av. Las Torres cruzando Canevaro	San Juan de Miraflores	Informal	Público	No Identificado	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Acopio de desmonte	Regular	Asfalto	Regular	Norte	Intermedio	Posible	Escombros limpios
S/N	Jr. Jorge Chávez cuadra 3 de Av. Pachacútec hacia la izquierda 6 cuadras.	Villa María del Triunfo	Informal	Público	Municipalidad de Villa María del Triunfo	Uso	Terreno deportivo	Campo deportivo, acopio de desmonte	Bueno	Asfalto	Buena	Norte	Intermedio	Posible	Escombros limpios
S/N	Av. Lima con Av. Ferrocarril desde la Av. Pachacútec a la mano Izquierda a unos 800m hacia Pachacamac	Villa María del Triunfo	Informal	Privado	No Identificado	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Acopio de desmonte	Regular	Afirmado	Regular	Norte	Intermedio	Posible	Escombros limpios
Cantera de Cementos Lima	Av. Atocongo S/N acceso por la Av. José Gálvez	Villa María del Triunfo	Potencial	Privado	Cementos Lima	Uso	Cantera	Cantera	Bueno	Asfalto	Regular	Norte	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios
S/N	Panamericana Sur acceso por Santa María	Santa María del Mar	Informal	Público	No Identificado	Uso	Relleno sanitario, botadero o acopio de desmonte	Acopio de desmonte	Bueno	Asfalto	Buena	Suroeste	Bajo	Recomendable	Escombros limpios
S/N	Antigua Panamericana Sur km 26 cerca a Refinería Conchán	Villa el Salvador	Potencial	Público	No Identificado	Uso	Otro	Viviendas precarias	Bueno	Asfalto	Buena	Sur	Intermedio	Posible	Escombros limpios
S/N	Av. Juan Velasco Alvarado	Villa el Salvador	Potencial	Privado	No Identificado	Uso	Otro	Varios	Malo	Afirmado	Difícil	Norte	Relativamente alto	Poco recomendable	Escombros limpios
S/N	Av. El Sol	Villa el Salvador	Potencial	Privado	No Identificado	Uso	Área de cultivo o vivero avícola	Área de cultivo	Bueno	Asfalto	Regular	Norte	Relativamente alto	Poco recomendable	Escombros limpios
Minera Luren	Antigua Panamericana Sur km 22	Villa el Salvador	Potencial	Privado	Minera Luren	Uso	Cantera	Extracción de cal viva	Bueno	Asfalto	Buena	Noroeste	Relativamente bajo	Recomendable	Escombros limpios

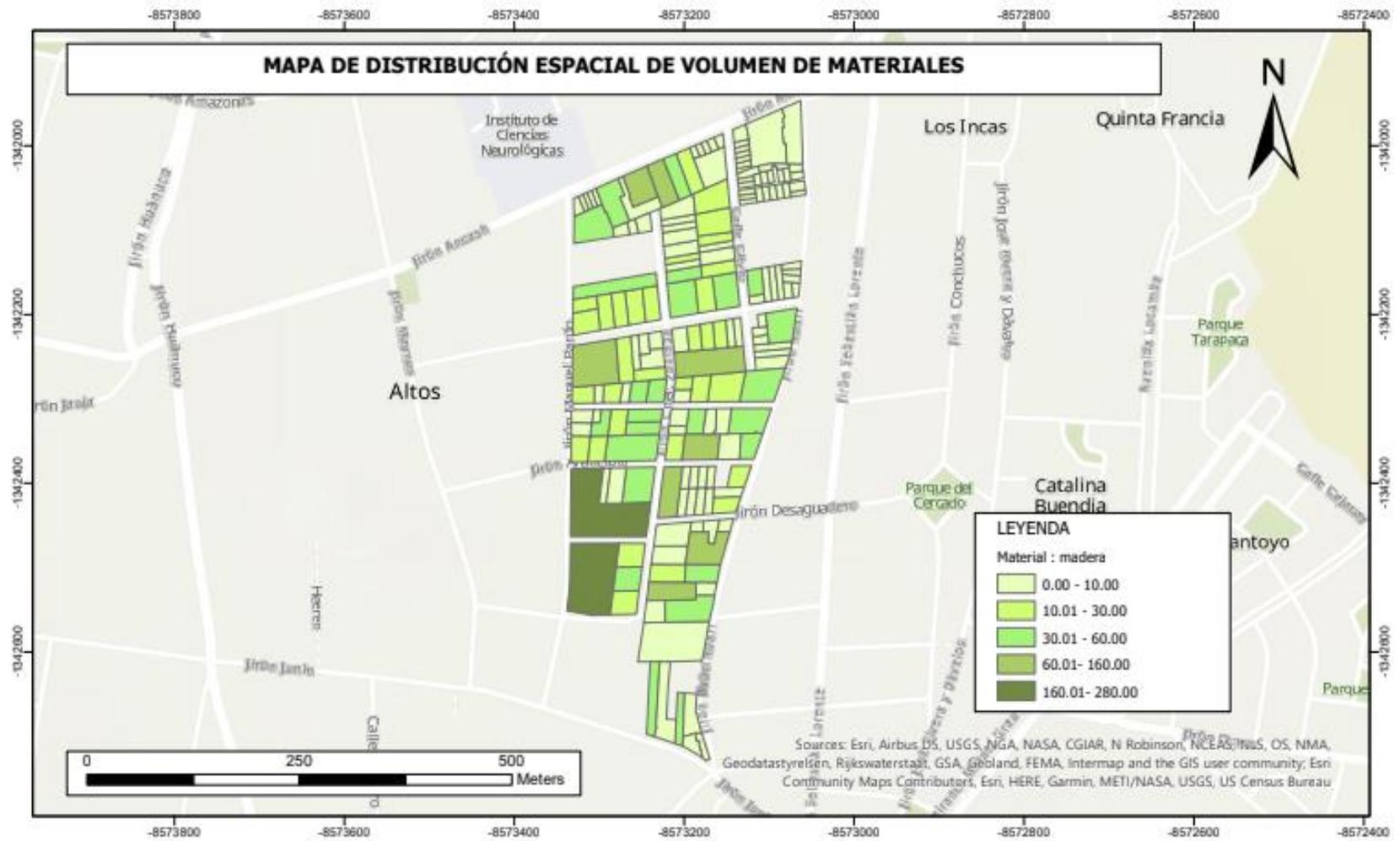
Anexo 3. Mapa de ubicación



Anexo 4. Mapas de distribución del stock de materiales

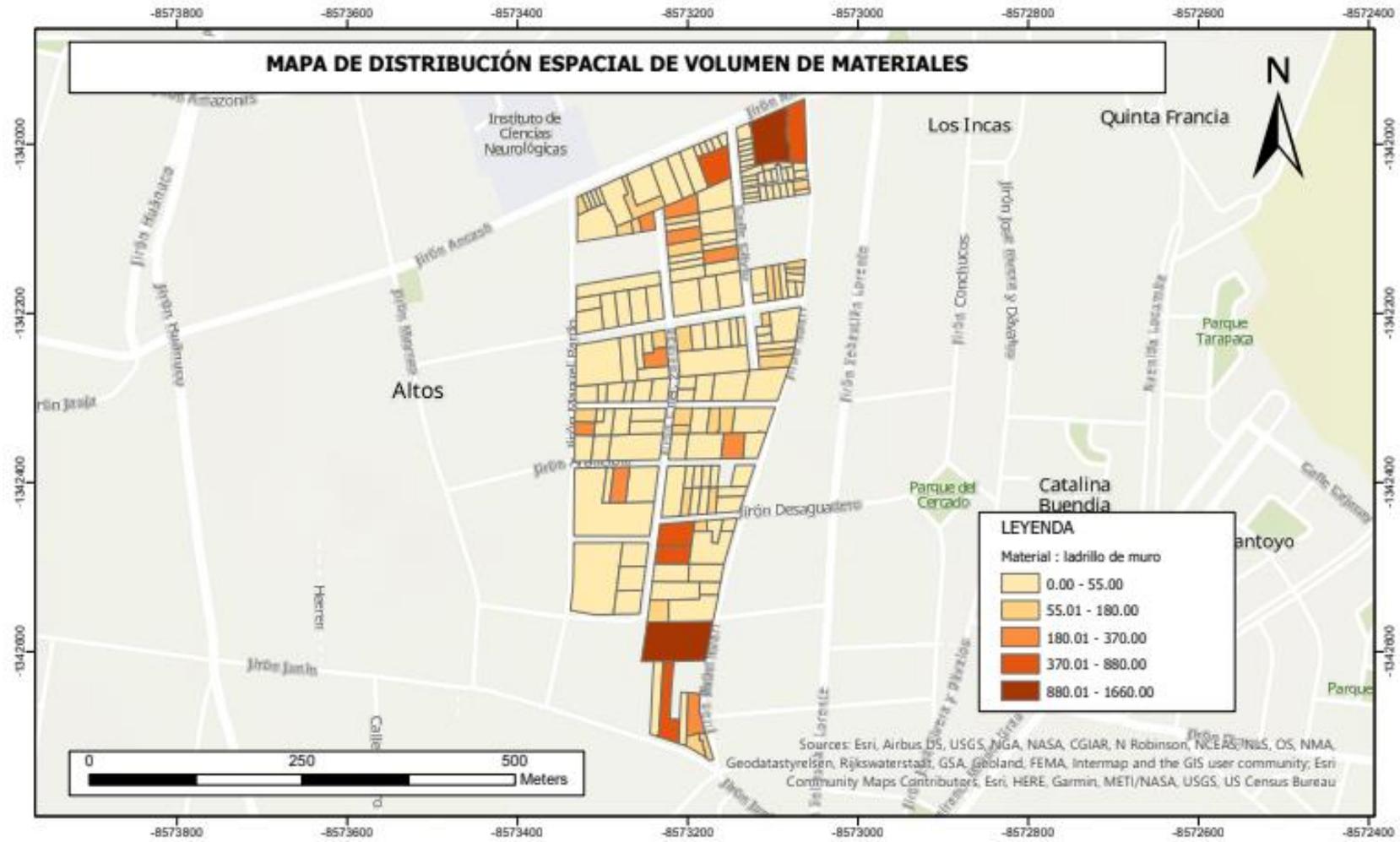








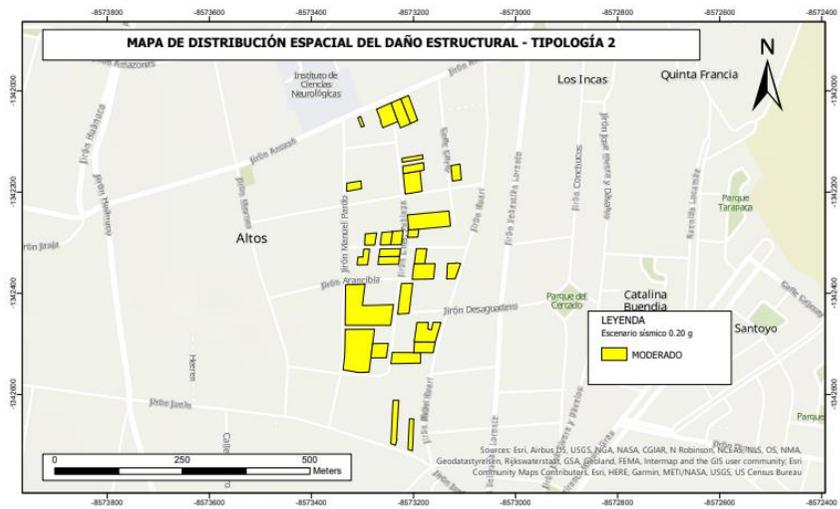


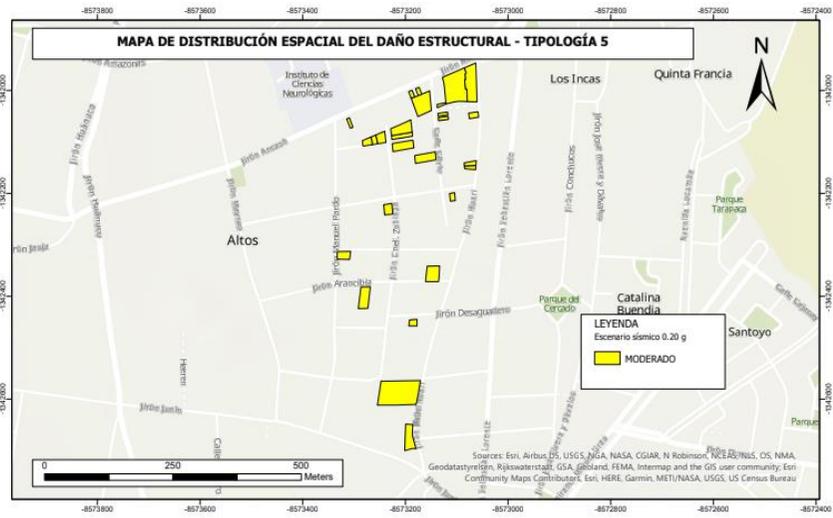


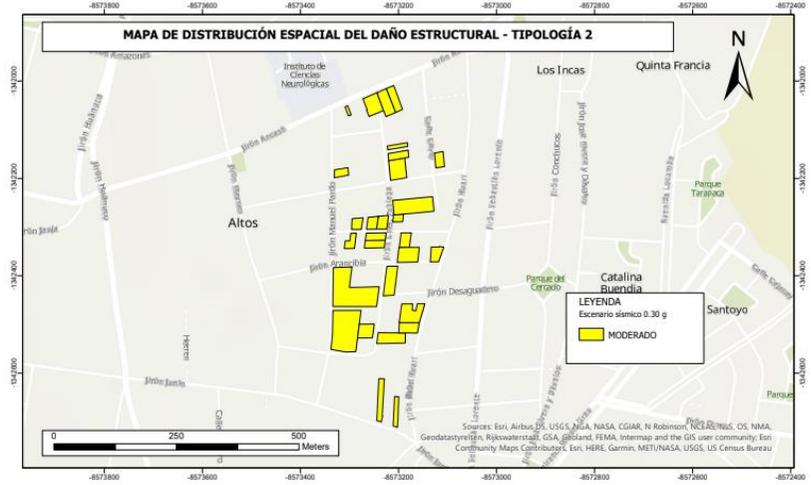
Anexo 5. Mapas de distribución espacial del daño estructural por tipologías

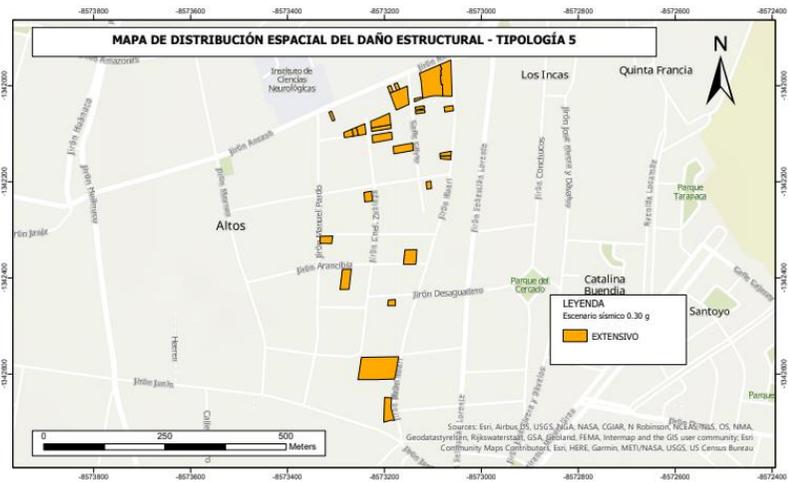


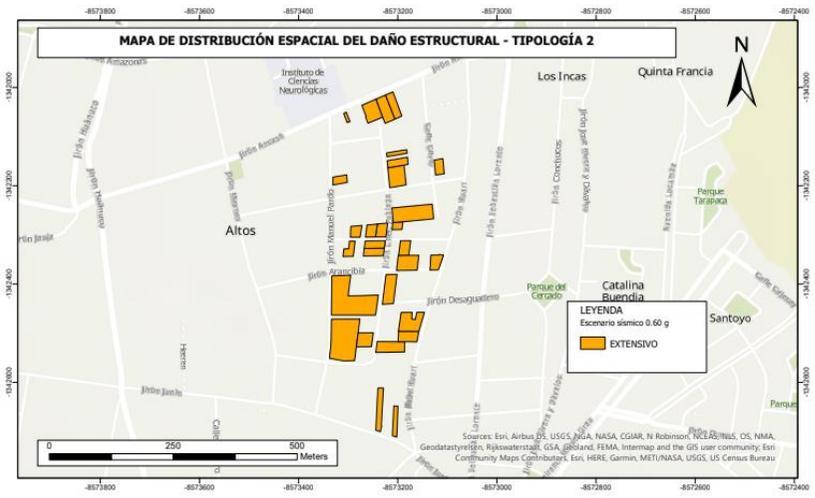
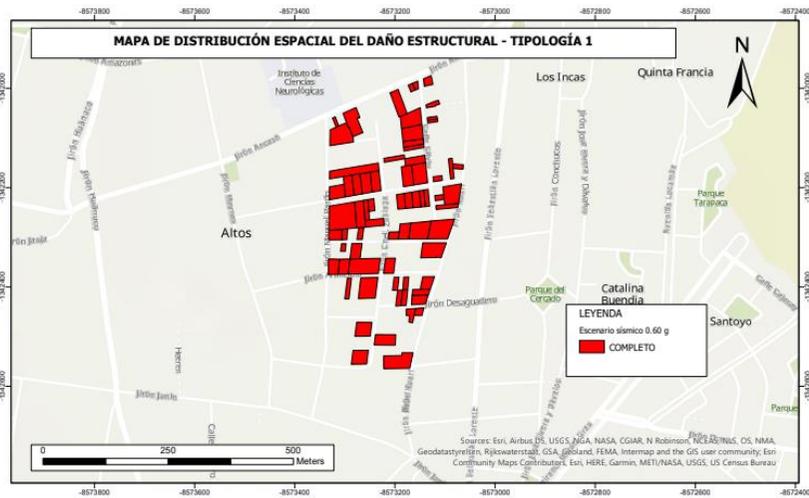














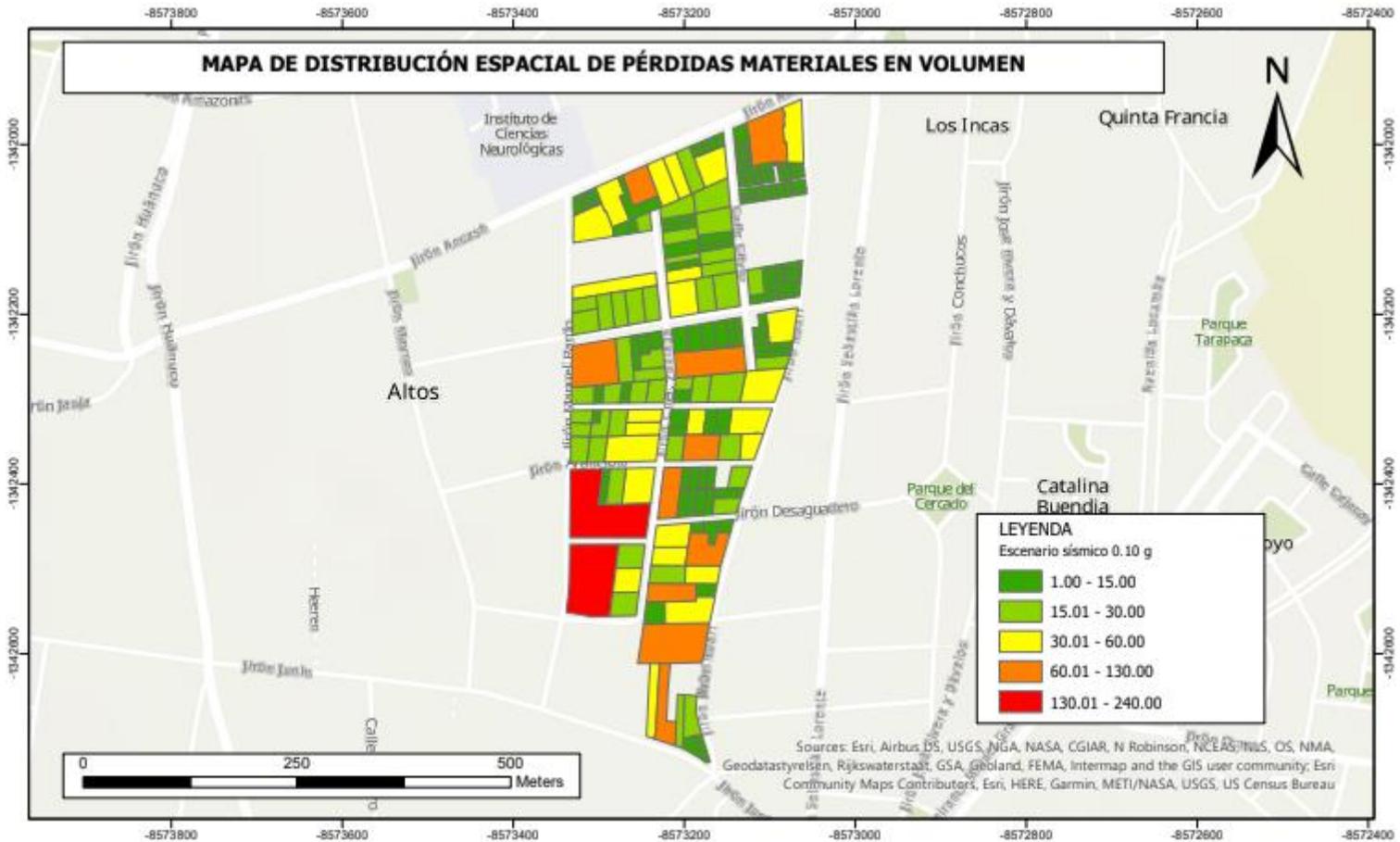
Anexo 6. Mapas de distribución espacial del daño estructural

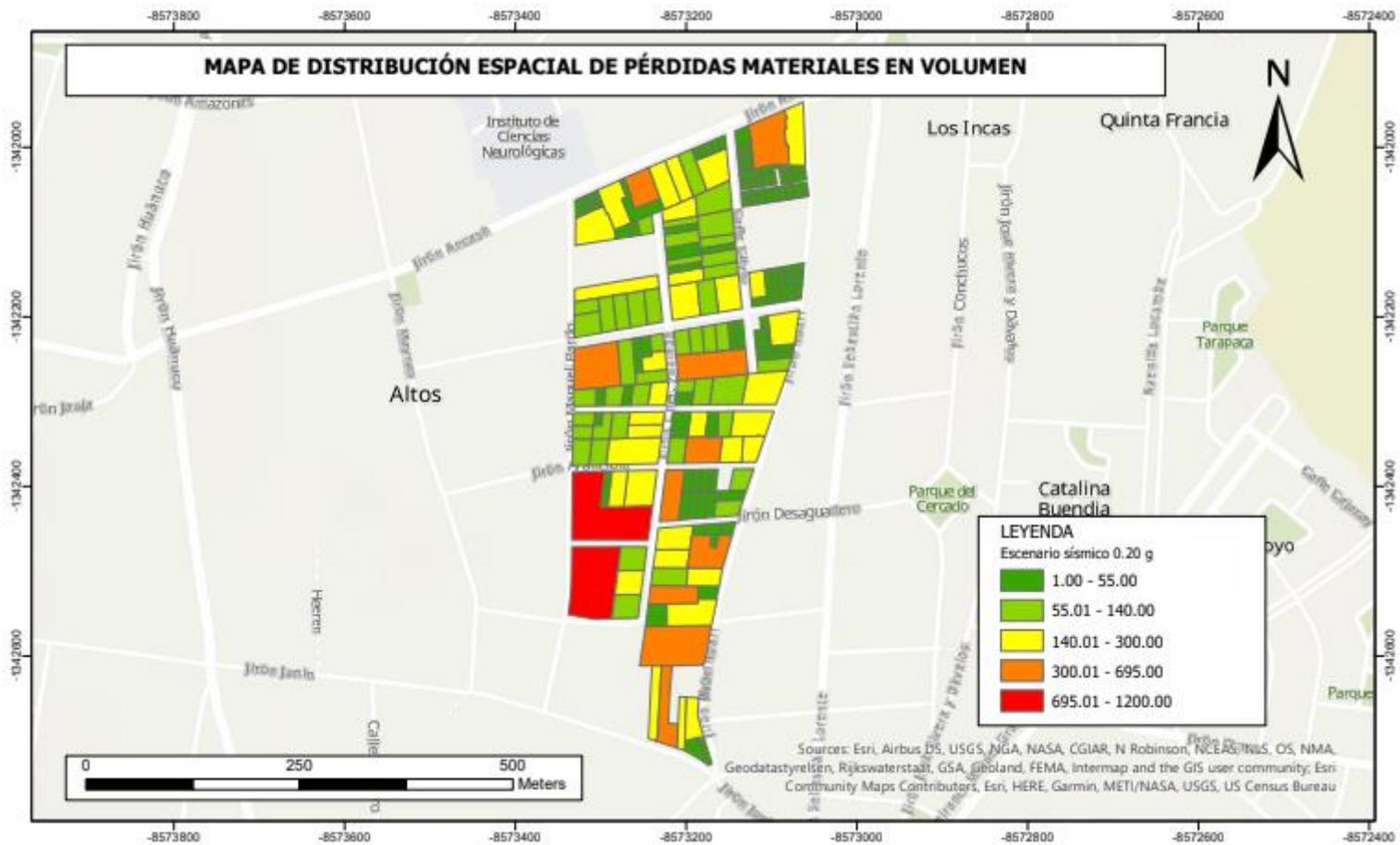


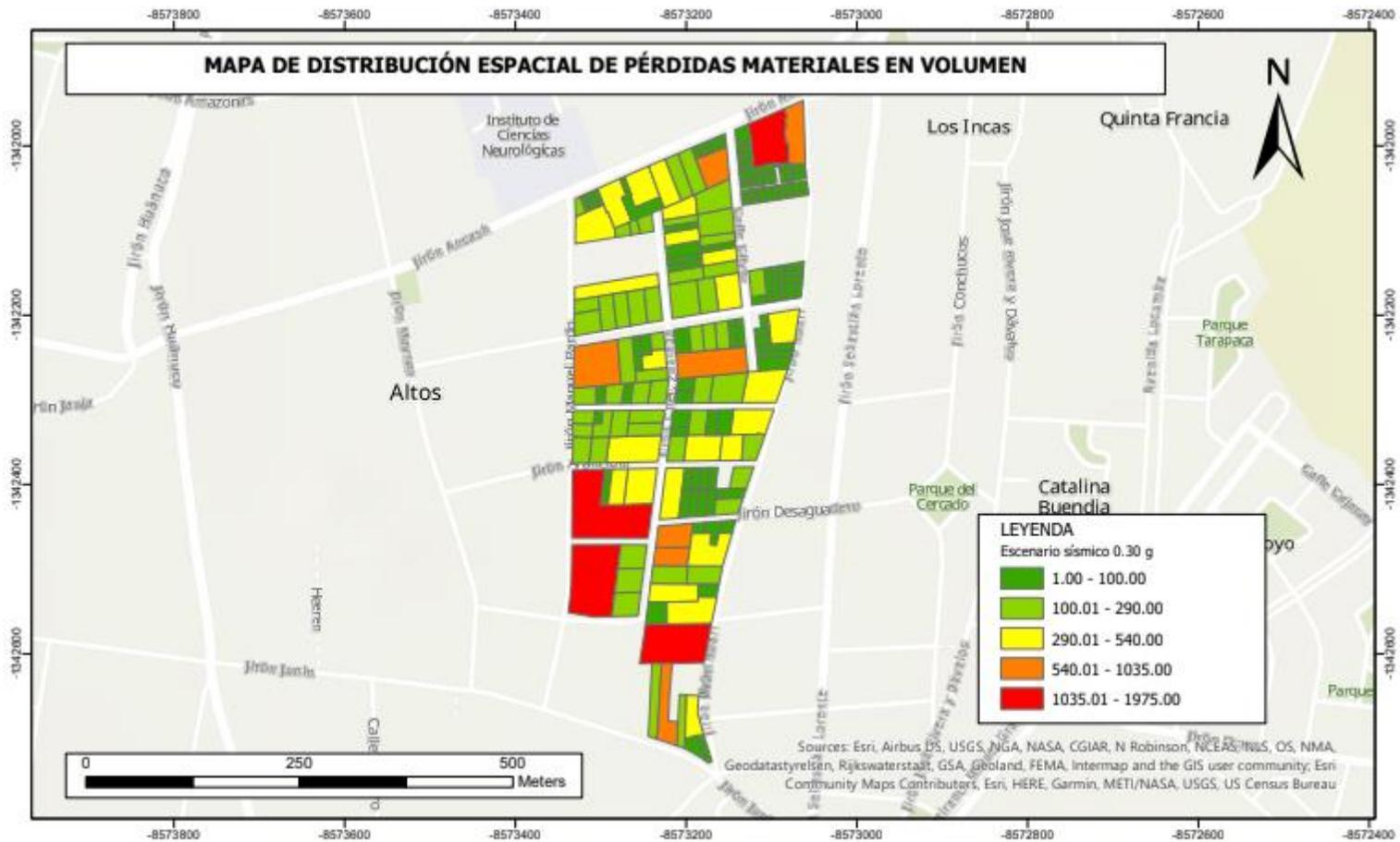


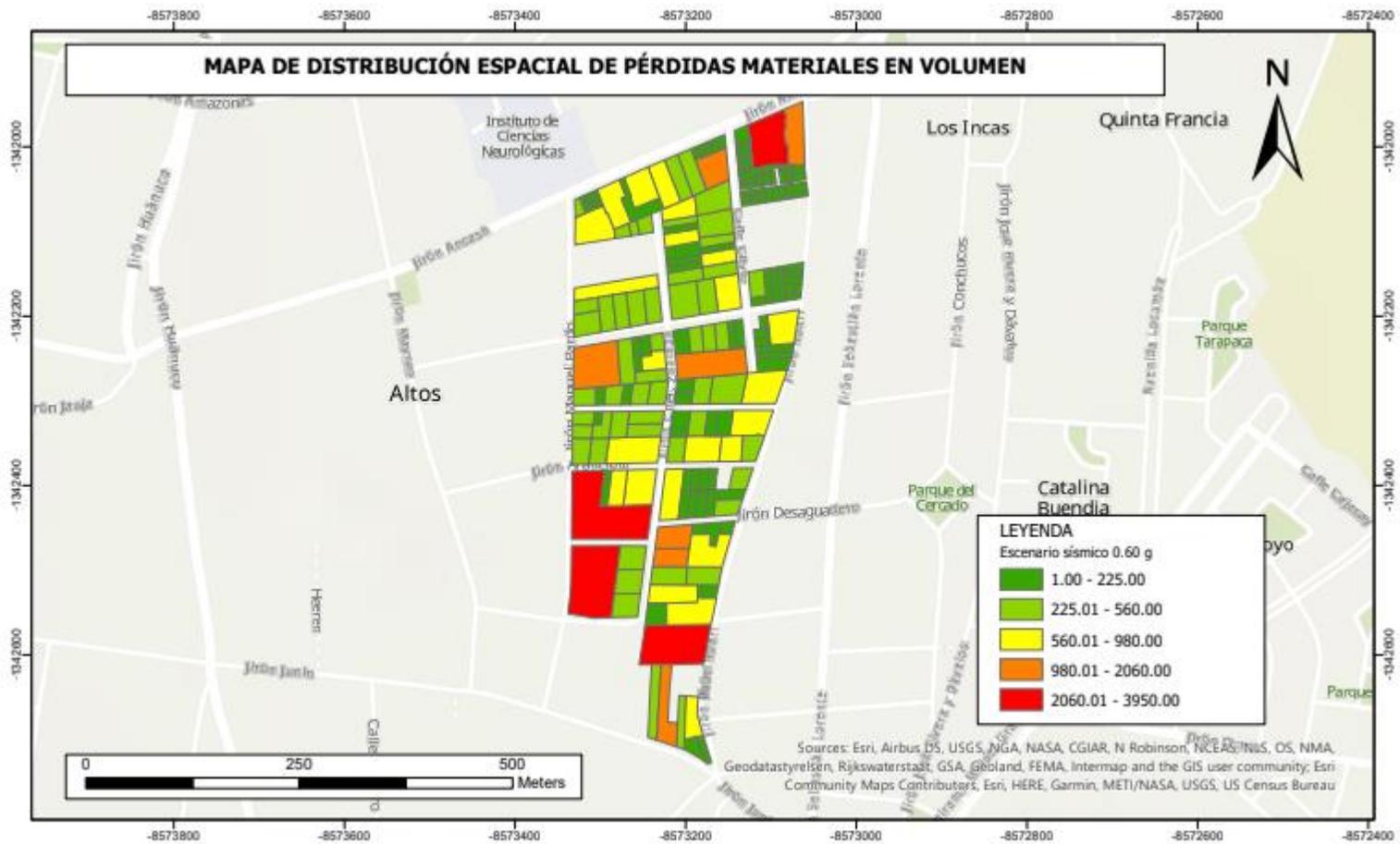


Anexo 7. Mapas de distribución espacial de pérdidas materiales en las edificaciones









Anexo 8. Mapa de evacuación de escombros

